

# Тайна машины времени

Путешествия во времени – нарушение законов природы или непознанная сторона реальности? Книга, которую вы держите в руках, предлагает сугубо научную трактовку этого процесса, а попутно ставит перед читателем ряд философско-этических вопросов, основной из которых формулируется так: «Властен ли человек над временем?».

Темы, рассматриваемые в книге:

- история вопроса: философы vs ученые;
- однонаправленно ли время;
- пространство-время как единая категория;
- путешествия во времени и расщепление Вселенных;
- как передать сигнал в прошлое;
- движение со сверхсветовой скоростью;
- время и гравитация;
- «в стадии разработки»: научные описания машины времени.



**Пол Дж. Нахин** – американский популяризатор науки. Автор более 10 бестселлеров в научно-популярном жанре. Выступал с лекциями по математике, в 2017 году был удостоен премии Чендлера Дэвиса за выдающиеся достижения в области математической литературы.

Интернет-магазин:  
[www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com)

Оптовая продажа:  
КТК «Галактика»  
[books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru)

 Springer  
  
ИЗДАТЕЛЬСТВО  
[www.dmk.rf](http://www.dmk.rf)

ISBN 978-5-97060-871-5  
  
9 785970 608715 >



Пол Дж. Нахин

Тайна машины времени



**Тайна  
машины времени**  
Путешествия во времени  
в физике, философии  
и фантастике

  
ИЗДАТЕЛЬСТВО

Пол Дж. Нахин

# **Тайна машины времени**

ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ В ФИЗИКЕ,  
ФИЛОСОФИИ И ФАНТАСТИКЕ



# *Time Machines*

TIME TRAVEL IN PHYSICS, METAPHYSICS,  
AND SCIENCE FICTION



PAUL J. NAHIN



# *Тайна машины времени*

ПУТЕШЕСТВИЯ ВО ВРЕМЕНИ  
В ФИЗИКЕ, ФИЛОСОФИИ И ФАНТАСТИКЕ



ПОЛ ДЖ. НАХИН



Москва, 2021

УДК 530.1  
ББК 22.31  
Н12

**Нахин П. Дж.**

**Н12** Тайна машины времени: Путешествия во времени в физике, философии и фантастике / пер. с англ. В. С. Яценкова. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 374 с.: ил.

**ISBN 978-5-97060-871-5**

Путешествия во времени издавна занимали умы фантастов и футурологов. В этой книге показано, как развивалась идея путешествий во времени – от чисто умозрительных представлений до научных изысканий, стремящихся приблизить теорию к практике.

Реально ли время как таковое, и возможно ли перемещение по временной шкале с точки зрения релятивистской физики? Имеет ли время направление и как оно связано с пространством? От этих тем автор книги переходит к обсуждению разнообразных проектов ученых, мечтающих «приручить» время, – от машины времени Типлера (1974 г.) до космической струнной модели. Также вниманию читателя предлагается ряд занимательных парадоксов, связанных с путешествиями в прошлое. Каждая глава книги завершается разделом «Вопросы для самостоятельных размышлений», где предложен к рассмотрению ряд дискуссионных тем.

Для широкого круга читателей, интересующихся научно-популярной литературой и вопросами современной физики.

УДК 530.1  
ББК 22.31

CopyrightFirst published in English under the title  
Time Machines; Time Travel in Physics, Metaphysics, and Science Fiction  
by Paul J. Nahin, edition: 2  
Copyright © Springer Science+Business Media New York, 1999 \*  
This edition has been translated and published under licence from  
Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature.  
Springer Science+Business Media, LLC, part of Springer Nature takes no responsibility  
and shall not be made liable for the accuracy of the translation.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

ISBN (анг.) 978-0-691-11822-2  
ISBN (рус.) 978-5-97060-871-5

© Springer Science+Business Media New York, 1999  
© Оформление, издание, перевод, ДМК Пресс,  
2021



---

## Предисловие к переводу

---



Путешествия во времени – едва ли не единственная идея, которая родилась во времена первых древних философов, пережила тысячелетия, приобрела невиданную популярность в научной фантастике и наконец нашла свое подтверждение в современной физике.

Автор этой книги Пол Нахин заслужил любовь читателей благодаря обширной эрудиции, умению рассказать сложные вещи простыми словами и необычной точке зрения на многие вещи. Оригинальная книга о путешествиях во времени вышла в трех изданиях. Первые два издания были весьма объемными и содержали серьезные математические выкладки и множество ссылок на академические труды ученых. В третьем издании автор предпочел упростить материал, сократив научную составляющую книги.

Мы знаем, что наши читатели любят науку и с удовольствием разбираются в хитросплетении теорий. Поэтому при подготовке перевода мы решили взять все самое лучшее из трех изданий, опустив многочисленные отсылки к фантастической и религиозной литературе – об этом рассказывает другая недавно изданная книга Нахина «Божественная фантастика».

На наш взгляд, в итоге получилась очень содержательная и в то же время увлекательная и легкая книга про теорию путешествий во времени. Современная наука утверждает, что свободные перемещения человека в прошлое, в том виде, как их описывают в фантастических романах, навсегда останутся несбыточной мечтой. Но не огорчайтесь – когда вы дочитаете эту книгу до конца, у вас перехватит дух от воистину вселенского масштаба научных и технических проблем, которые нужно решить, чтобы переместить во времени единственную элементарную частицу или бит информации.



# Оглавление



<b>Предисловие к переводу</b> .....	5
<b>Небольшое вступление</b> .....	9
<b>Вступительное слово от издательства</b> .....	19
<b>Об авторе</b> .....	20
<b>Глава 1. Что мы понимаем под путешествием во времени?</b> .....	21
1.1. Идея путешествий во времени как явление культуры .....	21
1.2. Почему не сработает машина времени Уэллса .....	23
1.3. Собственное время .....	24
1.4. Путешествия в прошлое – действительно ли они возможны? .....	27
1.5. Где все путешественники во времени? .....	28
1.6. Путешественники во времени и скептицизм .....	30
1.7. Эйнштейн, Гёдель и прошлое .....	35
1.8. Квантовая механика, черные дыры, сингулярности и путешествия во времени....	39
1.9. Машина времени Типлера.....	47
1.10. Вопросы для самостоятельных размышлений .....	51
<b>Глава 2. О природе времени, пространства-времени и четвертого измерения</b> .....	57
2.1. Что же такое время? .....	57
2.2. Линейное время и бесконечность прошлого и будущего .....	64
2.3. Причина и следствие .....	70
2.4. Обратная причинность.....	75
2.5. Время и часы .....	81
2.6. Гиперпространство и червоточины .....	82
2.7. Пространство как четвертое измерение.....	84
2.8. Время как четвертое измерение .....	87
2.9. Пространство-время и четвертое измерение .....	88
2.10. Пространство-время, всеведение и свободная воля.....	94
2.11. Наступило ли будущее? Остается ли с нами прошлое? .....	98
2.12. Вопросы для самостоятельных размышлений .....	100
<b>Глава 3. Физика путешествий во времени. Часть I</b> .....	103
3.1. Язык путешествий во времени .....	104
3.2. Имеет ли время направление?.....	105

3.3. Относительность одновременности.....	107
3.4. Что такое «сейчас»?.....	112
3.5. Необратимость времени.....	116
3.6. Энтропия в роли стрелы времени.....	119
3.7. Другие стрелы времени .....	124
3.8. Замедление времени и фотонные часы .....	129
3.9. Преобразование Лоренца .....	133
3.10. Диаграммы пространства-времени, световые конусы, метрики и инвариантные интервалы .....	142
3.11. Собственное время, замкнутые мировые линии и парадокс близнецов .....	161
3.12. Вопросы для самостоятельных размышлений .....	168
<b>Глава 4. Парадоксы путешествий во времени .....</b>	<b>173</b>
4.1. Два основных парадокса путешествий во времени .....	176
4.2. Можно ли изменить прошлое из настоящего? Можно ли уничтожить прошлое? .....	179
4.3. Различие между изменением прошлого и влиянием на прошлое.....	189
4.4. Почему путешественник во времени не может убить своего дедушку?.....	203
4.5. Квантовая теория и альтернативные вселенные.....	211
4.6. Причинно-следственные петли .....	217
4.7. Сексуальные парадоксы.....	229
4.8. Вопросы для самостоятельных размышлений .....	233
<b>Глава 5. Связь с прошлым .....</b>	<b>242</b>
5.1. Обратные во времени миры.....	242
5.2. Многомерное время.....	252
5.3. Уравнения Максвелла и опережающие эффекты .....	256
5.4. Парадокс Уилера–Фейнмана.....	261
5.5. Теория поглощения и сигнал в прошлое.....	265
5.6. Тахионные сигналы, пугающие действия и антiteleфон Белла.....	271
5.7. Вопросы для самостоятельных размышлений.....	282
<b>Глава 6. Физика путешествий во времени. Часть II .....</b>	<b>288</b>
6.1. Сверхсветовое движение в прошлое .....	288
6.2. Машины времени Гёделя и Типлера.....	301
6.3. Машины времени Торна на основе червоточин.....	307
6.4. Машина времени Готта на космических струнах .....	332
6.5. Быстрая ракета – односторонняя машина времени в будущее .....	340
6.6. Время и гравитация .....	346
6.7. Вопросы для самостоятельных размышлений.....	353
<b>Словарь важных терминов и определений.....</b>	<b>356</b>
<b>Предметный указатель .....</b>	<b>371</b>





Признанными пионерами научных исследований путешествий во времени были Альберт Эйнштейн (1879–1955) и Курт Гёдель (1906–1978), близкие друзья, которые показаны здесь на фотографии, сделанной Ричардом Аренсом в 1954 году в Институте перспективных исследований в Принстоне, штат Нью-Джерси. Именно общая теория относительности Эйнштейна 1916 года («теория гравитации») использовалась Гёделем в качестве основы для работы 1949 года, где впервые показано, что общая теория относительности не запрещает путешествие во времени в прошлое.

Литературным первопроходцем путешествий во времени был, конечно, Герберт Джордж Уэллс (1866–1946), который на этом фотоснимке является



первокурсником колледжа приблизительно в 1885 году. Шутливая фотография сделана неизвестным другом, когда Уэллс посещал курс биологии, прочитанный Томасом Хаксли в Школе естественных наук в Южном Кенсингтоне (филиал Лондонского университета). Слишком худой и бедный Уэллс был тогда еще подростком, а «Машина времени» ждала его в далеком будущем.

Фотография Эйнштейна и Гёделя любезно предоставлена Американским институтом физики Эмилио Сегре, архив изображений библиотеки AIP Нильса Бора. Фотография Уэллса любезно предоставлена Отделом редких книг и специальных коллекций библиотеки Университета Иллинойса в Урбана-Шампейн.



---

## Небольшое вступление

---



*В течение последних нескольких лет ведущие научные журналы публикуют статьи, посвященные путешествиям во времени и машинам времени... Почему? Неужели физики решили составить конкуренцию писателям-фантастам и голливудским продюсерам?*

*Джон Эрман*

Писать о путешествиях во времени сегодня – это уважаемое занятие. Так было не всегда. В конце концов, путешествие во времени, на первый взгляд, нарушает фундаментальный закон природы: каждое следствие имеет причину, при этом причина возникает раньше следствия. Однако путешествие во времени в прошлое, судя по всему, требует наличия обратной причинности, причем следствие (путешественник во времени, выходящий из своей машины времени) происходит раньше его причины (путешественник во времени, нажимающий кнопку запуска на панели управления своей машины годы спустя, чтобы начать свое путешествие назад во времени).

Поэтому, когда Герберт Уэллс опубликовал свой революционный шедевр «Машина времени» в 1895 году, даже те читатели, которые любили его как историю (а далеко не все любили), категорически отвергали его как романтическую фантазию. По их мнению, это была, безусловно, впечатляющая игра чистого воображения, но не более того. Рецензенты того времени употребляли такие слова, как «фокус-покус» и «причуда», и называли произведение «причудливым и живым сном». Любой из романов современника Уэллса, Жюль Верна (даже такой сверхтехнологичный, как «От Земли до Луны» 1865 года), вызывал намного больше доверия, чем работа Уэллса с точки зрения «Уж это-то могло бы действительно произойти».

Сам Уэллс всегда отрицал, что его машина времени была чем-то большим, чем литературным приемом для перемещения путешественника во времени в далекое будущее. Действительно, в 1934 году, в предисловии к семи знаменитым романам, опубликованным Кнопфом в сборнике научных романов-новелл (поскольку научная фантастика была известна еще до того, как сам термин «научная фантастика» вошел в употребление), включающем «Машину времени», Уэллс совершенно ясно выразил свою позицию: «Собранные здесь мои работы не претендуют на изображение чего-то потенциально возможного; они являются упражнениями в воображении... Это все фантазии; они не стремятся отразить реальную возможность – на самом

деле они несут лишь то количество достоверности, которое человек получает в хорошем захватывающем сне». Затем Уэллс в том же предисловии сказал, что все предыдущие попытки писать фантастические истории основывались на магии. Но только не в его работах.

«Мне пришло в голову, что вместо обычной беседы с дьяволом или магом можно было бы с пользой использовать остроумную научную болтовню». Большой вклад Уэллса в сочинение историй о путешествиях во времени заключался в том, что он представил научную машину вместо магии, наркотиков, снов, ударов по голове или анабиоза. Однако не все современные писатели-фантасты последовали примеру Уэллса.

Научно-фантастический роман Клиффорда Саймака (Clifford Simak, 1904–1988) «Мастодония» 1978 года упоминает инопланетное существо, застрявшее на Земле (из-за крушения космического корабля несколькими столетиями ранее), которое «создает туннели во времени». Один из персонажей этой истории, который пытается открыть агентство путешествий во времени, используя эти туннели, объясняет, почему отсутствие машины времени вызывает у него трудности с потенциальными клиентами: «Вся беда была в том, что я не мог рассказать им о какой-то машине – машине путешествий во времени. Если бы я мог сказать им, что мы разработали машину, они бы скорее поверили мне. Мы так доверяем машинам, они для нас – волшебство. Если бы я мог изложить какую-нибудь нелепую теорию и обрушить на них какие-нибудь уравнения, они были бы впечатлены». Я думаю, что это не совсем так. Мы доверяем машинам не потому, что они волшебны, а по совершенно противоположной причине. Они не магические, а скорее рациональные. А отвергнуть математику – значит сказать, что здесь действует какое-то неестественное или сверхъестественное влияние. Но возможна ли на самом деле машина времени? Или идея машины времени – это просто «чепуха» и «полная чушь», как прямо говорит персонаж романа Пола Андерсона «Танцовщица из Атлантиды»? Уэллс сам обратился к этому вопросу в автобиографическом эссе, опубликованном в журнале *Cornhill*, которое он написал в июле 1945 года (всего за 13 месяцев до своей смерти), с еще более резкими словами. Используя псевдоним Wilfred B. Batterave, он написал очень смешное резюме своей жизни под названием «A Complete Exposé of This Notorious Literary Humbug» – «Полное разоблачение этого жульничества». Там он описал машину времени как «материю, сотканную из абсурда, в которой люди должны метаться туда-сюда по временному измерению». С помощью нескольких обычных приемов рассказчика Уэллс избавляется от своей машины, прежде чем ее можно будет подвергнуть детальному осмотру. Он жульничает, как любой обычный «провидец». В противном случае логически получалось бы, что человек может бесконечно плодить копии самого себя, заглядывая немного в будущее и затем возвращаться. После этого их станет двое. Повторите процедуру, и их станет четверо, и так далее, пока весь мир не будет по-

лон копиями путешествующего во времени индивида. Простодушный ум принимает это за чистую монету, несмотря на все предупреждения Уэллса, и, естественно, как и любой из нас, глубоко возмущен таким оскорблением своего интеллекта. Забавно, да, но все равно довольно жестоко.

Как сказал один писатель, Уэллс, вместо того чтобы представить научное открытие, просто пытался опровергнуть почти удушающий и необоснованный, по его мнению, самодовольный оптимизм зажиточных людей поздневикторианской эпохи. Итак, путешествуя в 802 701 год от Рождества Христова, путешественник во времени обнаруживает ужасное разложение человечества в людоедском порабощении эллов морлоками, конечном результате классовой борьбы между рабочим классом (морлоками) и праздным, паразитическим верхним классом (эллами).

Немецкий социальный философ Карл Маркс, если бы он не был мертв уже как 12 лет в 1895 году, несомненно, энергично кивал бы в знак согласия, читая «Машину времени», даже если бы он сожалел о решении Уэллса так долго ждать победы угнетенных рабочих. (Какая ирония судьбы, что он похоронен на Лондонском Хайгейтском кладбище, Викторианской Валгалле, где он провел все последнее столетие, в буквальном смысле все больше смешиваясь со многими капиталистическими предками эллов!) Но гораздо более сомнительно, что Маркс считал бы возможными путешествия во времени. Как все изменилось за годы, последовавшие за появлением «Машины времени»! Поначалу, по общему признанию, произошло небольшое снижение литературного уровня, по мере того как вновь развивающиеся журналы научной фантастики подхватили эстафету и кинулись вперед с жанром путешествий во времени наперевес. Многие из журнальных историй о путешествиях во времени 1920-х, 1930-х и 1940-х годов были, откровенно говоря, просто ужасны. Но... некоторые так же были и хороши. А часть из них была действительно очень хороша. Начиная с 1950-х годов все более опытные авторы писали все более изощренные рассказы о путешествиях во времени. В академических сообществах философов и физиков тоже происходили большие события. Я отдаю первенство философам с их публикацией в 1976 году чрезвычайно важной статьи, которая начиналась такими впечатляющими словами: «Путешествия во времени, как я утверждаю, возможны. Парадоксы путешествий во времени [в прошлое] – это странности, а не невозможности. Они доказывают только то, в чем мало кто сомневался: возможный мир, в котором происходят путешествия во времени, был бы очень странным миром, фундаментально отличным от того мира, который мы считаем своим». Этот автор был не первым философом, написавшим о путешествии во времени в прошлое, но до него никто не выражал безоговорочную поддержку этой концепции такими сильными и недвусмысленными словами.

Статья Льюиса также примечательна тем, что она дает, как кажется, четкое определение того, что именно означает, что человек «путешествовал во времени» либо в прошлое, либо в будущее:

*Что такое путешествие во времени? Оно неизбежно влечет за собой противоречие между временем и продолжительностью. Любой путешественник отправляется и затем прибывает в пункт назначения; время, прошедшее от отправления до прибытия (положительное или, возможно, нулевое), является продолжительностью путешествия. Но если он путешественник во времени, то разница во времени между отправлением и прибытием не равна продолжительности путешествия.*

Чтобы понять это, мы должны видеть разницу между личным временем путешественника во времени и внешним временем удаленных наблюдателей путешественника во времени. Личное время путешественника во времени измеряется, например, либо временем, отсчитываемым его наручными часами, либо, возможно, горящей свечой.

Я говорю, что «даю первенство философам», потому что, хотя первая статья о путешествиях во времени по физике появилась десятилетия назад, ее автором на самом деле был вовсе не физик, а друг Эйнштейна, всемирно известный математический логик Курт Гёдель. Оглядываясь назад, можно сказать, что статья Гёделя была поворотным событием в формировании «уважаемого» имиджа научных путешествий во времени; и здесь стоит уделить некоторое время, чтобы объяснить этот важный момент.

В этой книге я рассуждаю про физическое путешествие во времени с помощью машин, которые манипулируют материей и энергией в конечной области пространства (я подробнее останавлиюсь на значении этого условия, когда мы углубимся в книгу). Кроме того, машина должна иметь рациональное объяснение. Например, как авианосец в фильме «Последний отсчет», так и другое военное судно в «Корабле, плывущем в потоке времени» (Эдмондсон) отправляется в прошлое с помощью «рационального» (по крайней мере, для литературного произведения!) объяснения – корабль оснащен медной катушкой странной формы в вакуумном сосуде, которая оказывается машиной времени с питанием от молний во время штормов. Для моей книги такое рациональное объяснение можно найти в общей теории относительности Эйнштейна и его теории гравитации. (Его специальная теория относительности применима в тех ситуациях, где нет гравитации.)

До Эйнштейна ученые использовали теорию гравитации Ньютона, которая, будучи удивительно точной для любой ситуации на Земле, вносит значительную погрешность в астрономических масштабах. Кроме того, теория Ньютона носит описательный характер; она делает возможным вычисление гравитационных эффектов, не предлагая никакого объяснения самой гравитации. Теория Эйнштейна не только дает правильные ответы, даже в тех случаях, когда не работает теория Ньютона, но также объясняет гравитацию. Эйнштейн рассматривает мир как четырехмерную структуру, в которой все четыре измерения (три пространства и одно время) в определенном смысле находятся в равных условиях. По сути, эйнштейновское описание

мира – это описание единого пространства-времени, в то время как теория Ньютона разделяет и различает пространство и время.

Как писал Ньютон о времени в начале своего шедевра «Начала» 1687 года, работы, которая произвела революцию в физике, «абсолютное, истинное и математическое время, само по себе и исходя из своей собственной природы, течет равномерно, не имея отношения ни к чему внешнему, и иначе называется длительностью». Этот взгляд на время был, разумеется, отвергнут с приходом Эйнштейна и его относительного времени, зависящего от состояния наблюдателя.

В отличие от точки зрения Эйнштейна, взгляд Ньютона на природу времени был связан с теологией. Как писал один современный теолог, «Ньютон считал, что абсолютное время основано на необходимом существовании Бога. Цитируя самого Ньютона, в «General Scholium» ко второму изданию «Начал» (1713) он добавил слова, которых не было в оригинале: «Бог есть живое, разумное и могущественное существо; и из других его совершенств [следует], что он является высшим, или наиболее совершенным. Он вечен и бесконечен, всемогущ и всеведущ, т. е. его длительность простирается от вечности до вечности; его присутствие от бесконечности до бесконечности; он управляет всеми вещами и знает все, что есть или может быть сделано. Он не вечность и бесконечность, но вечное и бесконечное; он не длительность и не пространство, но он пребывает и присутствует. Он пребывает вечно и присутствует везде; и, существуя всегда и везде, он образует длительность и пространство. Поскольку каждая частица пространства есть всегда и каждый неделимый момент длительности есть везде, конечно, создатель и Владыка всего сущего не может быть никогда и нигде».

Ну ладно, буду честен – я на самом деле не совсем понимаю, что это значит! Ньютон добавил эти слова к «Началам» в ответ на критику со стороны влиятельного философа Джорджа Беркли, что его первоначальные утверждения об абсолютном времени были «пагубными и абсурдными понятиями», которые на самом деле являются атеистическими по своей сути. Во времена Ньютона это было весьма серьезное обвинение, и он пытался (я думаю) найти какую-то защиту от тех критиков, которые проводили больше времени, думая о Боге, чем о физике. Гораздо более честными (на мой взгляд) являются остроты «время – это просто когда одна чертова вещь случается за другой» и «время – это то, что удерживает мир от того, чтобы все произошло одновременно». Скорее забавно, чем полезно – да, конечно, но хотя бы забавно.

Теологический взгляд Ньютона на время просто не имеет отношения к современной физике (хотя, возможно, представляет больший интерес для философа-историка), но во многих случаях он представляет интерес для писателя-фантаста. Например, религиозное мышление Ньютона и его (возможно!) связь с путешествиями во времени рассматривается в моем рассказе «Подарок Ньютона», первоначально опубликованном в журнале *Omni Magazine* (январь 1979 года). Уэллсовский взгляд на путешествия во времени скорее ньютоновский, чем эйнштейновский, и, возможно, это не так уж и

удивительно, учитывая, что Эйнштейну было всего 16 лет, когда была опубликована «Машина времени».

С самого начала (1905 г.) было известно, что специальная теория Эйнштейна позволяет путешествовать во времени в будущее. Однако вернуться в прошлое было невозможно. Тем не менее с 1949 года стало известно, что общая теория относительности, которая до сих пор проходила все экспериментальные испытания, при определенных условиях допускает путешествие во времени в прошлое. Именно это допущение теории отделяет размышления о путешествиях во времени от фантазийных вымыслов, с которыми они часто несправедливо смешиваются, – вымыслов, которые оправдывают шарлатанство наподобие заграничной жизни, астрологии и воздействия ума на предметы (наподобие изгибания ложек силой мысли).

В своей общей теории Эйнштейн показал, что пространство-время может быть либо плоским (в случае отсутствия гравитации – в специальной теории относительности), либо искривленным (с гравитацией), и он сделал это не путем философских рассуждений, а при помощи математических уравнений – знаменитых дифференциальных тензорных уравнений гравитационного поля. В большинстве случаев эти сложные уравнения очень трудно решить. Но в некоторых частных случаях они были решены. Эти решения отражают взаимодействие материи и энергии в пространстве-времени. Как гласит популярная обобщающая фраза: «Изогнутое пространство-время говорит материи, как двигаться, а материя говорит пространству-времени, как изгибаться».

На микроскопическом локальном уровне общая теория относительности имеет внутреннюю причинность, но в больших масштабах ситуация может быть намного сложнее. Фраза «большой масштаб» на самом деле подразумевает охват значительной части всего сущего, поскольку в меньших масштабах, начиная от радиуса элементарной частицы и до радиуса Вселенной – отношение линейных размеров  $10^{41}$  – нормально работает общая теория относительности. В большом масштабе искривленное пространство-время может (согласно некоторым решениям уравнений поля) привести к нарушениям причинности, то есть к возможности путешествовать во времени в прошлое.

В 1949 году математик Курт Гёдель нашел одно из таких решений уравнений поля, которое описывает движение массы-энергии не только в пространстве, но и назад во времени вдоль так называемых *замкнутых времениподобных линий* (closed timelike lines, CTL) или *замкнутых времениподобных кривых* (closed timelike curves, CTC), представляющих особый случай *мировых линий* (world line) в пространстве-времени. Эти мировые линии таковы, что, если человек путешествует вдоль одной из них, всегда со скоростью, меньшей скорости света, он видит, что все вокруг него происходит в обычном причинном порядке от момента к моменту (например, секундная стрелка на его часах движется по часовой стрелке в будущее), но в конце концов мировая линия замкнется сама на себя, и путешественник окажется в своем

собственном прошлом. Именно это подразумевают физика и математика в решении Гёделя. Вот что я имею в виду, говоря, что существует научная, рациональная основа для обсуждения путешествий во времени.

Особенно важно отметить, что путешествие по одной из замкнутых времениподобных линий, обнаруженных Гёделем, требует наличия машины времени, своего рода ускоряющегося космического корабля. Эта конкретная машина, однако, не генерирует СТЛ там, где их раньше не было (созданием СТЛ занимается так называемая *сильная машина времени*), а скорее просто использует СТЛ, которые присущи пространству-времени Гёделя; космический корабль Гёделя является примером *слабой машины времени*.

Двойное условие, требующее наличия как машины, так и рационального объяснения, полностью перечеркивает причудливые истории путешествий во времени, которыми изобилует ранняя научная фантастика, а также многие философские рассуждения.

Впрочем, некоторые писатели-фантасты интуитивно понимали, что рациональное путешествие во времени назад каким-то образом тесно связано с работой Эйнштейна. Например, рассказ для подростков «Маленький монстр» (Андерсон) содержит рациональное объяснение путешествия во времени. Когда мальчик спрашивает своего дядю-физика, как работает его машина времени, тот отвечает: «Приходи снова, когда изучишь тензорное исчисление, и я расскажу тебе об  $n$ -мерных силах и деформации мировых линий». Именно такое рациональное восприятие я хочу развить у читателей этой книги.

Я ранее упоминал, что «некоторые частные случаи» уравнений гравитационного поля Эйнштейна приводят к понятию СТЛ/СТС. Что это был за «частный случай», который решил Гёдель? Его решение уравнений поля относится к вращающейся, бесконечной, статичной Вселенной, состоящей из совершенной жидкости при постоянном давлении. Гёдель обнаружил, что в такой Вселенной естественные СТЛ/СТС проходят через каждую точку пространства-времени; т. е. путешествие во времени во Вселенной Гёделя не является результатом работы машины, манипулирующей массой и энергией в локальном масштабе (классическое научно-фантастическое описание машины времени); скорее, в пространстве-времени Гёделя путешествие во времени является естественным явлением! Наблюдаемая Вселенная, однако, не вращается и не расширяется (астрономы видят красные смещения в спектрах далеких звезд), и поэтому, хотя пространство-время Гёделя удовлетворяет уравнениям поля общей теории относительности, его свойству перемещения во времени нет места в пространстве-времени, в котором мы живем. (Это может объяснить, почему первоначальная реакция сообщества физиков и философов на открытие Гёделя о том, что путешествия во времени не являются бессмыслицей в соответствии с общей теорией относительности, была в основном равнодушной.) Неспособность наблюдать путешествия во времени в нашей Вселенной может (несколько удивительно, я думаю) все еще иметь возможные последствия для нас, однако, как умно



рассуждал один философ, она указывает на то, что естественно происходящие гёделианские путешествия во времени наделили бы Вселенную свойствами, особенно полезными для выживания разума (предположительно включая людей) против вымирания от множества космических катастроф. Итак, для тех, кто утверждает, что Вселенная, где мы живем, была создана для нас (сторонники различных доказательств существования Бога, которые подразумевают его в качестве нашего Творца), у нас есть очевидный вопрос: почему Он, судя по всему, упустил возможность путешествий во времени?

В приглашенном эссе, появившемся в том же году, что и его работа по физике путешествий во времени, Гёдель специально обратился к кажущемуся парадоксальным аспекту того, что он обнаружил: «Совершая круговое путешествие на ускоряющемся корабле по достаточно обширной траектории, можно в этих [вращающихся] мирах путешествовать в любую область прошлого, настоящего и будущего и обратно, точно так же как в других мирах можно путешествовать в отдаленные части космоса. Такое положение дел *кажется* (я подчеркиваю) абсурдным. Ибо оно позволяет человеку, например, путешествовать в недалекое прошлое тех мест, где он сам жил. Там он найдет человека, который будет им самим в какой-то более ранний период жизни. Теперь он мог бы сделать с этим человеком нечто такое, что, по его памяти, никогда не случилось с ним».

В тот раз нервы Гёделя подвели его, и он защищал возможность парадокса путешественника во времени, встречающего себя в прошлом, используя то, что я считаю удивительно неубедительным аргументом (особенно для логика), основанным главным образом на инженерных ограничениях: «Это и подобные противоречия, однако, чтобы доказать невозможность рассматриваемых миров, предполагают фактическую осуществимость путешествия в собственное прошлое. Но скорости, которые были бы необходимы для завершения путешествия в разумное время, намного превосходят все, что можно ожидать, чтобы когда-либо стать практической возможностью. Поэтому нельзя априори исключить на основании приведенного аргумента, что пространственно-временная структура реального мира имеет описанный тип». То есть Гёдель пытался отвести критиков своей модели вращающейся Вселенной, которые могли бы указать на результат путешествия во времени как на доказательство того, что модель Гёделя должна быть ошибочной.

В сноске Гёдель говорит, что путешественник во времени должен был бы двигаться по крайней мере со скоростью, близкой к 71 % скорости света, и что если бы его ракетный корабль мог «полностью преобразовать материю в энергию», то вес топлива был бы в  $10^{22}$  раза больше веса ракеты, деленного на квадрат продолжительности полета (в ракетных годах). Путешествие в прошлое во Вселенной Гёделя потребовало бы машины времени, которая выглядела бы как телефонная будка Доктора Кто, прикрепленная к топливному баку размером в несколько сотен триллионов океанских лайнеров. Это внушительные цифры, но они не подразумевают нарушения физических

законов, и именно это действительно имеет значение, если путешествия во времени должны быть опровергнуты. Использование Гёделем инженерных ограничений для объяснения обратного путешествия во времени на самом деле хуже, чем просто ошибка, потому что вопрос не в практической, а скорее в том, чтобы показать возможность, предполагая, что общая теория относительности верна, насколько верная и реальная математическая физика может привести к тому, что кажется парадоксальным заключением.

Итак, что же сам великий человек, Эйнштейн, думал обо всем этом? В той же публикации, что и эссе Гёделя, он осторожно ответил: «Эссе Курта Гёделя составляет, на мой взгляд, важный вклад в общую теорию относительности, особенно в анализ понятия времени. Эта проблема беспокоила меня уже во время построения общей теории относительности, хотя мне и не удалось ее прояснить... различие “раньше-позже” оставлено для точек мира, лежащих далеко друг от друга в космологическом смысле, и возникают те парадоксы относительно направления причинной связи, о которых говорил г-н Гёдель... Было бы интересно обдумать, не следует ли исключить их на физическом основании».

Несмотря на математическую физику Гёделя, указывающую на возможность путешествий во времени в прошлое, многие философы не совсем в этом уверены. Как выразился один из них, «ни одна научная фантастика не представляет больших философских трудностей, чем путешествия во времени, но до сих пор нет единого мнения о том, являются ли фантастические путешествия во времени логическими, метафизическими или физическими невозможностями». Наиболее известной и, возможно, самой древней из парадоксальных ситуаций, которые, по-видимому, являются неотъемлемой частью путешествий во времени, является так называемый парадокс дедушки, выраженный философом Дэвидом Льюисом в его новаторской работе 1976 года таким образом:

*Представь некоего Тима. Он ненавидит своего деда, чья успешная торговля оружием создала семейное состояние, из которого было оплачено создание машины времени Тима. Тиму ничего так не хочется, как убить дедушку, но увы, он опоздал. Дедушка умер в своей постели в 1957 году, когда Тим был еще маленьким мальчиком. Но когда Тим построил свою машину времени и отправился в 1920 год, он вдруг понял, что еще не слишком поздно. Он покупает винтовку... и сидит в засаде однажды зимним днем 1921 года, с заряженным ружьем, с ненавистью в сердце, а дедушка подходит все ближе и ближе...*

Итак, вот она, загадка. Тим, очевидно, может достичь своей цели – у него заряженное ружье, он отличный стрелок, ни о чем не подозревающий дедушка все ближе, – но если он действительно убивает дедушку за много лет до того, как Тим родился (родится), то как может родиться Тим? А если он не родился, то как же Тим (которого нет «сейчас») может путешествовать во времени, чтобы убить дедушку? Какая запутанная ситуация, верно? Итак,

единственный возможный вывод из всего этого состоит в том, что исходная предпосылка, что путешествие во времени имеет смысл, на самом деле должна быть бессмыслицей. Так ведь?

Да, может быть, но как тогда насчет Гёделя с его путешествующим во времени космическим кораблем? Это твердая, как алмаз, непоколебимая математическая физика, ради всего святого! Мы не можем просто игнорировать это! Льюис предлагает выход из этого противоречия, и когда мы перейдем к обсуждению парадоксов (во множественном числе, потому что есть и другие парадоксы, еще более запутанные, чем убийство дедушки в далеком прошлом), мы вернемся к его решению.

С тех пор как Льюис написал свою работу, философы были особенно впечатлены парадоксом дедушки и показали себя, по крайней мере, такими же изобретательными, как и писатели-фантасты, обсуждая этот парадокс или его вариации. Вот, например, вариация этого парадокса, которую я считаю особенно умной и которая избегает убийственного духа истории, рассказанной Льюисом и Хорвичем:

*Сара только что закончила строить свою машину времени. Она решает испытать машину на себе завтра утром, когда она намеревается вернуться назад на один день. А пока она идет домой, накладывает мазь на ожог, который получила в тот день, и ложится спать. Утром Сара с чашкой кофе в руке садится читать утреннюю газету. Она открывает газету на следующем заголовке: «Знаменитый физик найдена мертвой!» На первой странице фотография тела Сары внутри ее нетронутой машины времени, ожог и мазь отчетливо видны на руке. Внизу – подпись:*

*«Вчера нобелевский лауреат по физике была найдена мертвой в загадочном устройстве, материализовавшемся возле мэри». Крайне потрясенная, Сара возвращается в лабораторию и уничтожает машину времени.*

Есть ли в этом какой-то смысл? Мы вернемся к этому вопросу позже в главе 2, когда будем обсуждать возможность (или невозможность) многомерности времени.



## *Вступительное слово от издательства*



### **Отзывы и пожелания**

Мы всегда рады отзывам наших читателей. Расскажите нам, что вы думаете об этой книге – что понравилось или, может быть, не понравилось. Отзывы важны для нас, чтобы выпускать книги, которые будут для вас максимально полезны.

Вы можете написать отзыв на нашем сайте [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com), зайдя на страницу книги и оставив комментарий в разделе «Отзывы и рецензии». Также можно послать письмо главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com); при этом укажите название книги в теме письма.

Если вы являетесь экспертом в какой-либо области и заинтересованы в написании новой книги, заполните форму на нашем сайте по адресу [http://dmkpress.com/authors/publish\\_book/](http://dmkpress.com/authors/publish_book/) или напишите в издательство по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

### **Список опечаток**

Хотя мы приняли все возможные меры для того, чтобы обеспечить высокое качество наших текстов, ошибки все равно случаются. Если вы найдете ошибку в одной из наших книг – возможно, ошибку в основном тексте или программном коде, – мы будем очень благодарны, если вы сообщите нам о ней. Сделав это, вы избавите других читателей от недопонимания и можете нам улучшить последующие издания этой книги.

Если вы найдете какие-либо ошибки в коде, пожалуйста, сообщите о них главному редактору по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com), и мы исправим это в следующих тиражах.

### **Нарушение авторских прав**

Пиратство в интернете по-прежнему остается насущной проблемой. Издательство «ДМК Пресс» очень серьезно относится к вопросам защиты авторских прав и лицензирования. Если вы столкнетесь в интернете с незаконной публикацией какой-либо из наших книг, пожалуйста, пришлите нам ссылку на интернет-ресурс, чтобы мы могли применить санкции.

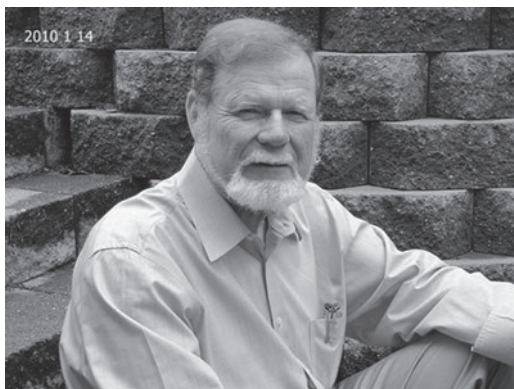
Ссылку на подозрительные материалы можно прислать по адресу [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com).

Мы высоко ценим любую помощь по защите наших авторов, благодаря которой мы можем предоставлять вам качественные материалы.

---

## Об авторе

---



Пол Нахин родился в Калифорнии и там же прошел полный курс обучения (школа Бри-Олинда в 1958 г., бакалавриат Стэнфорда в 1962 г., аспирантура Калтеха в 1963 г., и – как докторант в команде Говарда Хагиса – получил степени кандидата, а затем и доктора технических наук по электротехнике в университете Ирвина в 1972 г.).

Профессор Нахин опубликовал два десятка коротких научно-фантастических рассказов в журналах Analog, Omny и Twilight Zone и написал 14 книг по математике и физике. Он выступал как приглашенный лектор по математике в колледже Боудойна, в аспирантуре Клермонта, в Университете Теннесси и в Калифорнийском технологическом институте, принимал участие в шоу «Научная пятница» (обсуждая путешествия во времени) Национального общественного радио, а также выступал на общественном радио Нью-Гемпшира в программе «Парадный подъезд» (обсуждая мнимые числа), консультировал сценаристов Бостонской программы общественного телевидения «Нова» по поводу эпизодов путешествия во времени. Он выступал с лекцией по математике на Сэмпсоновских курсах 2011 года в колледже Бейтса (Льюистон, штат Мэн).



# ГЛАВА 1

## Что мы понимаем под путешествием во времени?



*Что, если бы вы знали ход событий ... прежде чем что-то произойдет? Например, убийство Кеннеди ... результаты чемпионата ... колебания фондового рынка? Большинство из нас готово умереть за возможность переиграть свои решения.*

*– С обложки романа Кена Гримвуда «Повтор»*

### 1.1. Идея путешествий во времени как явление культуры

Путешествия во времени...

Можно ли придумать более захватывающее, более романтическое, более удивительное приключение? Я думаю, что нет, и, прежде чем мы перейдем к формулам и законам физики, хочу начать свою книгу с рассказа о том, насколько увлекательной многие писатели (и их читатели) считали идею путешествия во времени. И это началось задолго до того, как физики обнаружили возможность путешествия во времени, скрытую в общей теории относительности Эйнштейна.

До высадки людей на поверхность Луны в 1969 году единственным невероятным приключением, сопоставимым с путешествием во времени, было путешествие в космос. Фактически в течение семнадцатого и восемнадцатого веков такие путешествия были центром особого художественного жанра, называемого «воображаемым путешествием» или «невероятным путешествием» (позже он превратился в научную фантастику). Конечно, после 1969 года воображаемые космические путешествия потеряли свою фантастичность, и современным «невероятным путешествием» стало перемещение во времени.

Я готов поспорить, что в случайной выборке взрослых людей среднего возраста по крайней мере три четверти с энтузиазмом ответят на вопрос, интересуется ли их путешествие во времени. Возьмите группу детей старше пяти лет, и голосование, безусловно, будет единодушным.

Массовое увлечение путешествиями во времени было «научно» задокументировано. В интригующем исследовании, проведенном Коттлом в 1976 году,

несколько сотен мужчин и женщин попросили вообразить возможность провести час, день и год назад как в своем личном прошлом (с момента рождения), так и в историческом прошлом (до рождения). Им также сказали, что услуга путешествия во времени будет стоить 10 000 долларов. Ответы показали, что 10 % опрошенных готовы заплатить эту сумму за час в историческом прошлом, 22 % за день и 36 % за год. Как и следовало ожидать, цифры росли по мере снижения стоимости, и, если такое путешествие было бесплатным, интерес был почти всеобщим. Менее строгий опрос был проведен в 1988 году редакцией журнала *Seventeen*. Мартовский выпуск журнала под заголовком «Лучшие времена» открывался провокационным вопросом «Если бы вы путешествовали на машине времени, куда бы вы отправились?». Ответы варьировались от Трои 1200 года до нашей эры и викторианской Англии до «крутых пятидесятых». Ответы молодых девушек, составляющих основную читательскую аудиторию журнала, показали, что они считают прошлое «романтичным местом».

Как выразился один современный писатель-фантаст: «Путешествие во времени – это высшая форма фантазии, научное дополнение к поиску бессмертия человеком». А философ Смит правильно подметил, что «популярность обращения к путешествиям во времени ... несомненно связана с ностальгией по прошлому, которая является почти постоянным аспектом состояния человека».

### For Better or For Worse®

by Lynn Johnston



Единственная фантазия, которая является общей для всех людей, принимающих решения.

FOR BETTER OR FOR WORSE © 1993 Lynn Johnston Prod., Inc.

Перепечатано с разрешения UNIVERSAL PRESS SYNDICATE. Все права защищены

Столь массовое увлечение путешествиям во времени, конечно, впечатляет, но все же для этой книги не представляют научного интереса различные сказки, мистика и выдумки. Мы будем говорить в основном о науке – физике и математике – и, отчасти, о философии. Если нам так хочется верить в машины времени, то вовсе не потому, что они магические, а по совер-

шенно противоположной причине. Они не магические, а *рациональные*. И пытаться отмахнуться от математики – значит признать, что существуют какие-то сверхъестественные, паранормальные явления. Сверхъестественное – именно то, о чем эта книга *не* рассказывает. Эта книга о *физике*.

## 1.2. Почему не срабатывает машина времени Уэллса

Справедливости ради нужно сказать, что не физики, а писатель Герберт Уэллс в 1895 году познакомил читателей с машиной времени в привычном нам понимании в своей повести о викторианском ученом, который осваивает четвертое измерение и создает устройство, переносящее его во времени последних дней Земли.

Уэллс тоже совершил почти правильное путешествие во времени на машине. Но не совсем. Как вы узнаете дальше, рациональная машина времени должна двигаться как в пространстве, так и во времени. Все теоретические модели путешествий во времени, обсуждаемые в этой книге (цилиндры Типлера, черные дыры, ракеты Гёделя, космические струны, пространственно-временные червоточины и сверхсветовые искривления пространства-времени) требуют перемещения в пространстве. Машина Уэллса, однако, не двигалась; она всегда оставалась в лаборатории Путешественника во времени (или, по крайней мере, на том месте, где находилась бы лаборатория). Такие машины времени уэллсовского типа широко распространены в научной фантастике, но на самом деле они просто не сработают. Они встречаются с рядом проблем, по крайней мере одна из которых непреодолима. Если говорить о самом худшем, такая машина столкнется сама с собой!

Представьте: у меня есть машина времени, и я готовлюсь к первому путешествию во времени, возвращению в эпоху позднего мезозоя для охоты на динозавров. Я заряжаю свой карабин патронами Nitro Express размером с банан, проверяю, плотно ли зашнурованы мои непромокаемые ботинки, прощаюсь с женой и лезу в машину времени. Я дергаю рычаг. Но машины времени уэллсовского типа не прыгают в пространстве, а перемещаются во времени. Поэтому машина времени мгновенно столкнется сама с собой в микромоменте, прежде чем я потяну рычаг! В результате разрушения, очевидно, возникает парадокс: учитывая, что это произошло до того, как я потянул рычаг, как мне удалось его потянуть? Конечно, можно утверждать, что машина Уэллса на самом деле движется, потому что она прикреплена к Земле, которая, безусловно, движется по орбите, но не ясно, почему это должно привести к тому, что машина времени прибудет в прошлое Земли в том же месте, откуда отправилась, а не в какой-то другой участок пространства (почти наверняка космический вакуум).

Еще одна проблема с рациональной машиной времени уэллсовского типа состоит в том, что, поскольку она движется *сквозь* время, машина *всегда* должна стоять в одном и том же месте. Например, в ходе путешествия из



Театра Форда сегодня в Театр Форда вечером Страстной пятницы, 14 апреля 1865 года, в тщетной попытке спасти Линкольна от пули убийцы (далее я объясню причину тщетности подобных попыток) машина времени уэллсовского типа должна была бы находиться на своем месте каждое мгновение прошедшего столетия и даже больше. Наблюдателям за пределами машины все эти годы казалось бы, что машина стоит в одном и том же месте.

Спорить о путешествиях во времени в терминах машины времени Уэллса, будь то за или против, – значит строить свой карточный домик посреди шторма; делать это столь же нелепо, как обсуждать эволюцию на примере сказочных единорогов. Тем не менее даже серьезные философы, такие как Даммет, не избежали подобных рассуждений.



Изобретатель демонстрирует работу машины времени, отправляя в путешествие свою кошку. В рассказе сам изобретатель возвращается в 1901 год, где он случайно убивает своего деда – бульварная версия знаменитого парадокса дедушки.

Иллюстрация к книге Реймонда Палмера «Трагедия времени». Перепечатано с разрешения Агентства научной фантастики Аккермана

### 1.3. Собственное время

Вообще-то, теоретически возможно путешествовать на машине времени в будущее настолько далеко, насколько вы пожелаете, и увидеть его своими глазами, – заключение, полностью подтвержденное общепринятой специальной теорией относительности. Как написали в 1992 году физики Дезер

и Джеки (оба суровые критики путешествий во времени): «После 1900 года специальная теория относительности сделала возможным научное обсуждение машин времени». Они имеют в виду тот факт, что, перемещаясь на космическом корабле достаточно быстро (но никогда не быстрее света) и достаточно далеко, можно покинуть Землю и отправиться в далекое путешествие, возможно, до середины Вселенной, а вернувшись, очутиться на сотни, тысячи и даже миллионы лет в будущем. Вы могли бы сделать это путешествие, фактически происходящее в вашем «личном времени», измеряемом вашими наручными часами или биением вашего сердца, настолько коротким, насколько вы хотите.

Физики называют личное время *собственным временем*, тем самым утверждая, что у разных людей может быть разное время. Это поразительное заявление повергло бы в шок многих ученых викторианской эпохи.

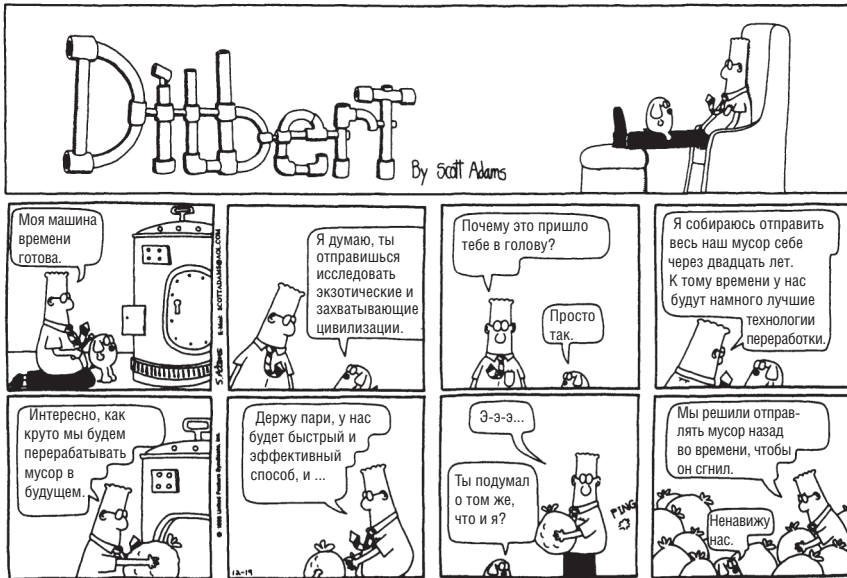
Различие между собственным (локальным) временем путешественника на космическом корабле и временем тех, кто не является попутчиком (например, оставшимися дома на Земле), является научным аргументом для отказа от замораживания (для примера) как средства реального путешествия во времени в будущее. Предположим, что вы кладете друга в морозильник, сравниваете его наручные часы с вашими часами и обнаруживаете, что они показывают одинаковое время. Спустя годы, когда вы разморозите своего друга, вы обнаружите, что ваши часы все еще синхронны (допустим, они работают и поддерживают постоянную температуру при помощи ядерных батареек, которые служат 100 лет). Но если часы второго друга совпадали с вашими в тот момент, когда он поднимался на космический корабль, чтобы начать далекое путешествие, то после его возвращения на Землю спустя годы (по вашему времени) вы обнаружите, что его часы далеко отстали от ваших. Зафиксированный приборами ход времени был одинаковым для вас и вашего замороженного друга, но не для вас и вашего космического друга. Этот вывод стал для многих ученых начала XX века слишком большим рывком вперед от всего, что им было дорого в природе реальности.

Галлуа предложил отличное пояснение разницы между собственным временем путешественника и временем его друзей, которые «остаются дома». Галлуа начинает свой анализ с вопроса, на который напрашивается очевидный ответ. Предположим, говорит он, что сейчас 1998 год, вы внезапно просыпаетесь в больнице, и вам говорят, что вы были в коме в течение последних двух недель. Вам также говорят, что вы попали в автомобильную аварию две недели назад, что вы получили временное повреждение нервной системы и что восстановление такого повреждения всегда происходит в случайное время в течение четырех недель после полученной травмы и вызывает один день мучительной боли, *если в этот день вы находитесь в сознании*. Чего бы вам хотелось больше – чтобы болезненный день восстановления пришелся на те две недели, пока вы были в коме, или на следующие две недели? Ответ кажется очевидным. В конце концов, если день, когда происходит восстановление, уже наступил, то вы просто проспали его

и пропустили боль. Выбрать день боли в будущем (когда вы не спите) кажется абсурдным. Теперь давайте добавим к условию путешествие во времени.

Все как прежде, но теперь вы сразу же выходите из больницы после того, как придете в сознание, чтобы отправиться в путешествие назад, в 1892 год, где вы пробудете две недели. Опять же очевидно, что вы бы предпочли, чтобы день боли случился в последние две недели (в 1998 году), а не в следующие две недели (в 1892 году). Обратите внимание, что слово *следующие* – это ссылка на ваше собственное время, потому что хотя 1892 год – это глобальное прошлое, это *ваше* личное будущее. Таким образом, вы бы предпочли пережить день боли в *недавнем* личном прошлом 1998 года, а не в далеком глобальном прошлом 1892 года. Теперь давайте добавим к этой истории еще один поворот во времени.

Все как прежде, за исключением того, что теперь вам говорят в больнице, что автокатастрофа произошла сразу после того, как вы совершили путешествие во времени в 2092 год: когда вы выходили из машины времени в 2092 году, вас сбил автомобиль. Две недели, в течение которых вы находились в коме, были в 2092 году, до того, как вы были признаны достаточно здоровым (хотя и без сознания), чтобы отправиться назад в 1998-й. Когда бы вы предпочли провести день боли? Очевидно, как всегда, в вашем *личном прошлом*, которое является глобальным будущим. Время *разное* для тех, кто путешествует во времени, и для тех, кто этого не делает!



Одно использование для машины времени, которую пропустила научная фантастика!  
©DILBERT, перепечатано с разрешения United Feature Syndicate, Inc.

## 1.4. Путешествия в прошлое – действительно ли они возможны?

Вопрос, который я хочу хотя бы озвучить, прежде чем идти дальше, очевиден. Путешествия в прошлое обладают невероятной ностальгической заманчивостью, но это удел литературы. Нас больше интересует, возможно ли *физическое* путешествие во времени в прошлое? Одно дело – сказать, что специальная теория относительности позволяет путешествовать в будущее, но совсем другое – спросить, а можно ли оттуда вернуться (ведь наше настоящее – это прошлое относительно будущего). Изучая этот вопрос на протяжении всей оставшейся части данной книги, вы обнаружите, что, как сказал профессор Монте Кук, «путешествие во времени – это странное дело», а путешествие в прошлое – это, бесспорно, самая странная разновидность путешествий.

Что уж говорить о физиках, если даже писатели-фантасты не в восторге от идеи путешествий во времени в прошлое. Например, Айзек Азимов однозначно отрицал возможность путешествия во времени в прошлое, хотя даже беглый взгляд на его библиографию показывает, что он любил писать рассказы, используя эту идею. Например, он писал, что «осознание того, что истинное путешествие во времени совершенно невозможно, возникает из-за известных “парадоксов”, которые оно влечет за собой... Парадоксы чрезвычайно сложны и безнадежны... так что слепая вера в путешествия – это отказ от любой разумной концепции причинности, поэтому самый простой выход из иррационального хаоса, который возникает в результате, состоит в том, чтобы предположить, что *истинное путешествие во времени* (термин Азимова для путешествия по желанию при помощи машины, управляемой человеком, как вперед, так и назад во времени – то, что сегодня называется *сильной машиной времени*) невозможно и останется невозможным».

Занимая противоположную позицию и аргументируя разумность путешествий во времени, выдающийся философ Дэвид Льюис начал знаменитое эссе со строк «Я утверждаю, что путешествие во времени возможно. Парадоксы путешествий во времени – это странности, а не запреты. Они доказывают только то, в чем мало кто сомневался: что возможный мир, в котором происходят путешествия во времени, был бы самым странным миром, принципиально отличающимся от мира, в котором мы находимся». Так же думал и Роберт Форвард, старший научный сотрудник в штате Директората исследовательских лабораторий Хьюза. Занимаясь долгое время исследованиями в области общей экспериментальной теории относительности, он с удивительным оптимизмом заявил: «Некоторые из нас, живущих сейчас, смогут ... удивиться ограниченности дремучих философов двадцатого века, которые так переживали за эти “парадоксы машины времени”».

Здесь уместно вспомнить так называемый «закон Нивена», который принадлежит писателю и ученому Ларри Нивену:

*Если рассматриваемая вселенная допускает возможность путешествий во времени и изменения прошлого, то в этой вселенной не будет изобретена машина времени.*

Мягкая форма закона Нивена заключается в том, что если вселенная действительно позволяет создать машину времени, то ее использование изменит прошлое, чтобы *отменить* изобретение! Аналогичный аргумент приводят и против машины времени на основе червоточины, о которой мы поговорим позже: «Скорее всего, обратное воздействие физических полей на пространство-время разрушит машину времени».

Интересным вариантом закона Нивена является антропоцентрическая версия Гриббина и Риза (1989), которая гласит, что парадоксы путешествий во времени приемлемы, если во вселенной нет сознательных, разумных существ, которые бы знали о них. То есть парадокс на самом деле не является парадоксом, если поблизости нет кого-то, кого это беспокоит! Лично мне это кажется искусственным и совершенно неприемлемым аргументом, весьма далеким от серьезной физики.

Один известный философ, Сمارт, предложил еще более сжатое (если не более выразительное) доказательство невозможности путешествий во времени: «Движение – это скорость изменения *пространства* [мой курсив – П. Н.] относительно времени, и поэтому мы не можем двигаться через время». Философы, в отличие от физиков, слишком склонны к такого рода «лингвистическим доказательствам», и я лично не убежден аргументом профессора Смарта. Но нельзя отрицать, что он говорит от имени многих. Один ученый, чтобы продемонстрировать, насколько невероятным был план Эрнеста Лоуренса построить циклотрон на сто миллионов вольт незадолго до начала Второй мировой войны, написал, что «проект Лоуренса на сто миллионов вольт был не более осуществимым, чем машина времени».

## 1.5. Где все путешественники во времени?

Писатель Артур Кларк привел довольно интересное возражение против путешествий во времени. Он пишет: «Самый убедительный аргумент против путешествий во времени – это удивительное отсутствие путешественников во времени. Каким бы неприятным наш век ни казался людям будущего, наверняка можно было бы ожидать, что к нам приедут ученые и студенты, если бы такое вообще было возможно. Хотя они могут попытаться замаскироваться, шила в мешке не утаишь, как если бы мы вернулись в имперский Рим с камерами и магнитофонами, скрытыми под нейлоновыми тогами. Путешествие во времени никогда не может оставаться в тайне очень долго». Скептик в повести «Стрела времени» (Макдевитт) объясняет проблему Кларка потенциальному изобретателю машины времени: «Если путешествие во времени осуществимо, то кто-то его непре-

менно совершит. Если это произойдет, исторические места заполнят туристы. Они будут везде. Они залезут на Голгофу, они явятся на сражение при Аппоматоксе с фотокамерами наперевес, они будут ждать у могилы Христа в пасхальное утро».

С того момента, как впервые заработает машина времени, по всей истории цивилизации расплзутся многочисленные историки, не говоря уже об экскурсантах выходного дня, которые захотят посетить каждое важное историческое событие в истории человечества. Каждый из них может выйти из разного времени в будущем, но все придут в одни и те же места назначения, заполненные их коллегами – толпами путешественников, которых мы не наблюдаем!

Кларк, всегда интеллектуально объективный и не обремененный идеологическими убеждениями, которые надо защищать, упоминает и возможные опровержения своего аргумента. Как пишет Кларк: «Некоторые писатели-фантасты пытались обойти эту трудность [отсутствие путешественников во времени], предполагая, что Время – это спираль; хотя мы, возможно, и не сможем двигаться по нему, мы можем прыгать с витка на виток, разносясь во времени так далеко друг от друга, что нет опасности столкновения между культурами. Охотники за крупной дичью из будущего, возможно, уничтожили динозавров, но возраст Homo Sapiens может находиться в слепой области, которой они не могут достичь».

Существуют теоретические модели пространства-времени, которые допускают путешествие во времени в прошлое косвенным способом – перемещением в противоположном направлении, то есть в будущее. Но, как пишет профессор Вейнгард, это «не совсем то, к чему мы стремимся. Действительно, можно путешествовать во времени *в смысле* возможности отправиться в прошлое. Но это делается не путем путешествия во времени, а путем пересечения всей истории Вселенной».

Стивен Хокинг использовал аргумент «отсутствующих путешественников во времени» в качестве экспериментального доказательства своей версии «закона Нивена», так называемой *гипотезы защиты хронологии*. Хокинг отрицал возможность путешествия во времени в прошлое, потому что «нас не посещают толпы туристов из будущего».

Не все физики считают, как Хокинг, что отсутствие (пока) массовых посещений из будущего служит неотразимым аргументом против путешествий во времени в прошлое. Например, у Крили мы читаем: «Допущение о защите хронологии является серьезным недостатком, потому что нарушение хронологии не может быть исключено по физическим соображениям. Мы можем проводить только локальные (то есть мелкомасштабные) эксперименты, но нарушение причинности в общей теории относительности является глобальным (то есть крупномасштабным) эффектом, и поэтому отсутствие опыта не может свидетельствовать об отсутствии явления. Таким образом, нарушение хронологии может обсуждаться только исходя из философских соображений, которые достаточно часто оказыва-

лись лишь предрассудками». Затем, заметив, что все такие философские аргументы, если они нетривиальны, основаны на проблеме свободной воли, профессор Крили продолжает предполагать, что общая теория относительности Эйнштейна в конечном итоге окажется частным случаем еще более общей теории гравитации, в которой «свободная воля» является чем-то вроде эффекта второго порядка, и поэтому возможно, что классическое пространство-время нашего мира ограничено замкнутыми кривыми времени [подразумевающими возможность путешествия во времени в прошлое], хотя мы наслаждаемся комфортом свободной воли».

Тем не менее вопрос Хокинга об отсутствии туристов из будущего – это, несомненно, загадка, которая повторяет полувековой вопрос Энрико Ферми об инопланетной разумной жизни во вселенной – если «они» существуют, то где же они? Одна из попыток ответить на этот вопрос о путешественниках во времени заключается в том, что путешествие во времени возможно только в будущее. В нашем настоящем нет путешественников во времени из будущего, потому что такие путешественники могут путешествовать только в будущее, а путешествие во времени не было изобретено в нашем прошлом. «Доказательство» невозможности путешествия во времени назад было предложено даже экономистом (!), который заявил, что факт сохранения положительных процентных ставок «является доказательством того, что путешественники во времени не существуют и не могут существовать». Рейнганум утверждает, что путешественники во времени из будущего, если бы они действительно побывали в прошлом, могли бы, благодаря своему глубокому знанию будущих событий, совершать финансовые махинации, настолько многочисленные и масштабные, что свели бы процентные ставки к нулю. Однако процентные ставки не равны нулю, и, таким образом, путешественники во времени не находятся среди нас.

Более интересным, чем спор о корыстных путешественниках во времени, является предположение, что путешествия во времени назад возможны, но чрезвычайно опасны. Если это так, то кажется разумным, что было бы трудно заставить кого-либо сделать это добровольно.

Еще один интересный ответ на вопрос «Где все путешественники во времени?» заключается в том, что они среди нас, но (вопреки мнению Кларка) каким-то образом сумели избежать разоблачения.

## 1.6. Путешественники во времени и скептицизм

Вероятность обескураживающего недоверия по отношению к путешественникам во времени является центральным тезисом одной захватывающей философской статьи. Соренсен утверждает, что никто не поверит путешественнику во времени, даже если он охотно признается и раскроет свои знания о будущем или даже расскажет подробности о своей машине времени. Более того, Соренсен делает довольно неожиданное предположение, что

даже у самого путешественника во времени были бы сомнения! Эта шокирующая идея заслуживает некоторых пояснений, особенно потому, что Соренсен обращается к поддержке философского авторитета и покровителя скептиков, шотландца Дэвида Юма. Следует помнить о важном предостережении в статье Соренсена: «Ключевым вопросом будет не возможность путешествия во времени как таковая. Вместо этого мы спросим, можно ли обоснованно поверить в заявления о путешествии во времени». Вот в чем истинная суть вопроса Кларка.

Значительная доля недоверия к заявлениям о путешествии во времени основана на обычном скептицизме. Для многих путешествия во времени (в частности, в прошлое) слишком необычны, чтобы воспринимать их всерьез. Для таких людей путешествие во времени было бы буквально чудом. Великая работа Юма «Исследование о человеческом познании» содержит раздел о том, как рациональный человек должен реагировать на утверждение о том, что произошло чудо. Юм провозгласил, что чудо по определению нарушает научный закон и, поскольку научные законы основаны на «твердом и неизменном опыте», любое нарушение одного или нескольких научных законов заведомо обеспечивает опровержение сообщений о чуде. По словам самого Юма:

*Ничто не почитается как чудо, если это когда-либо происходило в общем русле природы. Неудивительно, что человек, казалось бы, здоровый, внезапно умирает; потому что такого рода смерть, хотя и более необычная, чем любая другая, все же часто наблюдалась. Но это чудо, когда мертвец оживает; потому что это никогда не наблюдалось ни в каком возрасте или стране... Когда кто-нибудь говорит мне, что он видел мертвого человека, возрожденного к жизни, я сразу же спрашиваю у себя, что более вероятно – что этот человек хочет обмануть меня, или сам обманут, либо тот факт, о котором он говорит, действительно имел место? Я взвешиваю одно чудо против другого; и согласно превосходству, которое я обнаруживаю, я провозглашаю свое решение и всегда отвергаю большее чудо [мой курсив].*

Соренсен поддерживает это строгое истолкование Юма, утверждая, что путешественник во времени не найдет веры – среди рациональных людей, во всяком случае – своим рассказам о «разных местах». Как объясняет Соренсен: «Совершенно очевидно, что путешественник во времени не может убедить рационального человека, открыто заявляя, что он путешественник во времени. Невероятность его заявления возлагает на него тяжелое бремя доказывания. Но, возможно, он мог бы облегчить это бремя с помощью артефактов, предсказаний и демонстраций». Соренсен отвергает все эти возможности, однако напоминает нам о несколько неприглядных примерах парапсихологии и спиритизма, которые противоречат известным научным законам, но продолжают обманывать «многих уважаемых ученых». Любой артефакт, предсказание или демонстрация путешествия во времени, ут-



верждает Соренсен, скорее окажется результатом обмана и мошенничества, чем фактического путешествия во времени: «Если путешественник возьмет наблюдателей с собой в работающую машину времени, мы скептически сравним их приключения с сеансами разоблачения магии». Согласно утверждению Соренсена, рациональная реакция на такое наблюдение на протяжении веков была бы похожа на реакцию мага, который не может понять, как коллега только что выполнил свой новый фокус: «Отличный трюк! Как ты это сделал?»

Для многих такая скептическая реакция на путешественников во времени кажется крайне догматичной – реакция человека без воображения, без души и с головой, в которой камень вместо мозга. Похоже, что скептицизм Юма требует отказа от всего, что вызывает удивление, оставляя мир существовать в условиях крайней предсказуемости и скуки. Как сказал Роберт Шекли в «Кое-что задаром»: «Когда происходит чудо, только унылым ничтожествам не дано его принять». Соренсен отвечает на эту резкую критику следующим образом: «Юмианцы реагируют, четко различая неожиданности. Большинство неожиданностей в науке не нарушают общепринятых научных законов. Странная дикая природа в Австралии не противоречит биологии, рентгеновские лучи не противоречат физике». Соренсен, однако, ловко избегает упоминания таких невероятных сюрпризов, как, например, спектр излучения черного тела и, позже, фотоэлектрический эффект, которые не входили в область познаний известной классической науки в начале двадцатого века. Эти загадочные, удивительные, *совершенно невероятные* эффекты требовали новой науки – открытия Максом Планком концепции квантовой физики. Строгий юмианец викторианской эпохи, описанный Соренсеном, ошибочно отверг бы экспериментальные доводы обо всех квантовых явлениях, как отвергал (возможно, тоже ошибочно) все сообщения о путешествиях во времени.

Не все современные философы согласны со строгим юмианским определением, согласно которому чудо требует нарушения одного или нескольких научных законов природы. Ахерн (1977) определяет чудо как любое событие, которое «может быть объяснено *только* [мой курсив – П. Н.] ссылкой на вмешательство сверхъестественной силы». Согласно этой интерпретации, путешествие во времени – не чудо, потому что все, что требуется, – это теория относительности, а не Бог. Профессор Ахерн утверждает, что именно его определение чуда на самом деле является истинно юмианским.

Клайв Льюис, покойный профессор литературы Средневековья и Ренессанса в Кембриджском университете, категорически отвергал мнение Юма о том, как рациональный человек должен реагировать на различные неожиданные события. Льюис, один из самых вдумчивых современных авторов христианского богословия, терпеть не мог скептиков (или, как он их называл, материалистов), в описании Соренсена. Профессор Льюис наглядно иллюстрирует свое разочарование Юмом следующими словами: «Если бы

конец света появился во всех буквальных атрибутах Апокалипсиса; если бы современный материалист [так Льюис называет скептика] своими глазами увидел разверзнутые небеса и явление великого сияющего трона; если бы у него возникло ощущение, что он сам себя повергает в геенну огненную, он бы и адское пламя воспринимал как иллюзию и находил объяснение в психоанализе или заболевании мозга». Если даже конец света получит такой скептический отклик, то у простого путешественника во времени нет никакой надежды на то, что ему поверят.

Льюис, безусловно, отклонил бы самое удивительное утверждение Соренсена: «Прежде я рассматривал вопрос о путешествиях во времени с точки зрения аудитории путешественника. Как насчет самого путешественника во времени? Может ли он хотя бы знать, что он путешественник во времени?» Соренсен утверждает, что путешественник во времени, если он настоящий, должен быть в состоянии убедить нас, и что если он не может (и *не сможет*, если мы истинные скептики-юмианцы), тогда путешественник также должен испытывать сомнения! Не важно, говорит Соренсен, что у путешественника во времени есть воспоминания о его приключениях, и не важно, что в глубине своего сердца он знает, что говорит правду. Используя слова, которые Льюис говорил с сарказмом, Соренсен всерьез отвергает важность самопознания путешественника во времени, объявляя такие воспоминания лишь симптомами своеобразного глубокого психоза, а внутреннюю уверенность путешественника – продуктом грубого самообмана.

В защиту Юма следует сказать, что он не заявляет об абсолютном неверии в удивительное, а скорее рассуждает о рациональном анализе. Исторически сложилось так, что контекст деятельности Юма был тем, что он считал нерациональными аргументами для веры в Бога. То есть, как сказал профессор Питер Хит в удивительно интересном и умном эссе, Юм был «разоблачителем дурных аргументов в рациональной теологии». Для Юма пересказанные кем-то (или даже более древние) истории о воскрешении человека из мертвых – утверждение, на котором буквально держится христианство после казни Христа, – были сомнительными. Как объясняет Хит: «Юм ... не пытается отрицать предполагаемые факты; он просто утверждает, что они согласуются с другими объяснениями и другими аналогиями менее амбициозного вида. Нет оснований приписывать причинам таких явлений более сложные объяснения, чем необходимо для получения наблюдаемых эффектов».

Интересно, что бы Артур Кларк подумал о скептицизме по отношению к тем, кто утверждает, что у него есть машина времени? Именно с его мыслей о трудностях, с которыми будут сталкиваться путешественники во времени, мы начали предыдущий раздел, поэтому мы могли бы задаться вопросом, что Кларк подумает о скептицизме Юма, поскольку он связан с путешествием во времени. Конечно, было бы лучше спросить лично Кларка, но я предполагаю, что у него вызвало бы раздражение такое недоверие. Удивление,

с которым столкнулся путешественник во времени, вскоре обернулось бы благоговением и удовольствием, ЕСЛИ – и я подчеркиваю, ЕСЛИ – если бы Кларк удостоверился в реальности машины незнакомца. Он наверняка процитировал бы свой знаменитый «Третий закон Кларка», чтобы объяснить причину этого чуда: «Любая достаточно продвинутая технология неотличима от магии».

Или, возможно, он вспомнил бы первую строчку романа Фаулера Райта 1930 года «Мир внизу»: «Прикладная наука всегда невероятна для вульгарного ума». В том же духе персонаж Роберта Хайнлайна в рассказе «Лазарь» однажды заявил, что «магия в глазах одного человека – это инженерия для другого человека. “Сверхъестественное” – пустое слово». Или, как говорится в рассказе «Четырехмерный пресс» (Олсен), «эти вещи [четырёхмерные объекты] выглядят как чудеса; но, в конце концов, что такое чудеса, кроме как явления, которые мы не можем объяснить из-за нашего невежества?»

На самом деле даже Юм мог быть уверен в довольно странных вещах, и я думаю, что Соренсен интерпретирует философа слишком узко. Профессор Хит в своем эссе о позиции Юма о вере в Бога задается вопросом, существуют ли «эмпирические [мыслимые] доказательства, которые убедили бы любой рациональный разум в реальном существовании бесконечного Бога». Хит отвечает на свой собственный вопрос следующим образом: «если звезды и галактики в течение ночи начнут перемещаться по небу, складываясь в слова на разных языках АЗ ЕСМЬ СУЩЕЕ, или БОГ ЕСТЬ ЛЮБОВЬ, – да, привереды могут сказать, что все это выглядит очень вульгарно, но разве подобное событие не закрывает вопрос о всемогуществе раз и навсегда? Столкнувшись с такой демонстрацией, бескомпромиссный юмианец [но не сам Юм, я думаю – П. Н.] наверняка продолжил бы утверждать, что при всех своих колоссальных масштабах могущество по-прежнему конечно, хотя и огромно, поскольку конечные, хотя и невероятно огромные усилия не могут служить доказательством бесконечного могущества».

Хит подводит итог мыслью, которую я считаю идеальным опровержением для любого, кто откажется признать путешествие во времени, даже после того, как совершит короткое путешествие назад на несколько десятков миллионов лет в эпоху позднего мезозоя для охоты на тираннозавра и даже после рассматривания фотографии мертвого монстра с собственной ногой скептика на голове или лапы невероятного размера, с которой капает кровь на пол машины времени. Профессор Хит, говоря о юмианце, который хранит недоверие даже на фоне перекроенного небосвода, отмечает: «Но на самом деле это лучшее доказательство того, что даже всемогущество бессильно против экстремальных форм скептической непримиримости». Там, где даже Бог не может убедить скептика, простой путешественник во времени вряд ли может надеяться на большее! Если его экзаменаторы – толпа консервативных, осторожных юмианцев, путешественник во времени обречен.

## 1.7. Эйнштейн, Гёдель и прошлое

Персидский поэт-философ одиннадцатого века Омар Хайям был прямолинейным в своей оценке вероятности возвращения прошлого. Как он красиво написал в одном из катренов поэмы «Рубайят»:

*Скользит перо... и пусть себе скользит.  
Пиши, не сомневаясь ни минуты,  
Ни силой, ни мольбой не взять слова назад,  
Не отменить написанные буквы.*

Немного позже английский поэт Томас Хейвуд в своей пьесе «Женщина, убитая с любовью» заставил одного из своих героев выразить похожую мысль:

*О Боже, Боже, если было бы возможно  
Вернуть назад вчерашний день и сделанное отменить;  
И времени струящийся песок остановить,  
Иначе пережить те дни и выкупить ушедшие часы.  
Или чтоб солнце  
Могло пойти по небу вспять, взойдя на западе опять,  
Вернуть из счета Времени ушедшие минуты,  
Немного, только до сегодняшнего дня.  
...  
Но – ах! – я говорю о невозможном,  
Хочу увидеть обратную сторону Луны.*

Вин Ваххорст, современный исследователь популярной культуры, придумал странный способ опровергнуть путешествия во времени. Переноса викторианского путешественника во времени Уэллса в чуждый ему век и призывая Эйнштейна, он пишет (1984): «Мы обязаны Уэллсу не только за понятие осознанного путешествия во времени, но и за образ, в котором мы его воспринимаем: сиятельный эдвардианский (!) джентльмен садится на богато украшенную парную повозку, которая движется во времени почти так же, как трамвай по городу. Это пространственное представление о времени, наряду с его ньютоновским катехизисом, все дальше и дальше идет по пути шляпок и туфель с высокими пуговицами в новом мире Эйнштейна и квантовой механики».

Последний комментарий Ваххорста по-своему ироничен, потому что именно уравнения поля Эйнштейна фактически обеспечивают основу для современной теории путешествий во времени.

Впрочем, вы можете сказать, что подобные отрицатели путешествий во времени – просто сказочники, философы, поэты и журналисты. Что *они* могут знать о возможности путешествий во времени? Важно лишь то, что ду-

мают физики и математики, потому что, в конце концов, если машина времени когда-либо будет построена, это будет результатом нового понимания математической физики на гораздо более глубоком уровне, чем сегодня. И разумеется, есть физики и математики, которые уже сейчас не сбрасывают со счетов возможность путешествий во времени.

Например, Курт Гёдель, упомянутый в некрологе как один из величайших математических логиков всех времен, опубликовал решение уравнений поля Эйнштейна для общей теории относительности – решение, применимое к вращающейся вселенной, состоящей из совершенной жидкости при постоянном давлении. В этой вселенной, называемой *вселенной Гёделя*, существуют замкнутые времениподобные мировые линии в пространстве-времени. Как выразился Гёдель, такие мировые линии подразумевают, что «в [такой вселенной] теоретически возможно путешествовать в прошлое или иным образом влиять на прошлое». Эти мировые линии являются возможными путями космических путешественников, которые всегда движутся в местное будущее, но тем не менее в конечном итоге возвращаются в свое прошлое. Фактически такие *естественные* замкнутые временные линии мира проходят через *каждую* точку пространства-времени Гёделя; то есть путешествие во времени во вселенной Гёделя *не* является результатом того, что машина манипулирует массой и энергией в локальном масштабе. В пространстве-времени Гёделя путешествие во времени является естественным явлением!

Удивительно то, что один из великих физиков двадцатого века, Герман Вейль, коллега Эйнштейна и Гёделя в Институте перспективных исследований в Принстоне, написал в 1952 году следующий провидческий текст за три десятилетия до Гёделя:

*В настоящем возможно переживать события, которые частично будут результатом моих будущих решений и действий. Более того, для мировой линии (в частности, проходящей через мое тело) не исключено, что она имеет временное направление в каждой точке, ведущее в окрестность точки, через которую она уже когда-то проходила. В результате получился бы спектральный образ мира, более пугающий, чем что-либо, что когда-то рождала странная фантазия Хоффмана [немецкого писателя-эксцентрика начала XIX века]. На самом деле очень значительные колебания [компонентов метрического тензора], которые были бы необходимы для получения этого эффекта, не наблюдаются в той части мира, в которой мы живем. ... Хотя существуют парадоксы подобного рода, нигде мы не находим реального противоречия фактам, непосредственно представленным нам в опыте [мой курсив – П. Н.].*

Прошло тридцать лет после того, как Вейль написал эти удивительные слова, прежде чем Гёдель наконец представил свою вращающуюся вселенную, которая показывала, как на самом деле могут происходить эти «значительные колебания».

В ключевом 1949 году Гёдель специально упомянул парадоксальный аспект своего кругового путешествия во времени: «Если совершать круговое путешествие на космическом корабле через достаточно обширное пространство, то в этих [вращающихся] мирах можно путешествовать в любую область прошлого, настоящего и будущего и обратно, точно так же, как это возможно в других мирах для перемещения в отдаленные части пространства. Такое положение вещей, *кажется* [мой курсив – П. Н.], подразумевает абсурд, потому что это позволяет наблюдателю, например, путешествовать в недалекое прошлое собственной жизни. Там он найдет человека, который будет им самим в более ранний период жизни. Он сможет сделать с этим человеком что-то такое, чего, по его памяти, с ним не случилось».

Гёдель защищал свои утверждения о парадоксе путешественника во времени, встречающего себя в прошлом с удивительно неубедительным аргументом (особенно для логика), основанным прежде всего на технических ограничениях: «Это и подобные противоречия, аргументирующие невозможность рассматриваемых миров, предполагают реальную возможность путешествия в собственное прошлое. Но скорости, которые были бы необходимы для завершения путешествия в разумные сроки, намного превышают все, что можно ожидать на практике. Поэтому нельзя исключать – априори, исходя только из приведенного аргумента, – что пространственно-временная структура реального мира относится к описанному типу». То есть Гёдель таким способом пытался сходу разоружить критиков своей модели вращающейся вселенной, которые могли бы указать на парадокс путешествия во времени в качестве доказательства ошибочности модели.

В ответ на работу Гёделя Эйнштейн написал: «На мой взгляд, статья Курта Гёделя является важным вкладом в общую теорию относительности, особенно в анализ концепции времени. Эта проблема беспокоила меня уже во время создания общей теории относительности, и мне не удалось ее прояснить. ... различие “раньше-позже” вынесено в точки мира, которые находятся далеко друг от друга в космологическом смысле, и отсюда возникают те парадоксы, касающиеся направления причинной связи, о которых говорил г-н Гёдель. ... Будет интересно взвесить, не исключено ли это по физическим соображениям».

Озсват и Шуккинг полагали, что одно из возможных обоснований для отказа от путешествий во времени в решении Гёделя, основанное на «физических соображениях», может опираться на тот факт, что вселенная Гёделя бесконечна. Вероятно, говорили они, вращающаяся *конечная* вселенная будет лишена возможности путешествий во времени. Главной заботой этих ученых было то, что вращающаяся вселенная Гёделя не включает принцип Маха, утверждающий, что инерция любого объекта определяется распределением всей остальной массы во вселенной. Сам Эйнштейн изначально полагал, что общая теория удовлетворяет этому принципу, и до контрпримера Гёделя в 1949 году все известные решения уравнений гравитационного поля фактически соответствовали утверждению Маха.



Кое-кто утверждает, что этот комикс из журнала *New Yorker* 1957 года объединяет путешествия во времени и пространстве. Если это правда, это просто замечательно. Прошло всего восемь лет с тех пор, как Гёдель показал, что можно совершить путешествие во времени назад на космическом корабле, и могут ли даже читатели *New Yorker* быть настолько продвинутыми, чтобы посмеяться над шуткой, основанной на статье в «Обзорах современной физики»? На первый взгляд кажется, что это посещение Эдемского сада в попытке изменить прошлое. Но, конечно, это не так; существа на рисунке – не люди (внимательно посмотрите на их головы). Безусловно, художник не имел в виду путешествие во времени.

Автор рисунка: Whitney Darrow, Jr.; © 1957 The New Yorker Magazine, Inc.

Предположив, что принцип Маха может быть сохранен в конечной вращающейся вселенной, Озват и Шуккинг решили таким образом найти новый контрпример – вращающееся решение, которое является конечным и не допускает путешествия во времени в прошлое, но все же нарушает принцип Маха. Им удалось решить эту задачу. Их желание найти такое решение было особенно понятно; Гёдель провокационно утверждал, что в 1950 году он сам нашел такую модель. К сожалению, Гёдель не сообщил подробностей, но Озват и Шуккинг в своей статье 1962 года упоминают, что они получили личное сообщение от Гёделя о том, что одной из сохраняющих время моделей, которые он имел в виду, была, по сути, их модель. В статье 1962 года вы можете найти набросок этой модели, а в более поздней статье Озват и Шуккинг опубликовали гораздо более подробный анализ. Таким образом, принцип Маха был окончательно изгнан из общей теории относительности.

Однако теоретическую возможность путешествий во времени оказалось не так-то просто опровергнуть. В течение последующих нескольких лет были найдены другие решения, допускающие путешествия во времени, такими исследователями, как Сом и Рейчаудхури (1968), Банерджи и Банеджи (1968) и Де (1969). В последней работе был сделан вывод, что *можно* сформулировать общую релятивистскую ситуацию, нарушающую причинность. То есть путешествие во времени в прошлое, кажется, не просто аномалия конкретного решения Гёделя, а скорее оно встроено прямо в основные уравнения гравитационного поля общей теории относительности!

## 1.8. Квантовая механика, черные дыры, сингулярности и путешествия во времени

Основное возражение идеям Гёделя и самой идее путешествия во времени в прошлое основано на общей теории относительности и состоит в том, что в очень глубоком смысле общая теория относительности, *как известно*, является неполной. То есть она несовместима с квантовой механикой, которая является физикой очень, *очень* маленьких объектов порядка одной молекулы или даже меньше. В квантовой механике дискретная природа атомного мира проявляется в таких явлениях, как фотоэлектрический эффект, при котором свет действует как отдельные частицы, а не как непрерывные волны. Общая теория относительности прекрасно работает в космологическом масштабе, но, как и теория электромагнетизма Максвелла, в отличие от квантовой механики, она совершенно не работает, когда оказывается глубоко внутри атома. Квантовая теория, кажется, работает везде. Как пишет физик Ник Герберт в своей превосходной книге «Быстрее света»: «Насколько мы можем судить, нет эксперимента, который квантовая теория не может объяснить, по крайней мере в принципе... Хотя физики применили квантовую теорию к областям, далеким от атомного царства, в котором она родилась, нет никаких признаков того, что она когда-нибудь оплошает».



Как я отмечал ранее в этой главе, одним из центральных понятий в теории относительности является мировая линия, которая представляет собой полную историю частицы в пространстве-времени. Мировая линия назначает частице определенное положение в каждый момент времени. Однако это классическая доквантовая концепция, и сегодня для описания положения и импульса частицы физики используют вероятностные идеи квантовой механики, как только они достигают атомного масштаба материи. Квантовая теория – это дискретная теория, в которой значения физических сущностей изменяются ступенчато («квантовые скачки»), тогда как в классических теориях значения физических сущностей являются непрерывными. Разница между этими двумя типами теорий похожа на разницу между песком и водой. Сочетание двух теорий – классически непрерывной общей теории относительности и дискретной квантовой механики – потенциально может сформировать *теорию квантовой гравитации*, которая сегодня является святым Граалем физиков, и до сих пор они имеют лишь смутное представление, как это сделать. Как пишет Кар в статье, в которой делается попытка выделить существенные свойства, которыми должна обладать теория квантовой гравитации (например, локальность), «оказалось трудным представить, даже в общих чертах, любую теорию, которая объединяет фундаментальные принципы общей теории относительности и квантовой теории поля...».

Одним из наиболее любопытных результатов слияния квантовой механики с общей теорией относительности может быть *квантовое время*. То есть в квантовой гравитации наименьший прирост времени, который имеет физический смысл, – иногда его называют *хронон* – термин, впервые использованный в рассказе «Идеал» Стэнли Вейнбаума о путешествии во времени, – может иметь ненулевое значение. Как мы увидим позже, большая часть нынешних возражений по поводу осуществимости машины времени зависит от того, что называется *ограничением квантовой гравитации*. Это ограничение разрушительных пространственно-временных напряжений, которые стремятся к бесконечности всякий раз, когда пытается сработать машина времени. Этот процесс упоминается под общим названием *обратной реакции* и концептуально похож на растягивание резиновой полосы, которая становится все более тугой по мере ее растяжения и тем самым противостоит еще большему растяжению (и, конечно, если растягивать слишком сильно, она рвется).

Предполагается, что так называемое ограничение этих напряжений происходит при некотором конечном значении, когда заключительная фаза роста должна произойти менее чем за минимально возможный интервал времени. Ограничение срабатывает, потому что на самом деле ничто не может произойти быстрее, чем за минимальное время. Дебаты застряли на вопросах о том, какова минимальная продолжительность, и о том, произойдет ли ограничение до того, как напряжения смогут достичь *конечных* значений, достаточно высоких, чтобы в любом случае разрушить предполагаемую машину времени. Конечно, это все еще очень умозрительно, и поиск

способа соединить общую теорию относительности и квантовую механику продолжается. Все это связано с путешествием во времени благодаря череде фантастических открытий, сделанных за последние девяносто лет в релятивистской физике.

Общая теория относительности предсказывает, что достаточно массивная звезда, – более чем в четыре раза превышающая массу Солнца, – когда ее топливо почти истощится и ядерная топка начнет угасать, претерпит впечатляющую смерть, называемую полным гравитационным коллапсом. Когда ее ослабевшее из-за выгорающего топлива радиационное давление больше не сможет сдерживать коллапсирующие силы собственной гравитации, звезда взорвется и схлопнется в так называемую черную дыру, термин, впервые озвученный в 1967 году принстонским физиком Джоном Уилером в обращении к Американской ассоциации развития науки. Черная дыра – это компактный объект с гравитационным полем, настолько сильным, что даже свет не может его покинуть, оттого она и «черная», центром которого является сингулярность в пространстве-времени. *Сингулярность* – это место, где, как полагают физики, пространство-время либо ведет себя ужасно странно, либо вообще не существует. Катастрофические представления о коллапсе материи на самом деле довольно стары. Например, в труде Лукреция «Природа Вселенной», датированном первым веком до нашей эры, мы находим следующие «восхитительно ужасные» образы того, на что было бы похоже, если бы сама материя «разверзлась»: «Земля упадет из-под наших ног, ее частицы смешаются с небесами. Весь мир исчезнет в пропасти, и в мгновение ока не останется ничего, кроме пустого пространства и невидимых атомов. В каком бы месте вы ни допустили крушение материи, это станет воротами к гибели». Эти слова на самом деле были вызваны больше землетрясениями, чем черными дырами, но они одинаково хорошо подходят к обоим явлениям.

Как писал физик-теоретик Пол Дэвис, «как только гравитация выходит из-под контроля, пространство-время проваливается в сингулярность», или, цитируя Стивена Хокинга, «сингулярность – это место, где классические понятия пространства и времени перестают действовать, как и все известные законы физики». Лучше всего, я думаю, анонимное замечание, что сингулярность – это место «где Бог делит на ноль». Одно из представлений о сингулярности состоит в том, что это место в пространстве-времени, которое имеет бесконечную плотность и бесконечно сильное гравитационное поле. Этот тип сингулярности физики считают центром невращающихся черных дыр. Однако исторически возникновение бесконечностей в физических теориях было признаком того, что теории просто были слишком обобщены.

Вероятно, наличие бесконечности означает, что сингулярности встречаются только в нереалистичных, идеалистических приложениях теории; возможно, это только *идеально* сферические коллапсирующие звезды, которые могут превратиться в сингулярности черных дыр. Российские астрофизики И. М. Халатников и Э. М. Лифшиц в 1960-х пытались обосновать именно эту

точку зрения, но были вынуждены отказаться от нее, когда Стивен Хокинг и Роджер Пенроуз в 1970 году показали, что сингулярности в общей теории относительности попросту неизбежны. Этот результат волновал многих. Даже единственный помощник Эйнштейна, Питер Бергман, однажды заявил, что «теория, которая включает в себя сингулярности и неизбежно применяет их, несет в себе семена своего собственного разрушения». В случае реалистичной, сокрушительной сингулярности, возможно, все это означает, что как только коллапсирующая звезда схлопнулась в объект, даже меньший, чем электрон, общая теория относительности Эйнштейна перестает действовать и терпит неудачу. Это было бы похоже на поведение теории Ньютона, которая терпит неудачу на скоростях, сопоставимых со скоростью света. Сам Эйнштейн имел совершенно ясное мнение по этому вопросу. В своей книге «Значение относительности» он писал про использование относительности для изучения происхождения Вселенной из Большого взрыва: «Для больших плотностей поля и вещества, уравнения поля [общей теории относительности] и даже переменные поля, которые входят в них, не будут иметь реального значения. Поэтому не следует полагать, что уравнения справедливы для очень высокой плотности поля и вещества, и нельзя заключать, что «начало расширения» должно означать сингулярность в математическом смысле».

Другой способ охарактеризовать сингулярность – сказать, что именно там заканчиваются мировые линии. Эта характеристика, конечно, включает гравитационную сингулярность, которую мы только что обсуждали, но есть еще одна вариация, которая не подразумевает бесконечную кривизну пространства-времени, – пространство-время, содержащее такие особенности, называется *геодезически неполным*. Как мы увидим в следующем разделе, различие между двумя типами сингулярностей, гравитационной и неполной, имеет большое значение при анализе машины времени. Оба типа сингулярностей, конечно, сигнализируют о том, что происходит что-то необычное, возможно, даже провал общей теории относительности. Однако если физики держатся подальше от сингулярности во время своих математических дискуссий, тогда выводы общей теории относительности, безусловно, верны.

Так *что* же предсказывает теория? Некоторые из удивительных ответов на этот вопрос были получены в результате серии теоретических исследований, проведенных американским физиком Дж. Робертом Оппенгеймером и его учениками в конце 1930-х годов, – ответов настолько удивительных, что *на самом деле* все считали их математической абстракцией, не имеющей физического воплощения. Сам Эйнштейн разделял эту точку зрения, и в ныне почти забытой статье 1939 года он заявил, что сингулярности «не существуют в физической реальности ... по той причине, что материя не может быть сжата в произвольной степени». Для начала, общая теория относительности говорит, что вокруг сингулярности черной дыры на расстоянии, прямо пропорциональном массе сжатого объекта, должно происходить формирование так называемого горизонта событий пространства-време-

ни. *Горизонт событий* – это поверхность в пространстве-времени, через которую все может упасть в дыру, но через которую ничто, даже фотоны света, не может вырваться наружу. Поэтому сингулярность в центре черной дыры не видна (то есть не «обнажена») внешнему наблюдателю. Говорят, что сингулярность «одета» горизонтом событий, и для наблюдателя за пределами горизонта любой черной дыры единственными наблюдаемыми свойствами дыры являются ее масса (посредством гравитационных эффектов), ее угловой момент (скорость вращения) и ее электрический заряд.

На самом деле существует несколько принципиально разных типов черных дыр. Если коллапсирующая звезда образует невращающийся сферически симметричный незаряженный объект, то результат называется *черной дырой Шварцшильда* по имени немецкого астронома Карла Шварцшильда, который нашел первые точные решения общих уравнений относительности Эйнштейна спустя несколько месяцев после того, как Эйнштейн опубликовал их. (Даже Эйнштейн еще не нашел решение, и он, очевидно, думал, что уравнения слишком сложны, чтобы их можно было решить. Когда Эйнштейн увидел результат Шварцшильда, он написал: «Я не ожидал, что может быть сформулировано точное решение проблемы. Ваша аналитическая трактовка проблемы мне кажется великолепной».) Радиус горизонта событий пространства-времени в данном случае называют *радиусом Шварцшильда*. Вскоре после этого финн Гуннар Нордстрем и немец Генрих Рейсснер независимо нашли решение для невращающейся *заряженной* черной дыры (где заряд относится либо к электрическому, либо к магнитному заряду, хотя магнитные монополи – магнитные аналоги положительного и отрицательного электрического заряда – пока не обнаружены).

Более интересными, однако, являются теоретически возможные свойства путешествия во времени *вращающихся* черных дыр. Эти дыры *Керра–Ньюмена* названы в честь новозеландского математика Роя Керра, который впервые (1963 г.) решил уравнения гравитационного поля общей теории относительности для области пространства-времени, выходящей за горизонт вращающейся незаряженной дыры, и Эзры Ньюмена, физика из Питсбургского университета, который два года спустя расширил решение Керра до вращающихся *заряженных* черных дыр. Решение Керра–Ньюмена интригует, потому что оно подразумевает, что внутренности таких вращающихся черных дыр являются порталами в другие области пространства-времени, которые иначе недоступны для нашей Вселенной. В этих дырах центральной сингулярностью является *кольцо* – геометрическая форма с отверстием в ней, через которое материя может проходить без разрушения. Кроме того, некоторые из этих областей могут быть прошлыми (или будущими) версиями «нашей» Вселенной. То есть внутренности такой черной дыры могут содержать кольцевые порталы, которые являются «дверями в машину времени».

Конечно, все это очень умозрительно, и выдающийся физик Джон Уилер со своей стороны не убежден, что вообще существует какой-либо смысл в понятии путешествия во времени внутри черной дыры. Как он рассказывал

в душещипательной истории: «Однажды мне позвонил знаменитый адвокат из Вашингтона. Он сказал: “Мы с женой потеряли нашего единственного ребенка, нашего двенадцатилетнего сына. Без него наша жизнь потеряла смысл. Мы готовы пойти на любой риск, заплатить любую цену, сделать все возможное, чтобы оказаться в прошлом вместе с ним. Мы слышали, что черные дыры существуют и что время движется назад в окрестности черной дыры. Это правда?” Мне пришлось ответить: “Очень жаль, но нет”».

Возражение Уилера в отношении возможностей черной дыры основано на квантовых флуктуациях гравитационных полей, которые связаны с неопределенностью, присущей нашим знаниям о свойствах физических объектов (не говоря уже про огромные инженерные проблемы, возникающие в связи с просьбой адвоката). Такие флуктуации, исчезающе малые в системах привычного нам размера, резко возрастают на очень крошечных расстояниях, примерно на двадцать порядков меньше, чем ядро атома. В микроскопической области пространства-времени, в которую сжимается материя, образующая черную дыру, эти флуктуации могут привести к эффектам, препятствующим формированию сингулярности на конечной стадии. На сегодняшний день найдены убедительные астрономические доказательства существования черных дыр, но вопрос существования сингулярностей все еще остается открытым, и, возможно, таких вещей на самом деле не существует.

Когда ученые завершат разработку теории квантовой гравитации, мы, вероятно, узнаем, действительно ли черные дыры являются потенциальными машинами времени – хотя, по крайней мере, один физик, Миснер, уже давно утверждал, что теория квантовой гравитации *не* отменяет понятие сингулярности. Другой физик, Соленг, с пессимизмом относится к использованию сингулярностей для путешествий во времени, даже если они существуют. Он начинает со слов «теория Эйнштейна ... неоднократно сталкивается с проблемами сингулярности. Эти проблемы, однако, могут быть отвергнуты на основании того, что экстремальные условия очень ранней Вселенной или внутри черных дыр лежат за пределами применимости теории. В этих случаях будут доминировать квантовые эффекты». Но он по-прежнему негативно относится к попыткам «замести под коврик» проблемы путешествий во времени: «Проблемы причинности модели Гёделя ... нельзя избежать путем обращения к квантовым эффектам. Скорее, они указывают на серьезный недостаток в нашем понимании пространства-времени. Можем ли мы принять теорию, которая допускает такие парадоксальные решения, или следует как-то исключить существование причудливых замкнутых кривых времени?»

Еще один физик, Брэндон Картер, также скептически относился к путешествиям во времени внутри черной дыры. Он пришел к выводу, обсуждая решение проблемы черной дыры Керра: «Когда заряд или момент импульса достаточно велик, оказывается, что нарушение причинности является наиболее приемлемым способом связать любое событие с другим

событием на уходящей в будущее линии времени». То есть путешествие во времени назад допустимо, даже если путешественник всегда движется со скоростью, меньшей скорости света, в свое локальное будущее. Картеру совершенно не понравился этот вывод; он объявил такой результат «патологическим» и назвал понятие времениподобного пути «порочным». Точнее, пространство-время, такое как у Гёделя, в котором в каждой точке существует замкнутый времениподобный путь, Картер называет *абсолютно порочным*. Картер был чрезвычайно обеспокоен возможностью путешествия во времени и полагал, что «нарушение общей теории относительности может быть настолько серьезным, что, возможно, придется отказаться от всей теории». Несколько лет спустя Симпсон и Пенроуз согласились с ним, написав, что «наличие замкнутых времениподобных кривых вблизи кольцевой сингулярности черной дыры Керра, похоже, противоречит любой тесной связи с физической реальностью». Однако вот вам очень занятный факт – теорема Хокинга и Роджера Пенроуза 1970 года гласит, что сингулярности *должны* возникать, если сделаны определенные предположения, одним из которых является то, что обратное путешествие во времени невозможно. Сингулярности, эти сущности, которые так пугали Картера и Соленга именно потому, что они, кажется, *позволяют* путешествовать во времени, были объявлены неизбежными, если допустить, что путешествие во времени *не* может произойти!

Что мы должны думать об этой путанице в возражениях? Еще до появления общей теории относительности Питкин написал жесткую критику концепции уэллсовского путешествия во времени, и все же он начал свой анализ с предостережения, о котором полезно помнить и сегодня: «Может ли быть так, что прыжок в пятидесятый век нашей эры кажется нам невозможным просто из-за приверженности предрассудкам, которые делают нашу жизнь проще, или по причине безнадежного пренебрежения важными фактами? Конечно, это не глупый вопрос. Его ответ, каким бы он ни был, имеет неизмеримые последствия для метафизики». Предположение о глобальной причинности было подвергнуто сомнению в теореме Хокинга и Пенроуза – фактически предполагалось, что сингулярности и путешествия во времени в прошлое могут сосуществовать. Вскоре после них Цветич с коллегами нашли не зависящие от сингулярностей решения гравитационных уравнений, которые все еще позволяют путешествовать во времени в прошлое. По их словам, они нашли «причинно нетривиальные точные решения уравнений Эйнштейна без сингулярностей пространства-времени... в которых можно рассмотреть физику замкнутых времениподобных кривых». То есть они обнаружили, что существуют решения для уравнений поля, позволяющие путешествовать во времени «без трудностей, которые сингулярность искривленного пространства представляет для черных дыр». Тем не менее путешествие во времени в прошлое настолько странно, что многие физики долго пытались доказать, что это невозможно.

В одной из ранних попыток обнаружить физическую причину запрета существования машин времени, требующих вращения для своей работы, Чарльтон, который ссылается на «неприятную природу машин времени», предполагает, что подобные машины при вращении будут излучать настолько много энергии, что возникнет угловой момент, препятствующий разгону до скорости, необходимой для генерации замкнутых времениподобных линий в пространстве-времени. С тех пор, как появились первые предположения, поиск физических механизмов, препятствующих созданию *любой* машины времени, вращающейся или нет, стал еще более изощренным и абстрактным. Некоторые физики были до глубины души потрясены потенциальными парадоксами, к которым ведет существование машины времени, и утверждали, что такие ограничительные механизмы просто *должны* существовать. Эту точку зрения иллюстрирует Виссер, который, испытывая досаду по поводу неспособности найти такие механизмы, просто заявляет, что «это [гипотезу Хокинга о защите хронологии] следует принимать за аксиому, а не пытаться доказать расчетным путем».

Впоследствии, однако, другие физики пришли к выводу об опасности делать выводы из того, что может *казаться* парадоксальным. Например, после доказательства теоремы, которая начинается с выдвижения гипотезы об образовании обнаженной сингулярности посредством гравитационного коллапса, Кларке и де Феличе показали, что конечным результатом может быть нарушение хронологии во всем пространстве-времени и, таким образом, что «это означает, что наблюдатель мог получать информацию из своего будущего». Потрясенные, но не сломленные, эти два физика закончили свою работу смелыми словами: «Если подходящей альтернативы не найдется, вероятно, нам придется столкнуться с трудной, но увлекательной задачей принятия этих крайних последствий общей теории относительности как реальной возможности, существующей в природе». И в качестве второго примера стойкого научного самообладания, после краткого описания того, насколько сильно общая теория относительности накладывает ограничения на геометрию пространства-времени, Юртсевер отмечает, что «теория не предлагает и не гарантирует отказ от целого класса пространства-времени как “нефизического”, независимо от того, насколько странными и нелогичными могут быть его свойства. Точки зрения, которые приводят к таким выборочным, основанным на предубеждении утверждениям о недопустимости некоторых пространственно-временных явлений, могут быть вводящими в заблуждение и контрпродуктивными». Юртсевер напоминает своим читателям, что еще относительно недавно физики отвергали понятие горизонта событий черных дыр как «нефизическое», однако дальнейшие исследования убедительно доказали, что это явление существует.

Согласен с рассуждениями Юртсевера и другой физик, Политцер, который написал: «Хотя явления, основанные на существовании машины времени, могут оскорблять наши чувства, вряд ли стоит отвергать их существование только по этой причине». Точно так же предсказания общей теории

гравитационного излучения – буквально пульсации в пространстве-времени – когда-то воспринимались с большим скептицизмом. Однако сегодня большинство теоретиков считают, что такое излучение существует и что обнаружение колебаний из астрономических источников – это просто вопрос времени и усовершенствованного инструментария. Тем не менее были и несогласные; в первую очередь это Виссер, который называл возможность существования машин времени «чрезвычайно тревожной» и «несчастной случайностью» и открывает свой анализ философской позицией, заявляя: «Если эти исключительные условия приняты, то борьба с путешествиями во времени уже проиграна, пространство-время ущербно, и *его следует исключить из рассмотрения* [мой курсив]». Вместо горизонта событий и гравитационных волн, которые перестали считать «сумасшедшими идеями», скептики принялись за пространство-время и причинность. Возможно, предупреждает Юртсевер, современным физикам полезно вспоминать о поспешных суждениях прошлых лет.

## 1.9. Машина времени Типлера

В 1974 году молодой аспирант по физике в Университете Мэриленда Фрэнк Типлер вызвал небольшой переполох, когда опубликовал то, что казалось довольно точным описанием конструкции машины времени. Действительно, последнее предложение в его статье звучит предельно ясно: «В целом общая теория относительности предполагает, что если мы создадим достаточно большой вращающийся цилиндр, мы создадим машину времени». Никто никогда прежде не делал такого заявления в уважаемом физическом журнале, и, что лучше всего, не было никаких явных сингулярностей (как в случае с черными дырами). Тем не менее если внимательно посмотреть на идею Типлера, можно увидеть кое-какие проблемы.

То, что на самом деле сделал Типлер, – это показал, что если бы у кого-то был *бесконечно длинный, очень плотный* цилиндр, вращающийся с скоростью поверхности, равной, по крайней мере, половине скорости света (скорость вращения такова, что центробежные силы уравновешены гравитационным притяжением), то это позволило бы сформировать замкнутые времениподобные линии, связывающие события в пространстве-времени. Это означает, что, перемещаясь по поверхности такого фантастического цилиндра, можно путешествовать во времени в прошлое, но не раньше времени создания цилиндра.

Этот момент очень важен, поскольку позволяет избежать одного особенно странного парадокса, называемого *парадоксом самопричинности*, или *бутстрэпом* (bootstrap): это путешественник, направляющийся обратно во времени, чтобы рассказать изобретателю машины времени (возможно, более ранней версии самого путешественника во времени), как построить машину времени. Вы можете найти эту идею в ранней научной фантастике, и один из ее вариантов был забавно проиллюстрирован в фильме 1985 года



«Стартрек-4: Дорога домой». (Когда вы будете в очередной раз пересматривать фильм, спросите себя, кто на самом деле изобрел «прозрачный алюминий»?) Парадоксы самопричинности весьма загадочны и до сих пор сбивают с толку физиков и философов.

*Цилиндр Типлера* также позволил бы путешественнику вернуться к своему исходному времени, то есть «назад в будущее». Раздел 6.2 содержит простой пример, основанный на аналогичной иллюстрации в диссертации Типлера, демонстрирующей работу цилиндра в качестве машины времени. На самом деле никто не оспаривает этого. Это правда. На бумаге.

Но Типлер *не* доказал, что это свойство путешествия во времени справедливо для цилиндров пусть очень большой, но конечной длины, которые мы можем построить из конечного количества вещества; он просто предположил, что это может быть так. Это предположение кажется разумным, потому что если путешественник во времени движется по орбите в средней точке цилиндра, вблизи поверхности, то гравитационные концевые эффекты достаточно удаленных концов цилиндра могут быть незначительными. Подобные математические приближения обычно делаются, например, при расчете электрических эффектов заряженных цилиндров конечной длины. Но, как предупреждает Торн, «экстраполяция из цилиндрической симметрии в реальность очень опасна, поскольку пространство-время не является даже асимптотически плоским [см. пояснение в разделе 3.10] вокруг бесконечного цилиндра». Вопрос о том, может ли вращающийся цилиндр конечной длины создавать замкнутые времениподобные линии, все еще остается открытым. Как говорил Боннер, «в некоторых отношениях бесконечный цилиндр может быть моделью для длинного конечного цилиндра, и нельзя исключать возможность того, что машина времени может быть основана на длинной, но конечной вращающейся системе». Например, у Гриббина мы находим оценку, что отношение длины цилиндра к радиусу 10:1 может быть достаточным для того, чтобы цилиндр Типлера считался «бесконечным».

Есть, однако, еще одна потенциальная проблема, кроме длины цилиндра. Существует большая вероятность того, что строящийся цилиндр Типлера разрушится под действием собственного внутреннего гравитационного давления, прежде чем его можно будет сделать достаточно длинным, чтобы он считался хотя бы «приблизительно бесконечным». То есть такой цилиндр конечной длины мог бы на самом деле раздавить себя вдоль своей длинной оси в блиноподобную лепешку, что-то вроде того, что произошло бы с длинным цилиндром желе, поставленным на торец. Обычная банка желированного клюквенного соуса также иногда демонстрирует это любопытное поведение.

Еще одна проблема заключается в необходимой скорости вращения. Мы не говорим о цилиндрах с диаметром как у карандаша или даже как у большой водопроводной трубы. Напомним, что при заданной скорости поверхности чем больше диаметр, тем меньше центробежное ускорение на

поверхности. Нетрудно подсчитать, что даже огромный цилиндр с радиусом 10 километров – и, по оценке Гриббина, длиной не менее 100 километров – имел бы при скорости поверхности, равной половине скорости света, поверхностное ускорение в двести миллиардов раз больше ускорения земной гравитации. Ни одна известная форма обычной материи не может вращаться так быстро и не разрушиться со взрывом. Но тогда цилиндры Типлера нельзя назвать обычными ни в каком смысле этого слова. Типлер подсчитал, что необходимая плотность для цилиндра машины времени будет на 40–80 порядков выше плотности ядерной материи. Сделанный из такого сверхплотного материала конечный цилиндр был бы таким же массивным, как Солнце, но во много триллионов раз меньше. Не испытывая недостатка в воображении, Типлер сам предложил (1977) проект ускорения вращения существующей звезды в качестве альтернативы изготовлению цилиндра. Конечно, это был бы проект для общества будущего, с очень продвинутой технологией.

Научный пессимизм Типлера о путешествии во времени при помощи цилиндров сквозит в словах, которыми он открыл свою статью 1977 года: «Любая попытка изготовить машину времени из нормальной материи приведет к образованию сингулярности пространства-времени. Таким образом, если под словом “изготовление” мы подразумеваем “конструировать, используя *только* обычные материалы”, то теоремы этой статьи убедительно продемонстрируют, что машина времени не может быть изготовлена». Гораздо менее пессимистичным был Ори, который сделал два метких наблюдения: во-первых, теоремы Типлера применяются только к сингулярностям неполного типа, а не к более убедительным сингулярностям изогнутого типа. Во-вторых, Ори делает еще более убедительное наблюдение – я тоже так думаю, поэтому процитирую его полностью.

*Стандартная интерпретация теорем Типлера заключается в том, что появление сингулярности в данной модели [пространства-времени] указывает на то, что эта модель нереальна и не может быть физически реализована. Даже инженеры будущего, вероятно, не смогут использовать «особую материю» для построения машины времени. Однако теория черных дыр дает очевидный контрпример к этой интерпретации. Ибо, применив эту интерпретацию к теоремам сингулярности черной дыры, можно заключить, что черные дыры никогда не могут образоваться. Эта аналогия указывает, что теоремы Типлера могут иметь совершенно иную интерпретацию, а именно что построение машины времени возможно, но нарушение причинности неизбежно приведет к образованию сингулярности. Эта возможная интерпретация предполагает, что следует отказаться от модели машины времени из-за сингулярности только в том случае, если эта сингулярность появляется достаточно рано [в процессе «создания» машины времени], чтобы причинно помешать возникновению нарушения причинности.*

Еще меньше озабочены сингулярностями Хедрик и Готт, которые написали: «Может показаться, что успешная попытка изготовить машину времени в конечной области пространства будет сопровождаться созданием сингулярности... Это, однако, не означает, что невозможно создать машину времени при наличии достаточно продвинутой технологии. *Нет никаких оснований полагать, что сингулярности пространства-времени в принципе не могут быть созданы преднамеренными действиями человека* [мой курсив – П. Н.]». Эти взгляды, конечно, были приятной новостью для писателей-фантастов, которые использовали цилиндры Типлера почти с тех пор, как Типлер впервые написал о них.

Например, писатель-фантаст Пол Андерсон использовал цилиндры Типлера (он назвал их «Т-машинами») в своем романе 1978 года «Аватар». Он описывает такие цилиндры, разбросанные по вселенной древними бескорыстными инопланетянами, так называемыми «Другими». Эти цилиндры может использовать любой желающий, у кого хватит ума расшифровать инструкцию. Андерсон знал про очевидные проблемы с цилиндрами Типлера, поэтому один из его персонажей сказал о Т-машинах: «Я не сомневаюсь, что это продукт цивилизации, которая опережает нашу так же, как мы опережаем каменный век». Действительно, в своей статье 1977 года Типлер писал, что из чего бы ни делались эти цилиндры, это можно было бы назвать только «неизвестным материалом». Потребность в суперматерии, кажется, является особенностью машин времени в целом – как поясняется, например, в разделе 6.3 про машину времени на основе червоточины, которая требует того, что физики называют «экзотическими» условиями. Так что, увы, цилиндры Типлера не станут, по крайней мере в обозримом будущем, действующими машинами времени – но даже «великому отрицателю машин времени» Ларри Нивену настолько понравилась эта идея, что он вынес ее в заголовок короткой работы про путешествия во времени «Вращающиеся цилиндры и возможность глобального нарушения причинности». Значение результатов Типлера и Гёделя состоит в том, что они дают хотя бы небольшую надежду на физическую возможность путешествия во времени в прошлое. Тот факт, что придуманные ими конкретные механизмы достижения цели невозможны в инженерном смысле, не имеет значения. Другие, еще не придуманные методы, которые Форвард называет «магией будущего», могут когда-нибудь стать технически осуществимыми.

Тем не менее остается серьезное возражение против путешествий во времени, которое беспокоило Эйнштейна в решении Гёделя, и именно его труднее всего отвергнуть. Это проблема нарушения причинности, которой посвящена отдельная глава. Но сначала нам нужно поближе взглянуть на само время – это «вещь», понятие или ...? И вообще, как мы собираемся путешествовать – «через» время, «сквозь» время, «вдоль» времени или как-то еще?

## 1.10. Вопросы для самостоятельных размышлений

Наблюдения за фоновым микроволновым излучением, которое пронизывает Вселенную, являются веским экспериментальным доказательством Большого взрыва – сингулярности, которая считается источником Вселенной. Эта сингулярность не защищена от нас горизонтом событий, и поэтому она не является голой сингулярностью, что означает, что она потенциально видима. Однако в 1969 году английский теоретик Роджер Пенроуз предложил метафизический «закон», названный принципом космической цензуры, который утверждает, что голые сингулярности невозможны. Что вы думаете об очевидном противоречии между принципом Пенроуза и сингулярностью Большого взрыва?

В тексте я упоминаю «парадокс прозрачного алюминия», который появляется в фильме 1985 года «Стартрек-4». А еще раньше бутстрэп-парадокс появился в фильме 1980 года «Последний отсчет». Там проектировщик современного военного корабля, временно вернувшийся в Перл-Харбор 6 декабря 1941 года, оказывается членом экипажа, который был (и есть) случайно оставлен в прошлом, когда корабль возвращается в настоящее. В прошлом он сможет спроектировать корабль, потому что он уже знает, как он был спроектирован – им самим! В знаменитом фильме «Интерстеллар» обнаружена червоточина вблизи Сатурна. К концу фильма мы узнаем, что она была помещена туда людьми будущего, людьми, которые существуют, потому что их предки (мы!) были спасены от общепланетной экологической катастрофы, когда они использовали червоточину для открытия новых миров в отдаленных регионах Вселенной. Решите, является ли существование червотчины парадоксом самопричинности, и обоснуйте свою позицию.

Одна из трудностей в использовании черной дыры как средства перемещения из одной области Вселенной в другую (с путешествием во времени как частный случай) заключается в том, чтобы просто добраться до черной дыры. Ближайшая к Земле, насколько известно, находится на расстоянии многих световых лет. Одна из причин этого может быть антропной. То есть планета, находящаяся вблизи вращающейся черной дыры, в конечном счете либо будет поглощена целиком, либо ее поверхность будет взорвана огненным штормом излучения, вызванного падающей материей.

(Окончание далее)

В любом случае ни одна разумная жизнь, способная изобрести путешествия во времени, никогда не будет развиваться на такой планете. То есть мы здесь задаемся вопросом своего отсутствия вблизи черных дыр именно благодаря тому, что мы не находимся вблизи черной дыры. Отсутствие черных дыр вблизи Земли рассматривается в романе Джо Халдемана (Joe Haldeman) «Земля против пришельцев» (из цикла «Бесконечная война»), где используется эффект замедления времени специальной теории относительности, что позволяет преодолевать большие расстояния за разумное время (измеряемое часами на ракетных кораблях, движущихся со скоростью, близкой к скорости света). Но вместе с тем как время полета до черной дыры, удаленной от Земли на много световых лет, может составлять всего 6 месяцев корабельного времени, на Земле может пройти много лет. Оказавшись в черной дыре, корабль входит в нее и мгновенно «прыгает» в совершенно другую область Вселенной. В романе не происходит никакого путешествия во времени после замедления времени, испытываемого только при приближении к черной дыре, но Халдеман эффектно использует это следующим образом. Прежде чем вступить в бой, солдатам Земли говорят, что когда они выйдут из дыры в новую область Вселенной, то могут столкнуться с инопланетными военными кораблями, оснащенными новейшей технологией, которая может быть намного впереди технологии земного военного корабля, датируемой прошлым Земли. То есть люди будут сражаться против технологии, которая относится к будущему военных кораблей Земли. Если процитировать роман, «относительность заманивает нас в ловушку в прошлом врага; относительность приносит их из нашего будущего». Попробуйте объяснить это.

В одном из четверостиший-рубаи персидский поэт-философ XI века Омар Хайям написал: «Ни силой, ни мольбой не взять слова назад, не отменить написанные буквы». Почти 1000 лет спустя немецкий физик-теоретик Герман Вейль (Hermann Weyl, 1885–1955), коллега Эйнштейна и Гёделя по Институту перспективных исследований в Принстоне, Нью-Джерси, написал следующее в своей книге «Пространство. Время. Материя» (опубликованной в 1921 году, за три десятилетия до публикации Гёделем в 1949 году статьи о путешествиях во времени): «Сейчас возможно переживать события, которые отчасти будут следствием моих возможных будущих решений и действий».

*(Окончание далее)*

Более того, не исключено, что мировая линия (в частности, линия моего тела), хотя и имеет в каждой точке направление, подобное времени, вернется в окрестности точки, через которую она уже однажды прошла. В результате получился бы призрачный образ мира, более страшный, чем все, что когда-либо вызывала странная фантазия Э. Т. А. Гофмана [эксцентричного немецкого писателя начала XIX века]. На самом деле очень значительные флуктуации [компонентов метрического тензора, которые будут обсуждаться в главе 3] – то, что было бы необходимо для получения этого эффекта, не происходят в той области мира, в которой мы живем... Хотя парадоксы такого рода и возникают, мы нигде не находим реальных противоречий фактам, непосредственно представленным нам в опыте. Сравните эти две точки зрения и, в частности, обсудите, что каждая из них говорит об идее «оживления прошлого».

Во вступлении к этой книге я упоминаю о том, как время от времени научная фантастика предвосхищала физику. Один интересный пример этого можно найти в рассказе путешественника во времени, который почти встретился с самим собой, – рассказе, опубликованном за два года до публикации в 1949 году статьи Гёделя о путешествиях во времени, в которой он предполагает именно такую возможность. История начинается с того, что человек на корабле замечает сигнальный огонь потерпевшего кораблекрушение на тихоокеанском острове, а также крошечную, отдаленную фигуру человека, размахивающего руками и прыгающего вокруг. Пока корабль плывет на помощь, он попадает на мину, оставшуюся от войны, и потенциальный спасатель тоже становится потерпевшим кораблекрушение. Доплыв до острова, он не может найти никаких следов того, кто развел костер, хотя повсюду на песке видны следы ног. Исследуя остров, он находит остатки разбившегося межзвездного космического корабля (!), приводимого в действие установкой, основанной на «темпоральной прецессии». Любопытный человек включает двигатель и таким образом отсылает себя назад во времени на один день. Затем он замечает на горизонте корабль, разводит костер, машет руками и прыгает, а потом узнает в нем свой собственный корабль... И вот петля почти, но не совсем замыкается. Человек, очевидно, убегает в джунгли, охваченный ужасом при мысли о встрече с самим собой. Поразмышляйте о том, что произошло с этим человеком.

Один философ возражал против гипотезы Хокинга о защите хронологии следующим образом: «Есть старый аргумент в пользу того, что хотя обратное путешествие во времени возможно, оно никогда не произойдет, потому что если бы оно должно было произойти, мы бы уже столкнулись с путешественниками во времени, оказавшимися в нашей реальности, тогда как на самом деле мы ничего подобного не наблюдаем... Но представьте себе изолированное общество, живущее на отдаленном острове в океане. Некоторые члены этого общества ведут длительные дебаты о возможности бегства с острова. Если бы «Боинг-747» пролетел над их головами, то обязательно ли спорщики узнали бы, что в нем летят люди? Ответ на этот вопрос мог бы годами стоять у них перед глазами, но им не дано этого понять». Как бы вы ответили на аргумент философа? Как вы думаете, правдоподобно ли, что мы могли бы прямо сейчас наблюдать (не осознавая этого) присутствие путешественников во времени среди нас? К каким мыслям может привести подобное подозрение?

Как я упоминал, Типлер выразил некоторый пессимизм насчет возможности построения действующей машины времени из вращающегося цилиндра. Но это не значит, что у него не было никаких сомнений относительно теоретических «доказательств» невозможности чего-то. Например, в свою докторскую диссертацию 1976 года он включил забавную ссылку на печально известного математика Саймона Ньюкомба, опубликовавшего математические «доказательства» того, что при известной науке невозможно построить «практически осуществимую машину, с помощью которой люди будут летать на большие расстояния по воздуху». Как вы думаете, почему Типлер это сделал?

В своей автобиографии физик из Принстона Джон Уилер так сказал о времени: «Плавное течение времени – или наше плавное прохождение сквозь него – это иллюзия, которая разрушается, когда мы... спросим о времени в момент Большого взрыва, в момент гравитационного коллапса, в момент Большого сжатия. Студенты и другие люди часто спрашивают, – что существовало до Большого взрыва. Сказать, что мы не знаем, значит сказать недостаточно. Даже сказать, что у нас нет способа узнать, недостаточно.

*(Окончание далее)*

На самом деле мы должны сказать, что пространство и время возникли вместе с материей, энергией и законами физики в момент Большого взрыва. Если Вселенная расширится до максимального размера, начнет сжиматься и в конце концов исчезнет в ослепительной вспышке – судьба, которая кажется вероятной мне и некоторым другим теоретикам... тогда время и пространство тоже исчезнут в этом коллапсе. Я не могу прийти ни к какому другому выводу, кроме этого: не было никакого «до» до Большого взрыва и не будет «после» после Большого сжатия». То есть когда произошла сингулярность Большого взрыва, было создано время, и если в далеком будущем Вселенная схлопнется в большом сжатии, время будет уничтожено. Этот взгляд на будущее «ничто» даже мрачнее ожидания могилы. Разделяя мрачный взгляд Уилера на конечную судьбу реальности, но вместо этого отдавая победу времени (а не его уничтожению), ирландский писатель Джонатан Свифт (1667–1745) в своей поэме «Riddles» (около 1724 года) писал: «Вечно ем, никогда не пресыщаюсь, все пожираю, все разрушаю, никогда не завершаю трапезу, пока не съем наконец весь мир». Как, по-вашему, теологи отнеслись бы к Уилеру и Свифту?

Американский философ Рой Соренсон рассуждал о способах убедить скептиков в том, что он действительно путешествовал во времени (за исключением того, чтобы принести свежее яйцо динозавра и вывести из него детеныша). В ранней научной фантастике предлагался следующий способ: путешественник во времени берет запечатанную коробку с чистым радием (с его именем, написанным на внутренней стороне крышки) в далекое прошлое и закапывает ее в надежном месте. Вернувшись в настоящее, он выкапывает шкатулку; проверка содержимого покажет, что часть радия радиоактивно распалась до свинца. Действительно, степень распада будет прямым показателем того, как далеко в прошлое была перенесена коробка. Позже этот вопрос был подробно рассмотрен английским философом Аласдером Ричмондом. В своей статье он представил себе два возможных способа, которыми путешествующий во времени ученый-шекспировед мог бы попытаться убедить скептически настроенных коллег, что он обнаружил черновик «Гамлета», датированный 1589 годом (за 10 лет до самой ранней принятой даты его сочинения Шекспиром). Первая попытка состоит в том, чтобы просто принести этот документ непосредственно с собой в машину времени, с 1589 года до настоящего момента.

*(Окончание далее)*



Тогда, конечно, многие из внутренних ключей к подлинности черновика, такие как химический состав чернил, переплетение бумаги и орфография (стиль письма в 1589 году), будут соответствовать утверждению путешественника во времени, но другие ключи не будут – возраст бумаги и чернил, например, будет рассматриваться как свидетельство, фатальное для утверждения, поскольку им не будет почти что 430 лет. На самом деле они казались бы практически новыми! Поэтому доказательство будет отклонено как просто искусная подделка. Вторая попытка попытается обойти эту проблему следующим образом. Обнаружив черновик в 1589 году, путешественник во времени не возвращает его в настоящее, а прячет в тайнике. Затем, вернувшись в настоящее, он приводит своих коллег в тайное убежище и эффектно «находит» черновик, которому сейчас почти 430 лет. Однако, к большому разочарованию путешественника во времени, его коллеги все еще отвергают его заявление о путешествии во времени, на этот раз говоря, что он, должно быть, просто нашел черновик «обычным» способом (под половицами на чьем-то чердаке, например) и просто делает вид, что приобрел его через путешествие во времени. Можете ли вы придумать способ, используя такую гамлетовскую задачку, чтобы путешественник во времени мог бы убедить своих скептически настроенных коллег?

В фильме 2014 года «Интерстеллар» космический зонд ныряет в черную дыру, получает данные из сингулярности дыры, измеряет некоторые неопределенные квантовые эффекты, а затем отправляет измерения обратно на Землю (через пятое измерение) в виде сигнала, похожего на судорожные подергивания секундной стрелки на чьих-то часах. Все это ведет (намекает) к теории квантовой гравитации. Если бы вы увидели, что секундная стрелка на ваших часах вдруг начала судорожно подергиваться, вы бы сразу же подумали:

- а) что сообщение азбукой Морзе пришло к вам через пятое измерение и содержит секреты квантовой гравитации?
- б) что вашим часам нужна новая батарейка?
- в) что-то еще?

Уверенно обоснуйте свой ответ.



## ГЛАВА 2

### *О природе времени, пространства-времени и четвертого измерения*



*Я не верю, что остались философские проблемы времени; существует только физическая проблема определения точной геометрии четырехмерного континуума, в котором мы живем.*

– Профессор Хилари Патнэм (1967)

*Что такое время? Я хорошо знаю, что это, при условии что никто не спрашивает меня; но если меня спросят, что это такое, то, попытавшись объяснить, я зайду в тупик.*

– Святой Августин, «Исповеди»

*Четвертое измерение – просто выдумка математиков. То ли это время, то ли что-то в этом роде. Короче, какой-то фантастический бред.*

– Мнение Лоры, героини рассказа «Мальчик, который вывернул себя» (Слейтер)

*Любители научной фантастики знают, что «время является четвертым измерением» и что теории Эйнштейна являются обнадеживающей, но пока нереализованной основой для всех чудесных возможностей, от машин времени до странных пространственно-временных дефектов в ткани Вселенной, которые дают возможность избранным пройти через разрывы в экзотический  $n$ -мерный мир. На самом деле теории Эйнштейна не предполагают ничего подобного.*

– Раздраженный комментарий двух физиков в их книге по теории относительности (Сирс и Бреме, 1968)

#### **2.1. Что же такое время?**

Древние мыслители воспринимали время как нечто необычное задолго до писателей-фантастов и ученых-физиков. Фактически мы можем проследить их интерес как минимум на пятнадцать веков назад, к святому Августину. Конечно, испанский иезуит семнадцатого века Хуан Евсевий Иеремберг

ощущал таинственный дух времени, когда он писал в своем трактате «Умеренность и терпение», что «Время – священная вещь, нисходящая с Небес... Это эманация из того места, где исходит вечность... Это идея, данная Небесами, чтобы вести нас... Время несет в себе отпечаток божественности».

Возвращаясь по времени в дохристианскую эпоху, мы находим столь же сильную реакцию мыслителей на тайну времени. Из «Платоновских вопросов» Плуларха мы узнаем, что, когда о природе времени спросили Пифагора, он просто произнес мистическое «время – душа этого мира». Законы Ману индуизма, Тора иудаизма, Коран ислама и все возглашенные истины Гаугамы Будды полны ссылок на время. Фактически именно языческим богам греческой мифологии мы обязаны нашим «современным» образом Хроноса, или Отца Времени.

Не только греки обожествляли время. В «Бхагавадгите» («Песнь о Господе»), главном религиозно-романтическом эпосе индуизма, который предшествовал Христу на протяжении пяти веков, один из персонажей раскрывает свою божественную природу и заявляет о своей силе так: «Знай, что Я есть время, повергающее в прах мира, когда придет пора». И в еще более древней египетской «Книге мертвых», которая насчитывает более трех тысяч лет, считалось, что недавно умерший буквально соединяется с самим временем. Слияние со временем и воскресение тела после смерти упоминаются в строке «Я есть Вчера, Сегодня и Завтра, и я волен родиться во второй раз».

В отличие от этих поэтических изречений, один анонимный остряк не стал напрягать свой мозг и решил, что лучшим ответом на вопрос «Что такое время?» будет высказывание «Время – это просто вереница чертовски скучных событий», а другой (возможно, один и тот же человек) сказал: «Время – это то, что мешает всему происходить одновременно».

Однако, пожалуй, самый прагматичный подход к значению времени был у английского эссеиста Чарльза Лэмба в письме, которое он написал в 1810 году: «Ничто не озадачивает меня больше, чем время и пространство, и в то же время ничто не озадачивает меня меньше, потому что я никогда не думаю о них».

Что же тогда мы можем сказать о времени сегодня? Несмотря на смелые слова в начале этой главы, принадлежащие выдающемуся гарвардскому профессору двадцатого века Хилари Патнэму, я подозреваю, что большинство людей скорее согласятся со второй цитатой, принадлежащей раннему христианскому богослову пятого века. Прошедшие полторы тысячи лет фактически мало помогли прояснить значение времени, и многие из нас, возможно, в глубине души склонны согласиться с Лорой из третьей цитаты.

Греческий философ Платон (около 400 г. до н. э.) предложил нам любопытный способ думать о времени как о замкнутой петле. Пока Платон считал, что время имеет начало, его концепция не предполагала времени, простирающегося в бесконечное будущее, как это делает современный, повседневный взгляд. Скорее, Платон представлял себе время как изгибающееся назад – как круговое по своей природе. Это было, по сути, разумным

размышлением о том, что Платон мог видеть повсюду в природе: кажущиеся бесконечными повторения времен года, регулярные отливы и приливы (обозначающее прилив древнеанглийское слово *tid* служило единицей времени), неизменные чередования ночи и дня и вращение видимых планет в небе. Все, что можно было бы наблюдать сегодня, как казалось очевидным Платону, произойдет снова в природе.

Стивен Хокинг в своей знаменитой книге «Краткая история времени» положительно отзывался об идее кругового времени с его замкнутой топологией. Позиция Хокинга заключается в том, что с замкнутым временем нет нужды в Боге, поскольку нет первого события, и поэтому нет необходимости в «первопричине». Конечно, тут же последовали энергичные опровержения философов, которые также не видят никаких доводов в пользу первопричины, предполагая, что благодаря путешествиям во времени Вселенная может быть причиной *сама себе*.

Писатели и философы сказали о времени много прекрасных слов, но они на самом деле не говорят нам, *что такое* время. Может быть, Эйнштейн сможет дать ответ? В *New York Times* от 3 декабря 1919 года опубликованы такие слова Эйнштейна: «До сих пор считалось, что время и пространство существуют сами по себе, даже если не было ничего – ни Солнца, ни Земли, ни звезд, – но сейчас мы знаем, что время и пространство не только не являются сосудом для Вселенной, но и не могут существовать без содержимого, а именно Солнца, Земли или других небесных тел». Менее чем через два года Эйнштейн вновь высказал эту точку зрения (*New York Times*, 4 апреля 1921 г.): «До сих пор понятия времени и пространства были такими, что если бы все во Вселенной исчезло, если бы ничего не осталось, все равно остались бы время и пространство». Эйнштейн последовательно отрицал этот взгляд на мироустройство, ведь согласно его общей теории относительности время и пространство перестали бы существовать, если бы вселенная была пуста. Это прямая отсылка к одному из любимых философов Эйнштейна, Спинозе, который заявил в своих «Принципах декартовой философии», что «не было времени или продолжительности до сотворения мира». В переписке с Сэмюэлем Кларком – другом Ньютона, который перевел «Оптику» Ньютона на латынь, – Лейбниц выразил сходную идею: «Моменты, взятые отдельно от вещей, – это вообще ничто... они сосуществуют только в последовательном порядке вещей».

Ученый-прагматик наверняка согласится с Лейбницем. В конце концов, что толку говорить о времени, если вы не можете измерить его? А для измерения времени вы используете часы – разновидность изменяющейся конфигурации вещества, например вращающиеся шестерни, тикающие маятники и движущиеся стрелки. Одной лишь неизменной материи недостаточно для измерения времени, потому что неподвижные часы ничего не измеряют. Похоже, требуется *изменение* материи. Однако неудивительно, что с этим не все согласны. Встречное мнение о том, что время не имеет ничего общего с переменами, было интересно представлено фанатом научной фантастики в письме редактору *Wonder Stories* (январь

1931 года): «Видите ли, про эти ваши путешествия во времени интересно читать, не спорю, но вы сами знаете, что это пустая болтовня; ведь если нет времени как вещи, а есть только изменения, то как можно путешествовать... внутри чего-то, что не существует? Что касается нашей планеты, которая движется вокруг Солнца, для нее это просто поворот и потепление сначала с одной стороны, а затем с другой; то есть годы, дни, минуты и так далее являются чем-то чисто искусственным, изобретенным человеком, чтобы указывать ему, когда делать определенные вещи, начинать и прекращать работу...»

Выходя за рамки идей Эйнштейна, Спинозы, Лейбница и нашего фаната научной фантастики, по крайней мере один метафизик – Тейлор – чувствует, что время не имело бы смысла, даже в огромной вселенной, без дополнительного присутствия сознательного, рационального существа. Это очень похоже на эхо слов французского философа Анри Бергсона, который в 1888 году загадочно заявил, что время – «не что иное, как призрак пространства, преследующий рефлексивное сознание». Однако за несколько лет до Тейлора коллега-философ МакКолл высказал совершенно противоположное мнение о том, что движение во времени не зависит от существования сознательных существ.

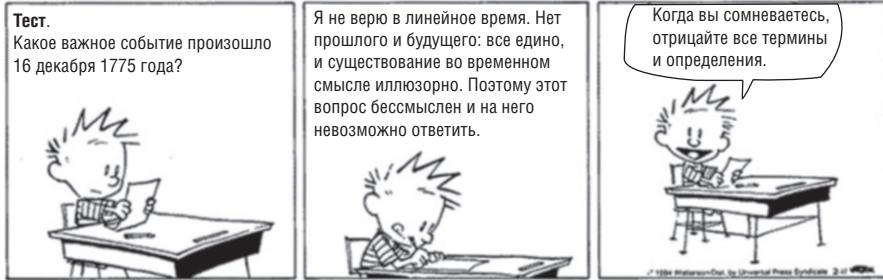
Несмотря на то что линейное время стало нормой на протяжении последней пары тысячелетий, вопросов о времени осталось предостаточно, чтобы озадачить самых глубоких мыслителей, и за эти две тысячи лет родилось огромное количество размышлений. Дискурсы о времени таких философов, как Декарт, Спиноза, Гоббс (который в семнадцатом веке связывал точки прямой линии с моментами времени), Канта, Ницше и Гегеля, можно найти на полках любой приличной университетской библиотеки. Почти все (если не все) из этих представлений имеют метафизические, даже теологические основания.

Когда Ньютон заявил про *абсолютное время*, то есть высказал убеждение, что время везде во вселенной одинаково, это было первое рассуждение о времени из уст профессионального физика. Но, несмотря на гениальность Ньютона, тайна времени осталась загадкой.

В 1905 году среди исследователей времени появилось имя Эйнштейна, и, наконец, к пониманию времени добавилось хоть что-то, помимо метафизических измышлений. В статье Эйнштейна была представлена идея *относительного* времени, которая заключается в убеждении, что ход времени не везде одинаков, а скорее зависит от местных условий. Оглядываясь назад, можно сказать, что статья Эйнштейна является идеальным ответом на комментарий Исаака Барроу – учителя Ньютона и первого лукасовского профессора математики в Кембридже, на факультете, который много лет спустя возглавлял Стивен Хокинг, – что «поскольку *математики* часто используют Время, им следует иметь четкое представление о значении Слова, иначе они шарлатаны».

## Calvin and Hobbes

by Bill Watterson



CALVIN AND HOBBS © 1994 Watterson. Перепечатано с разрешения UNIVERSAL PRESS SYNDICATE. Все права защищены

Затем, всего через три года после Эйнштейна, вышла вторая удивительная статья кембриджского философа Джона Эллиса Мак-Таггарта. В этой статье (1908 г.) утверждалось, что не имеет значения, с какой точки зрения рассматривать время (даже по Эйнштейну), потому что время вообще не является реальным! Подход автора статьи состоял в том, чтобы отрицать реальность времени с помощью аргумента бесконечной регрессии, который философ Минк назвал *pons asinorum*<sup>1</sup> загадки времени. То есть аргумент настолько труден для понимания, что это «мост ослов», который делит людей на две категории. Как метко сказано во вступительном предложении Мак-Таггарта: «Несомненно, вам покажется крайне парадоксальным утверждение, что Время нереально и что все утверждения, связанные с его реальностью, ошибочны».

Мак-Таггарт начал свой анализ с наблюдения, что существует два независимых и разных способа говорить о событиях во времени. Следуя его определениям, можно сказать, что события – это будущее, настоящее или прошлое (так называемый ряд А), или можно сказать, что события позиционируются во времени неким существом позже, чем другие события, раньше, чем другие события, и одновременно с другими событиями (так называемый ряд В). Затем он продолжил рассуждать, что время подразумевает изменения, и последовал за этой мыслью, наблюдая, что ряд А (но не ряд В) включает в себя такие изменения. То есть если событие Х случилось раньше, чем событие Y, тогда X *всегда* располагается раньше, чем Y, и, следовательно, в этом (или в любом другом) примере ряда В нет изменений. В качестве конкретного примера пусть Y будет рождением ребенка, и пусть X будет рождением его матери. И наоборот, если событие X расположено сначала в будущем, затем в настоящем и, наконец, в прошлом, то у нас есть пример

<sup>1</sup> *Pons asinorum* – дословно на латыни «мост ослов». В переносном смысле так называют загадку или доказательство, понимание которых отличает умников от глупцов, творцов от посредственностей, быстрых разумом от тугодумов. – Прим. перев.

изменения (и, следовательно, *времени*) в ряде А – например, пусть событием Х будет то, что вы моргнете.

После такого вялого начала Мак-Таггарт внезапно вытащил кролика из шляпы. Он заявил, что бессмысленно говорить о «будущем», «настоящем» и «прошлом» события, поскольку эти термины являются взаимоисключающими. То есть никакие два из этих предикатов не могут применяться к событию одновременно, и все же, как это ни парадоксально, каждое событие обладает всеми тремя, значит, у нас есть противоречие. Поэтому, заключает Мак-Таггарт, нет смысла говорить о будущем, настоящем или прошлом. И поскольку говорить о них бессмысленно, их не существует, и поэтому не может быть никаких рядов А и, следовательно, никаких изменений, то есть время не существует. Конечно, Мак-Таггарт понимал, насколько шокирующе это звучит, и на самом деле он изобразил в статье «адвоката дьявола», пытаясь предугадать различные возражения, которые могут возникнуть у вдумчивых читателей. Конечно, ему всегда удавалось опровергнуть возражения «адвоката».

Как говорит «адвокат дьявола», некоторые будут утверждать, что предикаты будущего, настоящего и прошлого действительно не несовместимы ни с одним событием, потому что *настоящие* предикаты, которые мы должны использовать, – это «*было* будущим», «*есть* настоящее» и «*будет* прошлое», и они могут быть одновременно сопоставлены с любым событием. Хорошая попытка, отвечает Мак-Таггарт, но это не решит проблему. Допуская такие измененные предикаты, мы должны фактически разрешить целых девять возможностей, и некоторые из них все еще несовместимы. То есть каждый из предикатов «было», «есть» и «будет» может быть потенциально привязан к «будущему», «настоящему» и «прошлому»; и, например, «было в прошлом» несовместимо с «будет в будущем».

О да, парирует «адвокат дьявола», мы можем устранить и эту проблему, используя еще более сложные модифицированные предикаты третьего уровня, такие как «будет становиться прошлым» и «раньше становился будущим», и *эти* предикаты совместимы. Но затем Мак-Таггарт отбрасывает и этот аргумент, демонстрируя новые несовместимости, а также показывая, что процесс все возрастающей сложности предикатов является порочным бесконечным регрессом, который на каждом шагу содержит семена собственной гибели. Он говорит, что нам предстоит бесконечное бегство от несовместимости, поэтому мы обречены на провал на самом первом этапе, и, следовательно, время не существует.

Знаете ли, трудно спорить, если ваш оппонент предъявляет подобные аргументы, всерьез полагая, что философы могут раскрыть тайны природы, размышляя над историческими случайностями английского синтаксиса. Как однажды сказал Дэвид Юм: «Сплошь и рядом философы посягают на удел грамматиков и вступают в споры о словах, воображая, что занимаются дебатами глубочайшей важности и значимости». Один более современный философ, Кристенсен, соглашается с такой оценкой «доказательства Мак-Таггарта» и не стесняется в выражениях: «Знаменитый аргумент Мак-

Таггарта о нереальности времени настолько возмутителен, что давно заслуживает погребения в глубокой безвестности. И действительно, так оно и было, однако слишком многие философы сомневаются, что предмет спора захоронен достаточно надежно, и поэтому время от времени кто-нибудь раскапывает могилу снова и снова, чтобы убедиться, что аргумент *действительно* мертв. А вскрыв усыпальницу, они находят, что нужно добавить к сказанному еще кое-что». Это, безусловно, верно, поскольку обезоруживающе наивный аргумент Мак-Таггарта вызывал разногласия и заставлял философов хмурить брови на протяжении десятилетий.

На самом деле дебаты по поводу анализа Мак-Таггарта продолжались еще долго. По крайней мере, один философ – Смит – додумался до утверждения, что Мак-Таггарт на самом деле не понимал своих собственных доказательств, хотя его вывод о нереальности времени верен. Доводы Смита тут же опроверг Оклендер. А Керри показал, как идеи Мак-Таггарта нашли свое отражение в философских дебатах о значении времени в кино, особенно в анализе *анахронии*, и сюжетах о нарушении нормальной последовательности событий, которые обычно встречаются в кино. Мое собственное мнение заключается в том, что хотя «доказательство» Мак-Таггарта может что-то значить для грамматики, оно просто не имеет смысла, когда дело касается физики.

Помимо Мак-Таггарта были предложены и другие виды метафизических доказательств нереальности времени. Например, утверждалось, что время нереально, по крайней мере, в мире, свободном от сознания, потому что понятия прошлого, настоящего и будущего не имеют никакого значения, если события не могут быть запомнены, пережиты и ожидаемы. Некоторые считают, что время нереально, по крайней мере, в детерминированном мире (как некоторые неправильно называют *фаталистическое* четырехмерное пространство-время), потому что любое событие, которое вытекает из нынешних условий и физических законов, фактически уже существует *сейчас*. Я не слишком хорошо понимаю эту идею, чтобы переживать по ее поводу.

Споры между теми, кто верит в идею здравого смысла о том, что настоящее, прошлое и будущее являются атрибутами событий, и теми, кто отрицают это (сторонники четырехмерного пространства-времени и блочной вселенной), долго бушевали на страницах философских журналов. Вейнгард даже упоминает одного философа, который видит достоинства в *обеих* позициях.

Менее чем за месяц до своей смерти Эйнштейн раскрыл свои соображения о смысле настоящего, прошлого и будущего. В письме, написанном 21 марта 1955 года детям его самого дорогого друга, Микеле Бессо, который только что умер, Эйнштейн написал – с полным осознанием того, что и сам стоит у края жизни из-за болезни: «Он опередил меня лишь на короткое время, распрощавшись с этим чуждым миром. Но это ничего не значит. Для нас, верующих физиков, различие между прошлым, настоящим и будущим является всего лишь иллюзией, даже если в это трудно поверить». Позже в данной главе я вернусь к этим любопытным словам и расскажу о том, что Эйнштейн, возможно, имел в виду.



## 2.2. Линейное время и бесконечность прошлого и будущего

Наша современная концепция линейного времени как прямой линии, проходящей от смутного прошлого через настоящее и исчезающей в туманное будущее, немедленно порождает два вопроса: «Было ли у времени начало?» и «Время когда-нибудь закончится?». Как говорил Стирнс, «Окончания и начала лежат в основе самой идеи времени». Я ограничусь сейчас вопросом о том, является ли прошлое конечным или бесконечным по продолжительности, и рассмотрю вероятность того, может ли время закончиться в будущем. При обсуждении этих вопросов нам не обойтись без упоминания древней философии и теологии – именно тогда был заложен фундамент современной теории времени. Затем наступит очередь современной физики.

Разумеется, древние ученые-мыслители считали прошлое *конечным* (мир возник благодаря Первопричине, Божьему творению сущего), и они тратили огромные количества энергии (и, надо сказать, самого времени) на расчет точной даты творения. Например, Мартин Лютер выступал за 4000 г. до н. э., и с ним был согласен (но гораздо более точен) кальвинист Джеймс Ашер, архиепископ Арма и Предстоятель всей Ирландии. Его дата является наиболее впечатляющей из всех, по крайней мере в деталях: «с вечера, наступившего в первый день мира, до той полуночи, которая началась в первый день христианской эры, прошло 4003 года, семьдесят дней и шесть часов». Спустя шесть дней после Сотворения мира был создан Адам, и в качестве достойного завершения всех расчетов Ашер объявил, что это была пятница 28 октября!

По иронии судьбы, хотя христианскому богословию можно отдать должное за введение линейного времени, это время оказалось довольно куцым. Начало времени было всего шесть тысяч лет назад или около того, и, конечно, заранее предусмотренный конец – в виде битвы при Армагеддоне – ожидался (с различной степенью фанатизма) в течение последней тысячи лет. На знаменитый древний вопрос, который естественно возникает при взгляде на библейскую историю – «Что делал Бог до того, как сотворил мир?» – в равной степени известен и древний ответ «Создавал ад для тех, кто задает такие вопросы».

Открытие в семнадцатом веке геологического времени изрядно подкосило репутацию библейских расчетов. После того как стало ясно, что можно прочесть историю самой Земли, большинство людей потеряли интерес к расшифровке богословских книг, заведомо имеющих очень ограниченный возраст (хотя нельзя отрицать, что современные креационисты все еще бьются над этой задачей, чтобы получить свои награды). Ученые обнаружили, что геологическое время – это *пропасть* времени, простирающаяся назад на миллиарды лет, продолжительность, которая действительно непостижима для человеческого мозга. У геологов стало модным называть

такие огромные длительности термином *глубокое время* – тонкая метафора поэтического «океана времени».

Герберт Уэллс в своей докторской диссертации в Лондонском университете в 1944 году писал: «Тысяча лет – это огромная вереница прошедших дней за пределами нашего ясного понимания». Даже если возраст Земли огромен, он не бесконечен. Но, конечно, наша планета очень старая, а сама Вселенная на много миллиардов лет старше. Является ли возраст Вселенной границей прошлого? Или прошлое время на самом деле бесконечно?

Предположение о бесконечности прошлого (и будущего тоже) можно найти в третьей книге научной поэмы Лукреция *De Rerum Natura* («О природе вещей»), где прямо перед рождением Христа Лукреций утверждает, что страх смерти иррационален: «Ушедшая древность вечного времени до нашего рождения не была для нас ничем. Природа показывает ее нам как зеркало времени, которое еще наступит после нашей смерти. Есть ли в ней что-то, что выглядит ужасно, что-нибудь, похожее на мрак? Разве она не более безмятежна, чем любой сон?»

Философ Уитроу проследил истоки рационального анализа продолжительности прошлого вплоть до шестого века нашей эры. Аргумент, представленный тогда христианским философом Джоаннесом Филопоном из Александрии (который иначе известен как Иоанн Грамматик), гласит, что мир не мог существовать вечно, потому что это подразумевает, что могла произойти бесконечность последовательных действий, что, по мнению Филопона, невозможно. Разновидностью этого довода является утверждение, что если бы прошлое было бесконечным по протяженности, то все, что может произойти, уже бы произошло! Бесконечность была слишком велика для древнего разума. (Старые добрые дохристианские парадоксы Зенона, как хорошо известно сегодня, основаны на тонких ошибках в использовании бесконечности.) Даже в двенадцатом веке споры среди христианских богословов велись не о возможности бесконечного прошлого, а скорее о том, действительно ли библейские «шесть дней сотворения» произошли одновременно. Для многих в этой дискуссии прошлое было явно конечным по длительности. Однако не все христиане приняли этот вывод, и в следующем столетии святой Фома Аквинский (последователь Аристотеля) выступал за противоположный взгляд на бесконечное прошлое.

Современник Фомы Аквинского святой Бонавентура выступал за *конечное* прошлое, и именно у Бонавентуры мы встречаем первые математические подходы к времени. Он утверждал, что в бесконечно старом мире Солнце совершило бы бесконечное число своих ежегодных путешествий вокруг эклиптики. Но для каждого такого цикла Луна совершала бы двенадцать ежемесячных циклов вокруг Земли, и поэтому вторая бесконечность была бы в двенадцать раз больше первой, но как такое может быть? Бесконечность есть бесконечность, и как нечто может быть в двенадцать раз больше бесконечности? Этот аргумент сегодня утратил значение из-за работ Кантора над концепцией бесконечности, но он все еще умен.

Хаотичные, запутанные богословские исследования Бога, бесконечности и вечности продолжались еще долго после Аквинского и Бонавентуры. Два примера продемонстрируют вам научный уровень подобных исследований. Рассмотрим сначала вопрос о предполагаемом бессмертии души. Если  $A = B$ , то  $2A = 2B$ . Далее, пусть  $A =$  «наполовину жив» и  $B =$  «наполовину мертв», где  $A = B$  в том же смысле, что стакан, который наполовину полон, так же наполовину пуст. Тогда  $2A =$  «полностью жив» и  $2B =$  «полностью мертв». Таким образом, быть мертвым – значит быть живым, и поэтому душа бессмертна. Сумасшествие? Да, действительно, но у подобных «рассуждений» есть определенное очарование! Второй пример XVII века является особенно поучительной иллюстрацией того, насколько тесно связаны понятия сотворения мира, божественной вечности, бесконечности и конечности (или нет) времени.

После публикации в 1651 году труда «Левиафан» английского политического философа Томаса Гоббса с его аргументами против власти Церкви и за гражданскую власть (а также с некоторой критикой в адрес университетов) на него накинута Сет Уорд. Уорд, который был одновременно министром (позже епископом) в англиканской церкви и профессором астрономии в Оксфорде, был глубоко оскорблен светским характером «Левиафана». Фактически даже до «Левиафана» Уорду не понравилось бы отрицание Гоббсом существования нематериальных веществ (таких как души). Книга Уорда 1652 года «Философское эссе на пути к познанию Бытия и сущности Бога, Бессмертия душ человеческих, Истины и авторитета Писания» была первым из двух ударов по Гоббсу. Второй удар Уорд нанес в 1654 году, опубликовав *Vindiciae academiarum*. В обеих этих работах Уорд пытался подорвать доверие к Гоббсу, критикуя его математические способности. (Гоббс давно восхищался и считался экспертом древней проблемы «квадратуры круга» – задачи, которая, как известно, считается неразрешимой только с 1882 года.) В своем эссе Уорд также пытался защитить наличие конечного возраста мира, то есть наличие особого акта творения, предположительно от Бога. Во вступительной записке Уорд признал, что стимулом для написания работы стал отказ Гоббса признать существование нематериальной души.

Уорд довольно любопытным способом использовал бесконечность, чтобы подкрепить свою точку зрения на конечное время. Дескать, ничто не является постоянным, особенно люди. Каждый человек сотворен; можно мысленно проследить цепочку событий творения назад во времени через последовательные поколения. Теперь есть только две отдельные и независимые возможности, к которым эта цепочка могла бы привести в прошлом. Во-первых, она может закончиться через конечное число поколений, достигнув «сотворения» первого человека. Если это так, говорит Уорд, то «дело закрыто!». Если же это не так, то цепочка последовательных поколений никогда не заканчивается, то есть цепочка бесконечно длинна. Но это, утверждал Уорд, бессмыслица – как может что-то бесконечно долго уходить в прошлое из настоящего?

Трудно понять, почему Уорд думал, что это неопровержимый парадокс. Мы легко можем представить линию, которая выходит из начала координат и уходит в бесконечность; примером является положительная ось  $X$ . Этот очевидный контрпример почему-то не был выдвинут Гоббсом в свою защиту, а был предложен одним из собственных коллег Уорда в Оксфорде, профессором геометрии Джоном Уоллисом. Что касается Гоббса, его мало беспокоили аргументы Уорда. Как он сказал (несомненно, с улыбкой на лице), Уорд рискует наколоть себя как богослова на свой собственный меч: аргумент Уорда «доказал» конечность существования не только мира, но и *всего*, включая Бога.

Подобные проблемы с бесконечностью лежат в основе отказа Канта от бесконечного прошлого. Интересно отметить, что Кант, как это ни парадоксально, считал возможным бесконечное будущее. Почему Кант думал, что время может быть бесконечным в одном направлении, но не в другом? Беннетт сказал, что Кант «не смог понять самого себя», и это кажется правдой, потому что Кант утверждал, что бесконечность будущего менее проблематична, чем бесконечность прошлого, потому что только прошлое влияет на настоящее. Лучшее, что я могу добавить по этому поводу, – это предположить, что если настоящее зависит от прошлого, то, возможно, Кант думал, что влияние бесконечного прошлого будет слишком велико, чтобы настоящее могло справиться с ним! В любом случае, точка зрения Канта неверна, если мы рассмотрим возможность путешествия во времени назад – вероятность того, что будущее также может повлиять на настоящее.

Вопрос о протяженности времени остается неисчерпаемым источником оживленной философской дискуссии. Возьмем, например, Уитроу, который повторяет утверждение Филопоноса о том, что бесконечное прошлое невозможно, потому что это подразумевает, что фактическая бесконечность событий уже произошла (что, конечно, абсурдно). Чтобы придать этому предполагаемому абсурду видимость научного обоснования, Уитроу ссылается на предсказанную общей теорией относительности сингулярность в пространстве-времени в какое-то конечное время, то есть предсказание, что время – и все остальное – зародилось в знаменитом Большом взрыве.

Однако на каждую точку зрения найдется свой философ. Доводы Уитроу вызвали бурю ответов, причем Поппер и Белл с ним не согласились. Затем Крейг выступил с поддержкой Уитроу и опровержением Поппера, но сам был опровергнут Смоллом. Однако даже это не положило конец дискуссии. В следующем году появилась статья Смита, в которой логически обоснована возможность бесконечного прошлого; она, в свою очередь, получила математическое опровержение Иллса. В том же году Смит заявил, что он говорил только про *логическую* возможность бесконечного прошлого и что на самом деле он уверен, что вселенная имеет конечный возраст и что она возникла в беспричинном (без участия Бога) Большом взрыве. Действительно, Смит ранее доказывал конечное прошлое. Смит был опровергнут (вы еще удивле-

ны?) другим Смитом и Вейнгардом, которые утверждают, что Смит упустил из виду влияние квантовых эффектов в несингулярных условиях. Смит, конечно, буквально тут же ответил другому Смигу. Еще более резкая критика аргументов Смита поступила от теолога Лейна Крейга.

Интересные параллельные дебаты по тому же вопросу разгорелись в те же годы между Крейгом и канадским философом Джулианом Вулфом. Как вы думаете, когда закончатся философские дебаты о возрасте прошлого? Держу пари, что они продлятся до конца (бесконечного?) будущего!

Реагируя на первую попытку профессора Уитроу применить глубокий научный подход к проблеме времени, профессор Вейнгард написал, что хотя общая теория относительности и предсказанная на ее основе сингулярность пространства-времени в далеком прошлом действительно могут допускать конечное прошлое, это еще не отменяет возможность того, что Большой взрыв был следствием предыдущей фазы сокращения вселенной и так далее до бесконечности. Цитируя Томаса Элиота («Маленький Гиддинг»):

*То, что мы называем началом, часто является концом,  
а прийти к концу – значит встать к началу.  
Конец – это то, откуда мы начинаем.*

Не обязательно развлекать себя образом сжимающейся и расширяющейся наподобие гармошки вселенной. Можно представить вселенную, которая зародилась в одном Большом взрыве за конечное время в прошлом, но у которой нет первого мгновения! Это удивительное утверждение шокирует больше всего при первом знакомстве, но это просто космологическая версия известного математического факта. Момент  $t = 0$  на самом деле *не* является частью пространства-времени, потому что Большой взрыв был буквально сингулярным событием, для которого законы физики пространства-времени не выполняются. Таким образом, все моменты времени в пространстве-времени больше нуля, но не существует наименьшее число больше нуля. Если вы назовете число, каким бы маленьким оно ни было, я могу назвать число меньше, например половину от вашего. (Конечно, если идея кванта времени, хронона, действительно заслуживает внимания, то этот аргумент не имеет смысла.)

Существует гениальное замечание, которое, похоже, ускользнуло от большинства философов. Э. А. Милн, профессор математики в Оксфорде, в своей книге 1948 года «Кинематическая теория относительности» предположил, что с общей теорией относительности возможны одновременно и Большой взрыв, и бесконечное прошлое. (Спустя полвека Миснер пришел к аналогичному выводу.) Исходя из того, что для осмысленных рассуждений о времени нужны часы, профессора Милн и Миснер искали универсальные часы, которые были бы гораздо более долговечными, чем наше сердцебиение, Биг Бен, вращение Земли вокруг Солнца, лучшие в мире часы или что-то еще, что су-

ществует только временно. Они предложили использовать в качестве идеальных часов скорость расширения самой вселенной. Когда мы возвращаемся ко времени Большого взрыва, скорость расширения возрастает до бесконечности, и как говорит Миснер: «Мы слышим, как громко и довольно быстро тикают часы Вселенной... *Вселенная несомненно бесконечно стара, потому что с самого начала произошло бесконечно много событий* (курсив Миснера)».

С этой точки зрения космическое время принимается пропорциональным отрицательному значению логарифма нормализованного объема  $V$  вселенной (то есть  $V = 1$  представляет бесконечный объем, поэтому время «останавливается» в конце расширения). Таким образом, поскольку  $V$  стремится к нулю по мере того, как мы движемся назад во времени, время идет все быстрее, когда мы уходим в прошлое. Поэтому Большой взрыв (когда  $V = 0$ ) оказывается бесконечно давно в прошлом, и это снимает вопрос о том, что было до Большого взрыва. Таким образом, ответ на вопрос, который вынесен в заголовок этого раздела: *да*, прошлое было всегда, если измерять время самыми большими часами, которые только можно представить, – самой вселенной.

В эпоху расцвета теоретической физики споры о продолжительности прошлого продолжают так же жарко и тяжело, как и в средневековые времена. Например, в своей редакционной статье от 10 августа 1989 года («Долой Большой взрыв») редактор журнала *Nature* Джон Мэддокс объявил стандартную взрывную модель вселенной «философски неприемлемой», поскольку «подразумевается, что был один момент, когда буквально началось время, и, следовательно, мгновение, до которого не было времени». Для Мэддокса это означало, что Большой взрыв «является *следствием, причина* которого не может быть определена или даже обсуждаема». Обычное (не про путешествия во времени) использование слов «*причина и следствие*» заключается в том, что сначала возникает причина, а затем возникает следствие, но если Большой взрыв (следствие) является источником времени, то, как спросил Мэддокс, какова причина Большого взрыва?

Для креационистов ответ, конечно, очевиден – Бог. Креационисты увиливают от вопроса о причине Бога, просто говоря, что ему не нужна причина, однако не могут ответить, почему нельзя сказать то же самое о Большом взрыве. Более разумно высказался Адольф Гринбаум: Мэддокс сам себя запутал, задав неправильный вопрос. Правильный вопрос по Гринбауму звучит так: «Было ли у Вселенной начало?», а вопрос Мэддокса «Что *предшествовало* началу?» адресован не физике, а скорее богословской метафизике. Сам Мэддокс притянул религию к дебатам своим утверждением, что креационисты любят Большой взрыв, потому что он, очевидно, поддерживает науку, внося «воображение»; тем самым Мэддокс запятнал модель Большого взрыва своим неуместным (я думаю) сопоставлением с псевдонаучным креационизмом.

Когда же закончатся философские споры о прошлом? Могу заключить с вами пари, что они будут идти до самого конца (бесконечного?) будущего!

### 2.3. Причина и следствие

Философская литература полна дискуссий о возможных причинно-следственных связях между событиями. Одно из наиболее известных обсуждений показывает, что причина и следствие могут быть довольно скользкими понятиями. Ким задает на первый взгляд почти тривиальный вопрос: стала ли смерть Сократа причиной вдовства Ксантиппы? Быстрый и простой ответ: «Конечно, она была его женой, и именно его смерть заставила нас сказать, что она тогда стала вдовой. Что может быть более очевидным?» Однако у Кима нашлись кое-какие интересные замечания, которые могут заставить вас пересмотреть свое мнение или, по крайней мере, осознать, насколько сильно отличаются вопросы, которые задают философы и физики.

Предположим, мы согласны с тем, что необходимо рассмотреть два события: Сократ перестает жить, а Ксантиппа становится вдовой. Эти события происходили в разных местах (в тюрьме и там, где находилась Ксантиппа, которая почти наверняка *не* была в тюрьме). Ким утверждает, что «эти два события происходят с абсолютной одновременностью, и поэтому мы должны были бы рассматривать эту ситуацию как случай, когда причинное действие распространяется мгновенно в трехмерном пространстве». Это интересный аргумент, но, возможно, наличие относительности отдаленной одновременности ослабляет позиции Кима. А что касается вывода, который он делает из этого утверждения, то спросим его: *что именно* распространяется мгновенно? Если это не массовая энергия (вряд ли «вдовство» можно считать энергией!), то специальная теория относительности нас не беспокоит. И наконец, как признается сам Ким, является ли вдовство Ксантиппы отдельным событием, отличным от события смерти Сократа, или это просто еще один способ сказать, что умер Сократ?

Главная загадка путешествия во времени в прошлое – это очевидное отрицание причинности, то есть отрицание веры в то, что мы живем в мире, где каждый эффект имеет причину, а причина всегда возникает первой. *Сначала* мы нажимаем на выключатель, и *затем* включается свет на кухне. Это *никогда* не работает наоборот. В наши чувства о том, как устроен мир – и весь остальной космос, – настолько глубоко заложен временной порядок причины и следствия, что философ Дж. Л. Макки называет причинность «цементом вселенной». По словам Макки, без причинно-следственной связи все расклеится и развалится на части. Например, когда инженеры проектируют электронные системы, которые они намереваются изготовить (в отличие от простой «бумажной разработки»), они уверены в том, что проект является причинно-следственным. Под этим они подразумевают, что система не должна выдавать выходной сигнал до подачи входного сигнала; то есть нельзя рассчитывать, что система сможет упреждать (предвидеть) будущий входной сигнал. Сейчас это выглядит само собой разумеющимся, но есть некоторые тонкие нюансы, заслуживающие отдельного рассмотрения.

Например, принято говорить, что ничто не может распространяться быстрее света; это то, что физики подразумевают под *релятивистской причинностью*. Никакая причина не может произвести эффект в отдаленном месте быстрее, чем до этого места может добраться импульс света. Однако основанная на законах Ньютона классическая механика, которую постоянно используют инженеры, *не* является релятивистически причинной. Например, приложите силу к левому концу абсолютно жесткого стержня, и правый конец начнет двигаться мгновенно. В большинстве случаев отсутствие этой формы причинности не вызывает никаких проблем, но факт остается фактом, что механика, которую все инженеры первым делом изучают первыми в институте, несовершенна на фундаментальном уровне. Абсолютно жесткий стержень невозможен в механике Эйнштейна.

Откровенно говоря, иногда я пытаюсь представить, как после обсуждения причинно-следственной связи профессор, преподающий традиционную механику, отреагировал бы на один интересный вопрос талантливого студента. В конце концов, причинно-следственная связь может показаться не столь очевидной, если бы такой студент поднял руку и сказал: «Профессор, вы сказали нам, что все, что происходит в природе, связано с причиной. То, что мы видим происходящим вокруг нас по мере того, как развивается мир, является цепным процессом причина – следствие – причина – следствие и так далее, уходящим в будущее. Но предположим, профессор, что в какой-то момент каждая частица в мире внезапно изменила свой вектор скорости на противоположный. Не означает ли это, учитывая обратимый во времени характер классических уравнений движения, что мир затем будет двигаться назад во времени по тому же пути, по которому он шел до момента обращения? Разве это не значит, что то, что было следствием, теперь является причиной, а то, что было причиной, теперь является следствием? И если причина и следствие могут поменяться ролями, то каков тогда истинный смысл этих слов?»

Забавный и поучительный комикс на тему изменения всех векторов скорости в системе появился на обложке ноябрьского выпуска *Physics Today* в 1953 году. В этом выпуске содержится статья об экспериментах по ядерному магнитному резонансу Э. Л. Хана 1949 года, которые в определенном смысле имели дело именно с такими обращенными системами. На иллюстрации группа бегунов на круговой дорожке стартует в согласованном состоянии, то есть все они выстроены на стартовой линии. Затем, когда они бегут по дорожке с разными скоростями, их группа постепенно принимает внешне беспорядочное состояние. Но эта беспорядочность является иллюзией, потому что если в заранее оговоренный момент (в момент второго выстрела из пистолета в комиксе) они развернутся и побегут в обратном направлении, то *одновременно* вернутся на стартовую линию. Первоначальная согласованность бегунов фактически никогда не терялась, несмотря на кажущийся беспорядок, и когерентное состояние может быть восстановлено в любой момент путем обращения векторов скорости.



Почти магическое применение инверсии вектора скорости используется в методе, называемом оптическим сопряжением фаз, предложенном Джулиано. Это процесс «инверсии времени» серьезных искажений, которым могут подвергаться лучи света во время распространения в атмосфере; например, эффективно изменяя векторы скорости фотонов, можно устранить турбулентное размытие, возникающее на спутниковых снимках, полученных за счет света, движущегося *вверх* от поверхности Земли. Этот метод действительно работает, так что, возможно, мой гипотетический студент задал хороший вопрос.

Позвольте мне поскорее предложить один возможный ответ для нашего впавшего в отчаяние профессора, ответ, основанный на идее, что уравнения физики так или иначе не всегда обратимы во времени. На самом деле десятилетия назад было обнаружено, что в некоторых очень редких процессах распада фундаментальных частиц (с участием нейтральных К-мезонов, или *каонов*) есть намек на то, что, возможно, природа действительно может различить два направления времени. В частности, каоны нарушают то, что называется CP-симметрией, и поэтому так называемая теорема TCP гласит, что T-симметрия также должна потерпеть неудачу. Это открытие было настолько важным, что главные исследователи, Джеймс Кронин и Вай Фитч, получили Нобелевскую премию 1980 года по физике за свою работу. Позже Каселла сообщил о прямом наблюдении нарушения T-симметрии, тем самым предоставив экспериментальные доказательства в поддержку теоремы TCP. Здесь я могу привести удивительный пример литературного предвидения: использование К-мезонов в машине для воздействия на прошлое и, следовательно, настоящее упоминается в рассказе «Первая цель» (Пол). Опубликованный в 1955 году, этот рассказ появился за годы до того, как впервые были замечены необычные распады, нарушающие T-симметрию!

Могут ли К-мезоны объяснить физические процессы, которые, как мы видим, развиваются во времени только в одном направлении? Как хорошо говорит Харли: «Распад нейтрального К-мезона не является инвариантом обращения времени; возможно, именно этот вездесущий мезон отвечает за равномерное распределение сливок по всему кофе по утрам. Возможно, но опять-таки эта гипотеза не может объяснить компьютерные модели [диффузионных процессов, которые, как и сливки в кофе, также демонстрируют преимущество одного направления времени над другим], которые не имеют нейтральных К-мезонов». Тем не менее крошечная щель, которую К-мезоны, по-видимому, проделали в некогда монолитной скале направления времени, является активной областью исследований и размышлений.

В общем-то, конечно, даже с такой щелью тот факт, что классические законы кажутся нечувствительными к направлению времени, в то время как реальный мир, который никак не зависит от тайных свойств каонов, кажется явно асимметричным, это головоломка высшего сорта. Как писал Эрман (1969): «Вселенная кажется асимметричной относительно прошлого и будущего очень глубоким и не случайным образом, и все же все законы природы

являются чисто симметричными во времени. Так откуда же взялась асимметрия?» Этому вопросу посвящено множество работ; Херли говорит: «Есть лишь несколько парадоксов, которые пытаются решить так же часто, как парадокс асимметрии времени». Другими словами, вопрос по-прежнему остается открытым, и его продолжают обсуждать.

Например, Хатчинсон приводит некоторые любопытные математические примеры, из которых в контексте классической механики следует, что существуют физические системы, которые *принципиально* необратимы во времени. В ответе Савитта, однако, утверждается, что Хатчинсон, самое большее, показал только то, что классическая механика, возможно, не является детерминированной. И это, утверждает Савитт (убедительно, я полагаю), не равнозначно демонстрации провала обратимости времени. На самом деле имеются убедительные экспериментальные доказательства того, что, за редким исключением каонов, классические законы физики (включая общую теорию относительности и квантовую механику) обратимы во времени.

Возможно, самое убедительное из таких доказательств исходит из *теоремы взаимности*, которую инженеры-электрики обычно используют при разработке радиоантенн. Теорема формулируется очень просто. Предположим, два инженера-электрика, Боб из Бостона и Алиса из Лос-Анджелеса, посылают радиосигналы друг другу. Боб посылает свои сообщения, подавая на антенну переменный во времени электрический ток, который вызывает электромагнитное излучение, испускаемое антенной в пространство. Отдаленная антенна Алисы принимает часть этого излучения, которое индуцирует в приемной антенне очень слабый сигнальный ток.

Тогда теорема взаимности говорит следующее: предположим, Боб записывает на пленку свой сигнал и отправляет его Алисе. Затем Алиса воспроизводит ленту Боба в качестве источника сигнала для антенны, чтобы создать тот же ток, что и Боб; тогда сигнальный ток, индуцируемый в антенне Боба, когда он принимает ее излучение, будет тем же самым (очень слабым) сигналом, который Алиса измерила в своей антенне в результате передачи Боба. Этот результат совершенно не зависит от деталей двух антенн, которые могут быть совершенно разными по конструкции, и он не зависит от параметров пути распространения сигнала между Бостоном и Лос-Анджелесом, если эти параметры не меняются со временем. Теорема взаимности верна – ее можно *измерить*, чтобы подтвердить настолько точно, насколько точно вы можете провести этот эксперимент – благодаря обратимости законов физики вплоть до электронного уровня. Ответ на вопрос студента про обратимость причинно-следственной связи, поставивший в тупик профессора, еще не найден в известных законах физики.

Теперь, чтобы сделать вещи еще более интересными, рассмотрим проблему взаимной, или *одновременной*, обусловленности. Это может быстро привести к нескольким интересным вопросам. Например, когда шарик покоится в углублении на подложке, является ли шарик неподвижным, потому что он находится в углублении, или углубление возникает, потому что

шарик лежит неподвижно? Когда две наклонные костяшки домино, А и В, подпирают друг друга, А не падает из-за В или это В не падает из-за А? Когда двое детей качаются вверх и вниз на качелях, чье движение является причиной, а чье – следствием? Есть и другие загадки, которые подразумевают взаимную обусловленность.

Например, обусловленность обычно считается транзитивной: если А вызывает В и если В вызывает С, то А вызывает С. Но если А и В взаимно обусловлены, то «А вызывает В» в сочетании с «В вызывает А» приводит к «А вызывает А» (и «В вызывает В»). То есть взаимная обусловленность, кажется, подразумевает *самообусловленность*! За исключением богословов, которым явно нравится такой вывод (он позволяет им на вопрос «Кто сотворил Бога?» ответить «Он сотворил Себя»), вряд ли самообусловленность нравится кому-то еще. Но как нам избежать вывода о том, что, возможно, взаимная обусловленность двух наклонных костяшек домино представляет собой экспериментальное доказательство того, что Бог мог создать себя? Это, конечно, возмутительно, но разве нас не беспокоит, что должен ответить наш бедный профессор?

Последний пример на самом деле гораздо более эзотерический, чем нам нужно, чтобы проиллюстрировать, как можно вывернуть нашу обычную, повседневную концепцию причины и следствия, лишь немного выйдя за рамки рутины. Рассмотрим, например, проблему обработки записанных сигналов времени, таких как информация, записанная на магнитную ленту или дискету. Типичные применения таких записей включают стратифицирующее сейсмическое эхо от взрыва зарядов динамита, установленных геологами-нефтеразведчиками; станции слежения за соблюдением правил контроля над вооружениями, которые прослушивают акустические волны как землетрясений, так и подземных ядерных испытаний, а затем пытаются отличить одно от другого; сбор различными военными разведывательными службами сигнатур шума валов турбин / гребных винтов, излучаемых различными типами подводных лодок. В каждой из этих ситуаций необработанная информация записывается и затем спокойно и неторопливо обрабатывается в лабораторных условиях. В конце концов, этот запас нефти находился под землей в течение нескольких сотен миллионов лет, и ожидание компьютерного анализа эха от взрыва еще несколько дней или недель не будет иметь большого значения.

Говорят, что такая обработка записанных данных постфактум выполняется «в автономном режиме, не в реальном времени». Однако, когда мы воспроизводим запись в лаборатории, мы можем делать разные полезные вещи, такие как ускорение воспроизведения (ускорение времени), или замедление (замедление времени), или даже воспроизведение в *обратном направлении* (заставить время «изменить направление»). По различным техническим причинам, обычно называемым смещением спектра, такие приемы часто весьма полезны. Чтобы извлечь информацию, записанную на магнитную ленту, необходимо пропустить ее через устройство воспроизведения со «считывающей головкой», которая распознает изменения магнит-

ного потока. Электрический сигнал, создаваемый считывающей головкой, аналогичен исходному сигналу, и мы можем притвориться, что не знаем, что он на самом деле идет с ленты или диска, и сделать вид, что это оригинальный сигнал. Современные файлы звукозаписи и воспроизводящая аппаратура настолько достоверны, что иногда невозможно отличить звукозапись от оригинала.

Теперь предположим, что мы конструируем наш воспроизводящий аппарат с двумя считывающими головками, а новая головка воспринимает запись немного раньше, чем старая головка. Конечно, две головки производят один и тот же электрический сигнал, но сигнал от новой головки *опережает* время по сравнению с сигналом от старой головки. Новая головка «видит будущее» старой головки! Мы можем использовать оба сигнала: старая головка, представляющая время «сейчас», и новая головка, представляющая «будущее» время, для построения реальных систем, которые не являются причинно-следственными. Нарушение причинности происходит в нереальное время, конечно, не в *наше* время, но не важно; таким образом может быть достигнута некоторая совершенно удивительная обработка сигналов. Вселенной около пятнадцати миллиардов лет, и, делая вид, что время сместилось на несколько миллисекунд или около того, похоже, мы не слишком жестоко обращаемся с реальностью.

Двойное воспроизведение часто используется в ток-шоу на радио, для того чтобы перехватывать неуместные фразы от неуравновешенных слушателей и предотвращать их трансляцию в прямой эфир. «Живой» комментарий сначала записывается, а затем воспроизводится для трансляции с задержкой в несколько секунд. Задержки в пять секунд, как правило, достаточно, поэтому звонок слушателя, который вы сейчас слышите в радиоприемнике, фактически произошел на пять секунд раньше. Звонящий может запутаться, если не выключит собственный приемник, потому что одно ухо слышит *настоящее* по телефону, а другое слышит *прошлое* по радио.

Смешение понятий порядка во времени (до и после) и причинности также является источником потенциальной путаницы. Несмотря на мои предыдущие слова, не обязательно очевидно, что если А вызывает В, то А происходит первым. Такова была точка зрения Иммануила Канта, но Дэвид Хьюм полагал, что аргументация должна идти другим путем: если А происходит раньше, чем В (и если А и В причинно связаны), то А является причиной, а В – следствием. Слишком легко попасть в ловушку и подумать, что одно понятие подразумевает другое.

## 2.4. Обратная причинность

Все, о чем мы говорили выше, вызвало бесчисленные споры о том, что называть *обратной*, *инверсной* или даже *ретропричинностью*. Под *прямой* причинностью обычно подразумевается: очевидно, что любое событие, которое происходит в момент времени  $t$ , вызвано событиями, которые про-

изошли в более раннее время. Обратная причинность говорит о том, что по крайней мере одно из обуславливающих событий происходит *после* времени  $t$ , – обратная причинная связь явно является близким родственником путешествий во времени. Некоторые ученые взаимозаменяемо используют термины *путешественник во времени* и *создатель ретропричинной связи*. Понятно, что эта тема до сих пор лежит в основе многих горячих философских дебатов.

Более интересным и, безусловно, более подходящим для путешествий во времени является аргумент, что если бы была возможна обратная причинность, то можно было бы изменить прошлое, но этого нельзя сделать, потому что прошлое умерло и ушло навсегда – и, следовательно, неизменно. Кажется, это довольно веский аргумент против обратной причинности, но его можно опровергнуть, указывая на то, что та же самая логика может быть применена и к будущему, и, следовательно, обычно неоспоримая прямая причинно-следственная связь также отрицается. То есть можно утверждать, что каким бы ни было будущее, оно *будет* (буквально «по определению»), поэтому нельзя изменить будущее. Подобный аргумент появился еще раньше у Смарта, где мы находим: «предположим, что кто-то говорит, что “Я могу изменить будущее. Я могу сделать это *сейчас* или я могу сделать это *тогда*”. Хорошо, предположим, что он это делает *тогда*. Он изменил будущее? Нет, потому что *тогда* и так в будущем».

На самом деле наши повседневные причины и следствия не так просты, как можно подумать, даже когда они находятся под гораздо меньшим давлением, чем обратная причинность и путешествия во времени. Возьмем, к примеру, неразрешимые проблемы, которые легко представить в правовом мире. Если человек падает с крыши десятиэтажного здания и умирает от удара электрическим током, пролетая через высоковольтную линию электропередачи, находясь на высоте еще десяти метров над землей, было ли причиной смерти падение или электричество? Или это было и то, и другое? Если спортсмен ломает ногу во время соревнования, а затем умирает под наркозом в больнице, какова была причина смерти – несчастный случай на игровом поле или несчастный случай в операционной? Если человек с дефектом черепа умирает после того, как его случайно ударил по голове другой человек, который, в свою очередь, столкнулся с третьим человеком, кто (или что) стал причиной смерти? Как показывают эти примеры, чтобы оказаться перед серьезной проблемой выбора причины и следствия, не нужны даже путешествия во времени. Но с путешествием во времени и вытекающей отсюда обратной причинностью положение дел может стать еще более запутанным. Например, мы обычно думаем, что сейчас глупо готовиться к событию, которое уже произошло, но благоразумному путешественнику во времени, который собирается посетить ледниковый период, было бы разумно надеть шубу, перед тем как сесть в машину времени!

Некоторые философы приводят интересные, но несколько странные (на мой взгляд) аргументы в пользу того, почему они верят в обратную при-

чинность. Рассмотрим, например, пример с *лампочкой Нерлиха*, который приписывает идею Тейлору. Когда-то в прошлом свет включили. Позднее, *сейчас*, мы отключаем его. Нерлих просит нас подумать о том, что это действие вызывает событие «*был свет*». Ясно, что «*был*» относится ко времени, предшествующему *сейчас*, поэтому у нас есть (утверждает Нерлих) пример того, как можно *сейчас* сделать то, что имело место раньше<sup>1</sup>. Если это вас немного запутало, рассмотрите пример, который вы можете найти у Мавродеса. Представьте, что вы собираетесь поехать в Торонто на следующей неделе. Затем, позже, вы передумаете и останетесь дома. Ваш последующий поступок (передумал) не позволил Богу *ранее* предсказать, что вы поедете в Торонто! Мавродес не может ответить, почему он не считает, что всеведущий Бог знал бы и то, что вы передумаете. Ни один из этих примеров не касается того, что на самом деле означает обратная причинность, возникающая при путешествии во времени в прошлое. Вы можете найти больше подобных доводов у Фреддосо и Фишера, но я сомневаюсь, что они могут впечатлить физиков.

Форрест предлагает, я думаю, хорошее объяснение того, почему так много других философов (а не только несколько физиков) заняли позицию «здорового смысла», отвергая обратную причинность. Как он пишет: «Часть ответа, без сомнения, заключается в путанице между влиянием и изменением [прошлое – тема, подробно рассмотренная в следующей главе]. Мы не можем изменить прошлое. Но тогда мы не можем изменить будущее, хотя мы можем повлиять на него. Однако я придерживаюсь осмысленного отказа от обратной причинности, в основном являющегося квазиэмпирическим. Он основан на мысленном эксперименте. Подумайте, как бы вы повлияли на прошлое. Возможно, построив машину времени? Но как бы вы ее построили? Мы не знаем, с чего начать. Однако, напротив, мы можем решить, как повлиять на будущее ... мы просто двигаем наши тела». Но, как утверждает Форрест, если мы признаем, что не можем *изменить* прошлое (что означает, что мы не можем реально наблюдать обратную причинность), то все еще существует вероятность того, что прошлые события были такими, какими они были из-за событий в будущем.

Существуют ли явления, которые оправдывают веру в возможность следствия до причины в реальном времени (не только во времени магнитфона)? Единственный пример, который я знаю, и противоречивый в этом отношении, является теоретическим следствием из уравнений Дирака по электродинамике. Классическая теория моделирует электрические заряды как точечные объекты нулевого размера, что вызывает проблемы при

<sup>1</sup> Особая прелесть подобных «доказательств» в том, что они основаны почти исключительно на грамматике родного языка философа. Иногда бывает трудно сделать так, чтобы после перевода на русский язык подобные измышления не звучали как бред. Вероятно, философы иногда забывают о том, что на свете много разных языков и грамматик. – *Прим. перев.*

попытке вычислить, например, полную энергию поля одного электрона: в результате получается бесконечность. В попытке найти более разумные, то есть конечные, результаты вычислений Дирак вернулся к идее Лоренца о том, чтобы рассматривать заряды как протяженные объекты в пространстве, сохраняя при этом справедливость уравнений Максвелла для точечных объектов. Однако, чтобы вычислить, как такие объекты будут вести себя механически, нужно учесть так называемые *силы самовоздействия*, такие как влияние, которое одна сторона электрона оказывает на другую сторону.

Проработав детали, можно прийти к дифференциальному уравнению движения Дирака третьего порядка, которое включает в себя силовой член, пропорциональный не первой производной по времени (которая является ускорением), а второй производной. Эта сила пропорциональна первой производной от ускорения и в основном интересует только разработчиков автомобильных подвесок, которые называют ее *рывком*<sup>1</sup>. В физике нет другой такой силы, по крайней мере в ньютоновской физике, которая показывает подобную зависимость, и отсюда вытекают некоторые любопытные последствия. Например, в теории Дирака электрон, не испытывающий никакого внешнего воздействия, все еще может непрерывно ускоряться, демонстрируя то, что называется *убегающим решением* (runaway solution).

Дирак (1938) показал, как можно устранить убегающее решение, выбрав определенное значение для компонента, который до этого был произвольной константой интегрирования. Но этот трюк, в свою очередь, порождает вторую проблему, называемую *предускорением*. То есть если заряженная частица подвергается внешнему возмущению (Дирак рассматривал движущийся импульс электромагнитного излучения), то заряд начнет двигаться, *прежде* чем импульс достигнет положения электрона. Теперь это кажется довольно очевидным примером обратной причинности. Интервал времени, в течение которого происходит так называемое предускорение, очень короткий, порядка времени, необходимого свету для перемещения по ширине занимающего пространство заряда (около  $10^{-24}$  секунды для электрона), но это не важно. Видимая трещина в двери причинности может быть очень незначительной, но этого достаточно, чтобы удовлетворить некоторых философских аналитиков, ищущих научную базу для обратной причинности. Технические детали теории Дирака можно найти в прекрасно написанной оригинальной статье Дирака 1938 года.

Конечно, не всем нравится очевидная несостоятельность причинности в теории Дирака. Дэвис, например, явно обеспокоен всем этим, называя предускорение «неприятным» беспричинным поведением. С другой стороны, у Дирака нашлись сторонники, например Эрман. Статья Эрмана вызвала сильный отклик у Гринбаума который утверждал, что вообще не видит здесь проблему. Гринбаум действительно приводит очень интересный аргумент. Он утверждает, что поскольку уравнение Дирака не является

<sup>1</sup> Скорость изменения ускорения. – Прим. перев.

ньютоновским, у нас нет оснований связывать силу и ускорение вместе как причинно-следственную пару. В ньютоновской механике мы используем именно эту связь, но мы не думаем о силе и скорости как о такой причинно-следственной паре, потому что существует операция интеграла, отделяющая одно от другого. Точно так же в теории Дирака мы имеем операцию интеграла, разделяющую силу и ускорение.

Дискуссия по этим вопросам была довольно горячей и даже переходила на личности. Например, в своем аргументе в пользу кажущегося следствия обратной причинности, вытекающего из теории Дирака, Эрман писал: «Я считаю, что обратная причинность является концептуальной возможностью и что вопрос о том, существует ли обратная причинность в природе, является вопросом, который должны решать не кабинетные философы, а естествоиспытатели».

Один из любопытных аспектов этой дискуссии заключается в том, что многие тогдашние комментаторы, похоже, не уделяли должного внимания тому, что сам Дирак говорил о предускорении. Будучи нобелевским лауреатом, он не мог допустить, чтобы такой аспект остался незамеченным, и, действительно, его статья содержит следующее физическое объяснение: «Похоже, здесь у нас возникает противоречие с элементарными представлениями о причинности. Кажется, что электрон знает об импульсе до того, как он прибывает, и набирает ускорение... Однако поведение нашего электрона можно интерпретировать естественным образом, если предположить, что электрон имеет конечный размер. Тогда нет необходимости для импульса достигать центра электрона, прежде чем тот начнет ускоряться. Электрон начинает ускоряться ... как только импульс встречается с ним снаружи. Математически у электрона нет четкой границы».

Более поздняя статья МакКеона и Орд намекает на увлекательную связь между путешествием назад во времени и дираковским релятивистски корректным квантово-механическим описанием электрона. Они показывают, что в плоском двумерном пространстве-времени (см. раздел 3.10) предположение о путешествии во времени в прошлое естественным образом приводит к уравнению Дирака. Если, с другой стороны, предполагается путешествие во времени только в будущее, то для вывода уравнения Дирака требуются дополнительные предположения. Эта связь между теорией Дирака и путешествием во времени в прошлое заставляет некоторых философов и физиков нервничать, но, похоже, это не беспокоило Дирака. Далее в своей статье он показывает, что предускорение подразумевает возможность создания устройства для отправки сигнала назад во времени со скоростью, превышающей скорость света.

Один из наиболее тревожных аспектов обратной причинности заключается в том, что она, по-видимому, допускает возможность возникновения *причинных-следственных петель* и потенциального разрушения таких петель, что является главным ингредиентом большинства из самых лучших историй о путешествиях во времени. Например, предположим, что если



я сейчас нажму кнопку управления специального устройства, то вчерашние конспекты лекции появятся вчера в выходном лотке этого устройства. Действительно, вчера я нашел там конспект сегодняшней лекции, и я действительно собираюсь пойти сегодня на занятие, чтобы прочитать эту лекцию. Но я еще не нажал кнопку. Что, если я решу прожить весь день без нажатия кнопки? Почему вчера появились конспекты, чтобы я мог использовать их сегодня? Современные философы называют эту возможность разрыва причинной петли *парадоксом избегания*. В четвертой главе мы увидим, что такие парадоксы встречаются в физике и философской литературе с 1940-х годов.

Люди с таким подозрением и неприятием относятся к петлям времени и обратной причинности лишь потому, что, как известно, путешествие во времени в прошлое может создавать всевозможные парадоксы. Но такие парадоксы обычно оскорбляют лишь человеческую, культурно предвзятую интуицию о том, как «вещи должны работать», а не законы физики, которые безразличны к последовательности во времени, – законы, лежащие в том числе и в основе путешествий во времени. Как сказал великий американский химик Г. Н. Льюис, «нам присуще отчетливо направленное восприятие времени, но это во многом связано с явлениями сознания и памяти [мой курсив – П. Н.]».

Готовность Льюиса принять нарушения причинно-следственной связи сегодня не популярна среди ученых. Например, у Виссера мы читаем: «Следует сказать, что большинство консервативных физиков имеют очень серьезные оговорки относительно допустимости и реальности процессов, нарушающих причинность. Нарушение причинно-следственной связи (то есть существование «машины времени») является настолько серьезным нарушением нашего понимания космоса, что мы должны быть максимально консервативными в отношении введения таких неприятных эффектов в наши модели». Затем Виссер объявляет *замкнутые времениподобные петли* (closed timelike loop) запретными, потому что «существование замкнутых времениподобных петель приводит к таким неприятным ситуациям, как встреча с самим собой пять минут назад». Виссер прекрасно подводит итог своей философской позиции: «Любая теория, которая “просто немного нарушает причинность”, является “просто немного противоречивой”».

Далеко не все ученые были столь уверены в простом причинном объяснении асимметрии времени, как Виссер. Существуют альтернативные объяснения, включая теории циклически замкнутого времени и «вибрирующей» вселенной. В этой книге я принимаю позицию австралийского философа Хью Прайса. По словам Прайса, задача философов состоит в том, чтобы проследить, что физики не игнорируют новые и перспективные пути мышления, ошибочно принимая их за философские ловушки для глупцов. Высказывая это убеждение, Прайс просто повторяет слова Бертрана Рассела, который давным-давно в своем президентском послании к Аристотелевскому обществу в 1912 году («О понятии причины») заявил: «Закон причинности, я полагаю, как и многое из того, что принято среди философов, является

пережитком ушедшей эпохи, выживающим, как монархия, только потому, что по ошибке в ее существовании не находят вреда». И я думаю, что Нерлих был прав, когда закончил свою статью словами: «Понятие причины бессильно решить проблемы, связанные с понятием времени. Фундаментальные законы физики представляют наше самое тщательное, наиболее устоявшееся и самое сложное понимание времени. Общеизвестно, что ничто в этих законах не поддерживает идею течения времени или направления, которое является основополагающим для нашего представления о нем. Эти законы не являются причинно-следственными (в смысле выделения причин), даже если они детерминированы. Понятие причины не является фундаментальным и не может осветить темные углы в закоулках фундаментальной концепции времени».

## 2.5. Время и часы

Поиск часов для измерения времени явно имеет фундаментальное значение. Математик Эллис в 1974 году перешел от одной крайности к другой и вместо вселенских часов Милна и Миснера предложил микроскопические часы, основанные на «радикальном и далеко идущем соображении: изменение времени элементарной частицы – это изменение ее радиуса; время есть размер, а размер есть время; старое велико, а молодое мало или наоборот; время – всего лишь великая иллюзия». Никто, насколько мне известно, не последовал этому любопытному предложению, которое звучит так, будто бы Шалтай-Болтай разговаривает с Алисой. Тем не менее, как и во вселенских часах, именно изменения являются ключевым элементом микроскопических часов Эллиса.

Часы Милна/Миснера – странные часы по всем обычным стандартам; просто Вселенная не та вещь, которую мы обычно ассоциируем с часами. Предполагается, что часы работают с фиксированной равномерной скоростью, в то время как космические часы Милна/Миснера работают быстрее, когда мы движемся назад во времени, и медленнее, когда мы идем вперед. Конечно, чтобы говорить, что одни часы не работают с постоянной скоростью, необходимо иметь вторые часы, которые работают с постоянной скоростью, которую мы можем использовать в качестве стандарта для сравнения. Но как мы узнаем, что эти главные часы действительно работают с постоянной скоростью? Нужны ли нам третьи, суперглавные часы (а затем и четвертые, и ...)? Неужели мы здесь сталкиваемся с ужасом бесконечного регресса? Ответы на эти вопросы почти парадоксальны. Специальная теория относительности говорит нам, что время *не* всегда движется с одной и той же скоростью, и эта же теория говорит нам, что достаточно всего одних часов, потому что все часы связаны по времени.

Самыми первыми часами для измерения хода времени – в отличие от простого отсчета дней по чередованию ночи и дня, а лет по циклическому сезону – были египетские солнечные часы, датируемые, по крайней мере,

периодом с 1500 до 2000 года до нашей эры и почти наверняка появившиеся намного раньше. Развитие часов не останавливалось, хотя и происходило рывками, и ко времени Ньютона морские хронометры были достаточно точными, чтобы сделать возможной навигацию по всему миру. К девятнадцатому веку часы с пружинами и шестеренками обладали удивительной точностью (погрешность составляла всего одну секунду в год), и дальнейшие достижения стали продуктом технологии двадцатого века. Изобретение электронных кварцевых часов повысило точность до одной секунды за десятилетия, а современные атомные часы достигли почти непостижимой точности и накапливают погрешность в одну секунду за сто веков.

Однако для нашей книги наибольший интерес представляют часы, которые никогда не были построены, – *фотонные часы*. Чтобы понять, как устроены эти часы, представьте себе два параллельных зеркала с «маятником света» – фотоном, который бесконечно отражается взад и вперед, причем каждая пара отскоков представляет собой один «тик-так» часов. Идея фотонных часов существует в физике уже более полувека. Эти часы важны, потому что, как показано в разделе 3.8, они позволяют нам вывести (используя только элементарную алгебру) главный результат специальной теории относительности: заключение, что наше время не является абсолютным временем Ньютона (см. раздел 3.4), а на самом деле это относительное время Эйнштейна, которое зависит от пространственного положения наблюдателя относительно часов. Это смешение пространства и времени было одним из величайших научных открытий во всей истории человечества, но из теории относительности выведено большое количество других удивительных идей. Мы продолжим разговор о них в следующих двух разделах.

## 2.6. Гиперпространство и червоточины

Идея четвертого измерения пространства многими воспринимается как несуразная чушь. В своем президентском обращении 1897 года к Американскому математическому обществу Саймон Ньюкомб заявил: «На введении в математику того, что сейчас повсеместно называется гиперпространством, особенно пространством более трех измерений, споткнулся не один талантливый философ». Эйнштейн (1961) позже сформулировал проблему более прямо: «Человека, далекого от математики, пробирает дрожь, когда он слышит про “четырёхмерные” вещи, – ощущение, близкое к мыслям об оккультных явлениях».

Чтобы понять, насколько прав был Эйнштейн в своих наблюдениях, рассмотрим реакцию одного египетского философа (в 1929 году) на сочинения Эйнштейна: «Мы не сомневаемся, что никто не может этого понять (четвертое измерение), включая самого Эйнштейна. Непонятность этих предположений [общей теории относительности] обусловлена их природой. Они имеют дело с четвертым измерением ... и реальностью времени и пространства. Их можно описать только гипотезой математика или религиозной ве-

рой». Эту реакцию легко понять – в конце концов, любой может «увидеть», что существует ровно три пространственных измерения, и это так!

Что такое гиперпространство? Это пространство более высокого измерения, чем то, в котором мы, очевидно, живем. Как вы увидите позже, наша вселенная может быть представлена в виде четырехмерного (три пространственных измерения и одно временное) мира, называемого пространством-временем. Этот четырехмерный мир, по крайней мере математически, можно представить как границу или поверхность пятимерного гиперпространства. Это аналогично тому, как одномерная замкнутая плоская кривая ограничивает ее двумерное внутреннее пространство, и тому, как двумерное пространство поверхности сферы ограничивает трехмерное пространство самой сферы.

У гиперпространства есть интересные геометрические представления. Например, для существ, проживающих на поверхности сферы, есть *два* пути перемещения от одного полюса к другому: обычный путь на поверхности сферы и гиперпространственный путь, который проходит *сквозь* сферу вдоль полярного диаметра. В образах, порожденных представлением о сфере как о яблоке и о гиперпространственном пути как туннеле через яблоко, стало популярным называть все такие туннели через любое гиперпространство любого измерения *червоточинами*.

Общая теория относительности предсказывает существование таких червоточин в пространстве-времени, но фактически они были впервые «теоретически» открыты в математике относительности еще в 1916 году венским физиком Людвигом Фламмом. Более поздние исследования были сделаны самим Эйнштейном. Коэн рассматривает червоточины как возможную модель для пульсаров, в отличие от более привычной модели пульсаров как вращающихся нейтронных звезд. Ори представил теоретические рассуждения, из которых следует, что внутренняя часть заряженной черной дыры может быть входом в червоточину. Все эти различные решения уравнений поля в литературе по физике часто упоминают под общим названием «мост Эйнштейна–Розена» (Натан Розен был соавтором Эйнштейна в статье 1935 года).

Термин «червоточина» (или «кротовая нора») был придуман в 1950-х годах Джоном Уилером, который использовал червоточины, чтобы показать, как электрический заряд можно представить в виде силовых линий, запертых в изменяющейся топологии многосвязного пустого пространства. (Действительно, Уилер утверждал, что наблюдение того, что мы называем электричеством, является экспериментальным доказательством более сложного устройства пространства.) Я даже встречал поэтические эпитеты, именующие червоточины «туннелями метро пространства-времени»! Чтобы узнать больше о червоточинах и их связи с путешествиями во времени, прочитайте раздел 6.3.

На что же тогда похоже гиперпространство? Обычный прием визуализации понятия гиперпространства состоит в том, чтобы представить начало и конец путешествия в виде точек А и В на двумерной поверхности листа бумаги. Затем представьте, что бумагу сложили так, чтобы расположить А над

В, возможно, когда А почти соприкасается с В. Расстояние от А до В через гиперпространство (трехмерное пространство, в котором была выполнена операция складывания) может быть явно меньше, чем это расстояние в «нормальном» пространстве (расстояние, пройденное на поверхности бумаги). В случае сферического мира сразу становится очевидным, что путь через гиперпространство или червоточину всегда будет короче, чем по поверхности. Даже с пониманием «более короткого пути» путешествие в гиперпространстве не может быть тривиальной задачей. Как вы увидите дальше, мгновенное путешествие через гиперпространство связано с перемещением во времени назад, и оттого возникают серьезные проблемы с причинностью.

В следующих двух разделах этой книги я подробно расскажу про различные свойства гиперпространства.

## 2.7. Пространство как четвертое измерение

Идее четвертого пространственного измерения, хотя ее история восходит к девятнадцатому веку, предшествуют многочисленные академические размышления и комментарии. В самом деле, один ученый, исследовавший историю концепции гиперпространства, Борк, обнаружил, что к 1911 году насчитывалось не менее 1800 работ по  $n$ -мерной геометрии, три четверти из которых были написаны до 1900 года!

Но действительно ли могут существовать четыре пространственных измерения? Ведь у нас только три независимых направления. Успенский говорил (1981): «Под *независимым направлением* мы подразумеваем ... линию, лежащую под прямым углом к другой линии. Наша геометрия ... знает *только три* такие линии, которые лежат одновременно под прямым углом друг к другу и не параллельны друг другу. Почему их всего три, а не десять или пятнадцать? Этого мы не знаем». Действительно, еще в беседе с Философским обществом Вашингтона в 1888 году Саймон Ньюкомб отверг мнение, что пространство обязательно должно быть трехмерным как «старое метафизическое суеверие». Тем не менее, несмотря на свободомыслие Ньюкомба, было показано, что в рамках классической физики есть несколько веских причин, почему должно существовать ровно три пространственных измерения.

Можно подумать, что трехмерность пространства «очевидна», потому что мы используем три числа, чтобы определить местоположение в пространстве. Например, в лекции по радио в 1938 году польский физик Леопольд Инфельд (в то время коллега Эйнштейна в Институте перспективных исследований) подробно рассказал про счисление координат, чтобы дать популярное объяснение четырехмерности пространства-времени. Однако счисление координат для определения размерности имеет недостатки; в 1878 году Георг Кантор показал, как установить (прерывистое) взаимно однозначное отображение между точками одномерного пространства (например, отрезком) и точками двумерного пространства (например, квадратом). В 1890 году взорвалась еще более мощная математическая бомба,

когда Джузеппе Пеано открыл непрерывную одномерную кривую, проходящую через *каждую* точку квадрата. То есть Пеано показал, как одномерная кривая может *заполнить* двумерное пространство. В каком мире лежат эти точки – в двухмерном или одномерном? Счисление координат, по крайней мере здесь, не помогает определить размерность. Начало научного объяснения размерности пространства появляется у Канта, который полагал, что *три* измерения пространства и закон обратных квадратов Ньютона для гравитации переплетены, но он не предложил ничего, кроме философских предположений, в поддержку своего убеждения.

Происхождение взглядов Канта уходит в древность. Историки придерживаются общего мнения, что греческий астроном второго столетия нашей эры Птолемей в своем эссе приводил доводы в пользу невозможности более трех пространственных измерений, но это эссе не пережило падение Римской империи, поэтому мы не знаем, какие аргументы он привел, чтобы прийти к такому выводу. На самом деле за много веков до Птолемея древние греки уже начали подозревать, что в третьем измерении есть что-то особенное. Они знали о бесконечности правильных двумерных многоугольников и знали, что в трех измерениях возможны только пять правильных многогранников (так называемые платоновы тела). Однако вместо того, чтобы искать физические причины, эти ранние исследователи ограничились только философскими рассуждениями и мистикой. Лишь намного позже в дискуссиях о размерности пространства начала фигурировать физика.

Начиная с работы Пола Эренфеста в 1917 году мы можем найти идею о том, что уравнение Пуассона–Лапласа – уравнение в частных производных второго порядка, описывающее потенциальные функции как для ньютоновской гравитации, так и для электростатики, – не допускает существования устойчивых планетарных или электронных орбит в любом пространстве с размерностью больше трех. Кроме того, неискаженное распространение электромагнитных и звуковых волн без реверберации возможно только в пространствах с размерностью один и три. Было показано, что эти выводы верны, даже когда мы переходим от классической физики к общей теории относительности и квантовой механике. На еще более абстрактном уровне, *если* мы верим в существование единой теории гравитационного поля и электромагнетизма и считаем, что уравнения Максвелла и Эйнштейна правильно описывают электромагнитное поле и пространство-время, соответственно, *тогда* только в четырехмерном мире эти уравнения математически определяют свои поля одинаково справедливо. Поскольку время является одним из этих измерений, мы снова вернулись к трем измерениям пространства.

Используя немного другой подход, некоторые ученые выдвинули биологически-топологический аргумент, почему пространство не может иметь менее трех измерений. Весь опыт нашего существования показывает, что сложная разумная жизнь представляет собой совокупность огромного числа элементарных клеток, соединенных проводящими нервными волокнами. Каждая клетка связана этими волокнами с несколькими другими клет-

ками, а не только с непосредственными соседями. Если бы пространство имело только одно или два измерения, то такие сложно взаимосвязанные сети клеток были бы невозможны, потому что перекрывающиеся нервные волокна должны были бы пересекаться, что привело бы к их взаимному короткому замыканию друг с другом.

Некоторые ученые девятнадцатого века, либо недостаточно осведомленные, либо желающие игнорировать все вышеперечисленное, связывали четвертое измерение со светоносным *эфиром*. Считалось, что этот таинственный материал по аналогии со всеми известными волновыми явлениями материи необходим для того, чтобы дать свету среду для распространения, особенно в вакууме. Например, Карл Пирсон из колледжа Лондонского университета предпринял попытку типичного викторианского объяснения различных оптических и химических явлений с помощью механической модели того, что он назвал «эфирной струей». Эта мысль была вдохновлена наблюдением лорда Кельвина о том, что при определенных условиях два источника несжимаемой жидкости будут притягивать друг друга с силой, пропорциональной обратному квадрату расстояния. Это явление внешне очень похоже на гравитационные и электромагнитные эффекты, поэтому казалось, что такие источники (и соответствующие поглотители) могут послужить механическим объяснением подобных эффектов.

Пирсон думал о светоносном эфире как о жидкости Кельвина (пульсирующие атомы были бы его источниками и поглотителями), и он представлял, как эфир течет в наш трехмерный мир и выходит из него через атомные порталы. Откуда же тогда истекает эфир, и куда он утекает? Пирсон осторожно намекнул на четвертое измерение: «Мы не можем сказать, откуда поток эфира попадает в трехмерное пространство; теория ограничивает нашу возможность познания физической вселенной существованием потока. Это может быть аргументом в пользу существования пространства более высоких измерений, чем наше, но об этом мы ничего не можем знать». Несколько лет спустя пришел полшутиливый ответ, где концепция эфирного потока названа «феерической трескотней», которая «подталкивает нас к предположению о четвертом измерении, относящемся скорее к области кошмаров, чем здравого рассудка, и мы пытаемся избавиться от этой идеи». Ну, кошмар или нет, но такие научные предположения о природе эфира и его возможном объяснении в терминах четырехмерного гиперпространства не были чем-то необычным в последние два десятилетия XIX века.

Фактически к переносу мыслей о четвертом измерении из академического сообщества в общественное сознание наиболее активно приложили руку две конкретные личности девятнадцатого века: математик Чарльз Ховард Хинтон (1853–1907) и писатель Герберт Джордж Уэллс (1866–1946). Хинтон был далеко не дилетант; он получил степень магистра в Оксфорде, работал на математическом факультете в Принстоне, а затем в Университете Миннесоты. Позже, с помощью выдающегося астронома Саймона Ньюкомба, он получил должность в Военно-морской обсерватории в Ва-

шингтоне и до самой смерти состоял в штате Патентного ведомства США. Хинтон был человеком, к которому нужно относиться серьезно.

Первое эссе Хинтона «Что такое четвертое измерение?» опубликовано сначала в 1880 году, а затем в 1884 году как часть его книги «Научные романы». Эта книга получила в целом благоприятный отзыв в академическом журнале *Nature*. Эссе о четырехмерном пространстве само по себе почти наверняка оказало влияние на читателей. Хинтон написал: «...мы могли бы предположить, что материя, которая, как мы знаем, распространяется в трех измерениях, также имеет небольшую толщину в четвертом измерении», – идея, которую использовал несколькими годами позже известный математик Роуз Болл в попытке объяснить гравитацию. Хинтон был чрезвычайно изобретателен и также предложил модели четырехмерного пространства для статического электричества.

Увлечение пространством, имеющим четвертое измерение, достигло своего апогея благодаря конкурсу эссе, организованному *Scientific American* в 1900 году. Главный приз в 500 долларов за лучшее описание четырехмерного пространства привлек 245 заявок со всего мира; самые лучшие из них были сохранены для нас Мэннингом. Конечно, эти эффектные идеи незамедлительно переключались в научную фантастику.

## 2.8. Время как четвертое измерение

В наши дни четвертым измерением принято считать время, а не пространство. Как и в случае пространственного толкования, трактовка четвертого измерения как времени является очень старой. Фактически эту идею можно проследить до конца восемнадцатого века, найдя упоминания в работах французских математических физиков д'Аламбера и Лагранжа ранее 1800 года. На самом деле Мейерсон (1985) даже цитирует отрывок 1751 года, написанный д'Аламбером, который, по-видимому, сам указывает на неизвестного человека: «Я сказал, [что] невозможно представить более трех измерений. Мой знакомый ученый, однако, считает, что продолжительность может рассматриваться как четвертое измерение и что продукт времени и материальности будет в некотором роде продуктом четырех измерений; эта идея может быть оспорена, но мне кажется, что она имеет некоторые достоинства, хотя бы новизну».

Тем не менее только в 1885 году в *Nature* появилось любопытное письмо, в котором концепция времени как четвертого измерения впервые серьезно упоминается в англоязычном научном журнале. Автор, загадочно подписавшийся единственной буквой S., начал с того, что написал: «Что такое четвертое измерение? ... Я предлагаю рассматривать Время как четвертое измерение... Поскольку это четвертое измерение не может быть введено в пространство в нашем понимании, для его существования нам необходим новый тип пространства, которое мы можем назвать пространством-временем». Кем был таинственный S.? Никто не знает, но профессор Борк предполагает, что это был знакомый Герберта Уэллса.



## 2.9. Пространство-время и четвертое измерение

Современный взгляд на реальность, состоящий в том, что прошлое, настоящее и будущее объединены в четырехмерную сущность, называемую *пространством-временем*, можно отнести к работе Германа Минковского (1864–1909), профессора математики у Эйнштейна, когда тот был студентом в Цюрихе. Минковский представил пространство-время миру во время знаменитого выступления на 80-м собрании немецких ученых-естествоиспытателей и врачей в Кельне 21 сентября 1908 года. Его доклад под названием «Пространство и время» тогда буквально излучал энергию и остается таким сегодня. Он начал с резких слов: «Господа! Взгляды на пространство и время, которые я хочу изложить перед вами, выросли из почвы экспериментальной физики, и в этом их сила. Они радикальны». Затем последовала знаменитая строка, процитированная во многих новаторских работах по физике и философских статьях, касающаяся пространства-времени: «Отныне пространство само по себе и время само по себе превратились в тени, и только своего рода смешение двух понятий продолжит существовать».

Минковский объяснил аудитории, что такое пространство-время, такими словами:

*Точка пространства в момент времени... Я буду называть ее точкой мира (world-point). Множество всех мыслимых наборов значений  $x$ ,  $y$ ,  $t$  мы будем называть миром. Этим своим замечательным куском мела я мог бы изобразить на доске четыре оси мира... Чтобы нигде не оставить зияющую пустоту, мы представим, что везде и всегда присутствует нечто вещественное. Чтобы не говорить «материя» или «электричество», я буду использовать для этого нечто слово «субстанция». Мы фиксируем наше внимание на субстанциальной точке, которая находится в мировой точке  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ,  $t$ , и представляем, что мы можем распознать эту субстанциальную точку в любое другое время. Пусть приращения  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  пространственных координат этой субстанциальной точки соответствуют элементу времени  $dt$ . Таким образом, мы получаем некий рисунок, так сказать, вечную траекторию материальной точки, кривую в мире, мировую линию... Вся Вселенная представляется мне состоящей из подобных мировых линий, и я хочу забежать вперед, сказав, что, по моему мнению, физические законы наиболее совершенным образом можно выразить как отношения между этими мировыми линиями... Таким образом, трехмерная геометрия превращается в раздел четырехмерной физики [мой курсив].*

Но не все поняли Минковского. В малоизвестном, но достаточно глубоком эссе, опубликованном после первой экспериментальной проверки общей теории относительности (изгиба траектории звездного света, проходящего через гравитационное поле Солнца), анонимный автор, подписанный только загадочными инициалами W. G., предложил визуальную аналогию, чтобы помочь тем, кто считает относительность просто «математической шуткой»:

«Около тридцати или более лет назад д-р Эдвин Эбботт написал небольшую книгу, озаглавленную Flatland («Плоскоземье»)… Доктор Эбботт изображает разумных существ, весь опыт которых ограничен плоскостью или другим двумерным пространством, не обладающих способностями осознать что-либо за пределами этого пространства и средствами, позволяющими покинуть поверхность, на которой они живут. Затем он просит читателя, обладающего пониманием третьего измерения, представить себе сферу, спускающуюся на плоскость Плоскоземья и проходящую через нее. Как жители будут воспринимать это явление? Они не увидят приближающуюся сферу и не будут иметь понятия о ее объемности. Они будут осознавать только круг, образованный пересечением сферы и плоскости. Этот круг вначале будет постепенно увеличиваться в диаметре, вытесняя жителей Плоскоземья наружу от его краев, и это будет продолжаться до тех пор, пока половина сферы не пройдет через плоскость, и круг постепенно сузится до точки, а затем исчезнет, оставляя плоскоземцев спокойно владеть своей страной… Их осязаемый опыт будет представлять собой круговое препятствие, которое постепенно расширяется или растет, а затем сжимается, и они приписывают росту во времени то, что внешний трехмерный наблюдатель приписывает движению в третьем измерении. Спроецируйте эту аналогию на движение четвертого измерения через трехмерное пространство. Предположим, что прошлое и будущее Вселенной изображены в четырехмерном пространстве и видны любому существу, обладающему сознанием четвертого измерения. Если есть движение нашего трехмерного пространства относительно четвертого измерения, то все изменения, которые мы испытываем и приписываем потоку времени, будут вызваны просто этим движением, всем будущим, а также прошлым, существующим в четвертом измерении [мой курсив – П. Н.]».

Слова W. G. являются четким и недвусмысленным описанием так называемой концепции *блочной вселенной* четырехмерного пространства-времени, реальности, существующей раз и навсегда. Конечно, концепцию *блочной вселенной* можно найти и в трудах древних. Возьмем, к примеру, мнение греческого философа Парменида о реальности: «Она не создаваема и не разрушаема; ибо она полна, неподвижна и бесконечна. Нет будущего, и нет прошлого; есть только *непрерывное сейчас*». А в «Компендиуме теологий» Фомы Аквинского, написанном в тринадцатом веке, мы находим: «Мы можем полагать, что Бог постигает время в своем вечном существовании, как человек, стоящий на вершине сторожевой башни, одним взглядом охватывает целый караван проходящих мимо путешественников». Это тоже идея *блочной вселенной*, но для Парменида это была метафизика, для Аквинского – богословие, для Эйнштейна и Минковского – физика.

Концепция *блочной вселенной* может объяснить загадочное высказывание, сделанное Эйнштейном после смерти Микеле Бессо (я процитировал его в начале этой главы). Как замечательно выразились Хорвиц, Аршанский и Элицур (1988):

*«Вероятно, взгляд Эйнштейна на жизнь индивида был следующим: если разница между прошлым, настоящим и будущим является иллюзией, то есть четырехмерное пространство-время является «блочной вселенной» без движения или изменения, то каждый индивид – это совокупность бесчисленных “я”, распределенных по его истории, причем каждое происшествие сохраняется на мировой линии, бесконечно переживая конкретное событие этого момента [мой курсив]. Каждый из этих ментальных людей ... будет обладать памятью о предыдущих и, следовательно, будет считать себя идентичным с ними; и все же они все будут существовать отдельно, как отдельные кадры в фильме. Если поставить таким образом прошлое, настоящее и будущее в один ряд, это разрушает представление о единстве “я”, что делает его просто иллюзией».*

По его словам, Эйнштейн действительно согласился с концепцией блочной вселенной и пытался дать семье Бессо повод полагать, что Мишель все еще живет «когда-нибудь». Однако есть дополнительное (и для некоторых, возможно, довольно ужасное) логическое следствие из того, что если Мишель все еще живет, то есть и другие Мишели, все еще умирающие, жуткое ощущение, которое Эйнштейн определенно не хотел передать.

Считается, что термин «блочная вселенная» появился у оксфордского философа Фрэнсиса Герберта Брэдли (1846–1924), который в своих «Принципах логики» 1883 года писал: «Вообразите, что мы сидим в лодке и несемся вниз по течению времени и что на берегу есть ряд домов с номерами на дверях. И мы выходим из лодки и стучим в дверь с номером 19, и, снова усевшись в лодку, внезапно оказываемся напротив номера 20, и затем, сделав то же самое, мы доберемся до номера 21. И все это время твердый фиксированный ряд прошлого и будущего тянется в блоке [мой курсив – П. Н.] позади нас и перед нами». Видимо, номера домов – это способ Брэдли сослаться на века. Обратите внимание, что он написал эти слова за двенадцать лет до «Машины времени» и что они опередили Минковского на четверть века.

Впрочем, происхождение блочной вселенной может быть не таким очевидным, как я это изобразил. Брэдли, которого часто критиковал гарвардский психолог Уильям Джеймс (Джеймс был сторонником свободной воли и индетерминизма, понятий, запрещенных в блочной вселенной), возможно, насмеялся над идеей Джеймса, высказанной во время обращения к студентам Гарвардской школы богословия в марте 1884 г. («Дилемма детерминизма»). В тот раз, спустя год после публикации книги Брэдли, Джеймс говорил о детерминированном мире как о «твердом» или «железном блоке». (В примечании 29 я пояснил, почему я думаю, что Джеймс выступал против фатализма.) Однако в апрельском выпуске журнала *Mind* 1882 года, за год до книги Брэдли, Джеймс с явной неприязнью написал о «вселенной Гегеля – абсолютном блоке» [мой курсив – П. Н.], чьи части не имеют свободы действий», как имеющие «кислород возможностей задыхаются от отсутствия легких» и в которой «не может быть ни хорошего, ни плохого,

но [только] один мертвый уровень простой судьбы». Таким образом, возможно, цепь эволюции термина «блочная вселенная» на самом деле идет от Гегеля к Джеймсу, а затем, наконец, к Брэдли.

*Математическая* составляющая пространства-времени в физике имеет гораздо более ясное происхождение: она происходит именно от Минковского, а не от Брэдли или Эйнштейна (которому часто приписывают это, хотя он не использовал данную концепцию в специальной теории относительности тремя годами ранее, в 1905 году). В конце концов, однако, Эйнштейн действительно оценил силу и концептуальную красоту четырехмерного пространства-времени, и оно стало играть центральную роль в его представлениях о гравитации. Действительно, в общей теории относительности Эйнштейна гравитация – это искривленное пространство-время. Труды Минковского стали отправной точкой для общей теории относительности, однако, как говорит Риндлер, именно Минковский заслуживает звания «отца четвертого измерения». Диаграммы пространства-времени, которые являются основным концептуальным инструментом для обсуждения путешествий во времени, часто называют *диаграммами Минковского*.

Конечно, верно, что физика Ньютона также свидетельствует об аналитическом (а не просто философском) подходе к вопросу пространства и времени задолго до Минковского и Эйнштейна, но ньютоновское пространство-время сильно отличается от самостоятельного «радикального» взгляда Минковского. С точки зрения Ньютона, существует универсальное время, *космическое* время, которое является одинаковым для всех, везде во вселенной. В каждый момент существует космическая одновременность – Хокинг в 1968 году дал точное определение космического времени и того, как оно требует, чтобы путешествие во времени в прошлое было невозможно. Пространство Ньютона евклидово; то есть параллельные прямые никогда не встречаются, через любую точку, внешнюю к прямой, может быть построена ровно одна параллельная линия, все треугольники (независимо от их формы) имеют сумму внутренних углов  $180^\circ$  и так далее. Для Ньютона пространство и время были абсолютно и однозначно разделены. Они были, как говорят философы, «отдельными личностями». Минковский все это изменил. Для Минковского пространство и время только относительно делимы, и разделение отличается для наблюдателей в относительном движении. Для Ньютона пространство и время являются *фоном*, в котором развиваются физические процессы в мире. Для Минковского пространство-время – это и есть *мир*.

Профессор физики из Принстона Джон Уилер поддержал взгляд Минковского на единство пространства-времени как конечного строительного элемента реальности: «В мире нет ничего, кроме пустого искривленного пространства. Материя, заряд, электромагнетизм ... являются лишь проявлениями изгиба пространства. Физика – это геометрия».

Я должен сказать вам сейчас, что, несмотря на восторженное принятие блочной вселенной философами и физиками (включая Эйнштейна), есть те, кто резко критиковал пространство-время Минковского. Основная фило-

софская проблема интерпретации четырехмерного пространства-времени в блочной вселенной заключается в том, что она выглядит как фатализм, замаскированный под физику. Похоже, это математическое доказательство отрицания свободы воли, одетое в геометрию.

Райхенбах рассказывает очаровательную историю, которая наглядно демонстрирует острую потребность многих людей отрицать фатализм мира.

*В кинофильме «Ромео и Джульетта» была показана драматическая сцена, в которой Джульетта, казалось бы, мертвая, лежит в гробнице, а Ромео, полагая, что она мертва, подносит к губам чашу с ядом. В этот момент из зала раздался крик: «Не делай этого!» Мы смеемся над человеком, который ... забыл, что течение фильма нереально, это просто прокручивание узора, отпечатанного на ленте фильма. Разве мы умнее этого человека, когда считаем, что течение нашей реальной жизни происходит иначе? Является ли настоящее чем-то большим, чем наше наблюдение за предопределенной схемой событий, разворачивающихся как лента фильма?*

Большинство людей в западном мире ответили бы «да» на вопрос Райхенбаха. Большинство таких людей считают «Рубайят» Омара Хайяма прекрасной поэмой, но тем не менее отвергают ее фаталистическое послание: «И первое Утро Творения написало, что прочтет Последний Рассвет скончания дней». Уильям Джеймс цитировал эти слова в своем обращении 1884 года к студентам Гарвардской школы богословия, когда выступал против фатализма и блочной вселенной.

Столь же недовольным блочной вселенной был Герберт Дингл, который в своей последней книге перед смертью заявил, что «именно Минковскому мы обязаны идеей “пространства-времени” как объективной реальности – которая, возможно, является главным виновником превращения целого субъекта [теории относительности] из основ понятной физики в рай (или ад) метафизики, где она вместо объекта интеллектуального исследования стала идолом, которому нужно слепо поклоняться... Говоря по сути, работа Минковского является разновидностью чистой математики как таковой, чрезвычайно изящной и достойной восхищения, но поскольку она призвана внести свой вклад в физику, то стала сущим бедствием».

Помимо фатализма, еще одна причина едких слов критиков состоит в том, что в пространстве-времени Минковского кажется, что события не *происходят* – они просто *есть*; то есть в пространстве-времени Минковского нет процесса *свершения* событий. Все уже есть, и когда происходит то, что мы воспринимаем как течение времени, мы просто осознаем все больше «точек мира» Минковского, или событий, лежащих на наших индивидуальных мировых линиях. Герман Вейль (1885–1955), немецкий математический физик, который в последние годы был коллегой Эйнштейна и Гёделя в Институте перспективных исследований в Принстоне, выразил эту концепцию в словах, которые стали знаменитыми: «Объективный мир просто *есть*, он не *происходит*. Только взору моего сознания, ползущему вверх по линии

жизни моего тела [мировой линии Минковского], часть мира открывается как мимолетное изображение в пространстве, которое непрерывно изменяется во времени [создавая то, что мы называем *сейчас* или *настоящее*].

Вейль умел находить поэтические способы выразить мировоззренческий взгляд на реальность, но поэзия убеждает не всех, потому что она, очевидно, отрицает здравый смысл идеи «утекающего времени» и хода событий; она фактически говорит о том, что время зависит от разума, что это просто иллюзия. Философы Смарт и Макс Блэк отнюдь не испытывали симпатий к Вейлю по этому вопросу. Исходя из собственных слов Вейля о том, что четырехмерное пространство-время не зависит от времени, профессор Смарт писал: «В представлении Минковского мы не должны говорить об изменении или неизменении наших четырехмерных сущностей. Такого рода ошибки часто допускаются при изложении относительности. Мы нередко читаем о световых сигналах, передаваемых из одной точки пространства Минковского в другую. Это может привести к метафизическому заблуждению, такому как сознание, ползающее по мировым линиям».

Блэк был еще более жесток в своем возражении против Вейля. Как он недвусмысленно писал, «эта картина блочной вселенной, состоящей из вневременной паутины “мировых линий” в четырехмерном пространстве, как бы сильно ни настаивала теория относительности, относится только к необоснованной метафизике». Другой философ, Мандл, предложил выйти за рамки узких терминов, выдвинув захватывающее предположение о том, что действительно может означать описание четырехмерного пространства-времени по Вейлю. В критическом ответе Смарту Мандл заявляет: «Если физический мир задуман как четырехмерное многообразие, то, как признает Смарт, для физической вещи, четырехмерного твердого тела логически невозможно двигаться или иным образом изменяться... Так как Смарт воспринимает физический мир и его содержимое как неизменные [как должно быть], состояния нашего сознания меняются, когда мы последовательно осознаем смежные сечения четырехмерного многообразия [которое осознает “ползание” Вейля]. Но это имеет смысл, только если мы, наблюдатели, обитаем *не* в пространстве-времени».

То есть наш сознательный разум каким-то образом должен существовать на уровне, превосходящем то, о чем может рассказать физика. Это, конечно, весьма радикальный взгляд, который не пользуется большой поддержкой среди ученых. Мандл пояснил, что он просто мыслит иначе, чем Смарт, когда дело касается науки; он писал, что «Смарт, похоже, целиком подчиняется физике» и что «мы не должны быть ослеплены наукой». Шерлок Холмс, без сомнения, ответил бы на это своим любимым: «Какое необычное утверждение».

На самом деле блочную вселенную можно найти в художественной литературе до Минковского. В рассказе 1875 года «Истинная история пророчества Бернарда Поланда» (Эгглстон), например, мы читаем о человеке, который видит свою смерть в будущей Гражданской войне в Америке. Бернارد беседует со своим неназванным другом, рассказчиком.

– Знаешь ли, – сказал *Бернард*, – в последнее время я часто думаю, что пророчество не такая уж странная вещь... Я действительно не вижу причин, по которым любой серьезный человек не может время от времени предвидеть будущее...

– Я несколько не сомневаюсь, – ответил я, – что будущих событий еще не существует, и мы не можем знать то, чего нет, хотя иногда мы можем догадываться об этом...

– Твой аргумент хорош, да только я думаю, ты ошибаешься в предпосылках, – ответил мой друг, глядя на меня своими грустновато-восторженными глазами.

– В чем именно? – удивился я.

– Видишь ли, я не согласен с твоим предположением о том, что будущие события еще не существуют... Прошлое и будущее – это только периоды времени, и они вообще не относятся к вечности... Для нас понятия прошлого и будущего имеют смысл только относительно других событий. Но существуют ли в действительности такие вещи, как прошлое или будущее? Если существует вечность, значит, она есть сейчас, и всегда была, и всегда должна быть. Но время – это просто заблуждение... Поэтому для пребывающего в вечности все, что было или должно быть, уже есть сейчас [*мой курсив*].

Также обратите внимание на речь Путешественника во времени Уэллса на судьбоносной вечеринке, описание которой открывает роман. «Нет разницы между временем и любым из трех измерений пространства, за исключением того, что наше сознание движется вдоль него ... вот портрет восьмилетнего мальчика, вот ему исполнилось 15, затем 17 и так далее. Все это, очевидно, как бы вежи, трехмерные представления его четырехмерной сущности, которая является постоянной и неизменной [*мой курсив* – П. Н.]». Обратите внимание, что эти слова были написаны в 1895 году, за тринадцать лет до Минковского и его мировых линий и, конечно, за десятилетия до знаменитых слов Вейля, приведенных ранее в этом разделе!

## 2.10. Пространство-время, всеведение и свободная воля

Некоторые богословские представления о всеведении Бога, упомянутые в «Сумме теологии» Фомы Аквинского, по-видимому, подтверждаются пространством-временем Минковского. Аквинский писал: «Когда случайные события последовательно появляются в реальном существовании, Бог познает их не последовательно, как это свойственно нам, но все сразу; потому что его знание измеряется вечностью, как и его существование; и вечность, которая существует как единое целое, заполняет собой все время... Следовательно, все, что происходит во времени, вечно присутствует для Бога». Однако, как это ни парадоксально, Аквинский сделал различие между прошлым и будущим, потому что в этой же работе он заявляет, что «Бог может заставить ангела не существовать в будущем, хотя он не может заставить его

перестать существовать в прошлом». Следовательно, для Аквинского прошлое жестко и неизменно, а будущее пластично, и это не характерно для взгляда на реальность с точки зрения блочной вселенной.

Проблема вечности Бога и его отношения к пространству-времени до сих пор является горячей темой среди богословов, обладающих склонностью к науке. Например, практически каждый выпуск научного журнала *Religious Studies* содержит статью на эту тему, в которой часто используется теория относительности, чтобы обосновать некоторые аргументы. Забавно, что сама Библия содержит изрядную путаницу в таких вопросах. Например, возьмем ветхозаветную историю царя Ахава (Третья книга Царств, глава 21). Ахаву понравился виноградник Навуфея, но тот отказался его продать. Царь Ахав отступил, но его жена Иезавель оклеветала Навуфея и подстроила неправомерную казнь, дабы все его имущество оказалось в руках ее мужа. Это разозлило Бога, который повелел пророку Илии предсказать бедствие в доме Ахава. Тогда испуганный Ахав впал в покаяние, и Богу пришлось перенести предсказанную катастрофу в дом сына Ахава, что вызывает сомнения по поводу доброжелательности Бога, но это уже другая история.

Бог действительно знает обо всем в этой библейской истории, но только в том порядке, как это происходит; то есть знание Бога подвержено развиту. И поэтому мы видим, что древнееврейское представление о Боге как об участнике истории крайне противоречит современной христианской концепции о том, что божественное знание Бога – это все, что было, что есть и что будет. И прежде чем оставить эту тему, я должен упомянуть, что современный взгляд на божественную вечность также имеет библейскую поддержку. Например, «ибо Я – Господь, Я не изменяюсь» (Малахия 3:6) и «Отец... у Которого нет изменения и ни тени перемены» (Иаков 1:17).

Однако после открытия Эйнштейном *относительности одновременности* (см. раздел 3.3), похоже, возникает проблема с тем, как могут существовать божественные знания любого рода в релятивистском четырехмерном пространстве-времени. В некоторых системах отсчета событие А наблюдается до события В, тогда как в других системах отсчета временной порядок меняется на противоположный (этот момент обсуждается в конце данного раздела). Если Бог должен активно участвовать в человеческих делах, то какова его точка отсчета? Есть ли у Бога особая точка отсчета, в которой он неуязвим для относительности одновременности и в которой он устанавливает абсолютный порядок последовательности наступления событий? Имеет ли смысл говорить, что Бог наслаждается тем, что можно назвать «божественной вневременностью»? Что мы должны думать о Боге, который следует правилам, отличным от тех, которые он прописал всем остальным? Теологи вздохнули и обсуждали эти вопросы на протяжении десятилетий, тогда как физики (включая Эйнштейна) не обратили на это внимания, не впечатлились или просто не заинтересовались.

Но, может быть, напрасно они были столь равнодушны к вопросу относительности одновременности и предопределенности? Возьмем, к примеру,



интересный пример Райхенбаха, представленный с точки зрения путешественника во времени в прошлое:

*Рассмотрим следующую ситуацию. Парсонс (P) изобрел специальную машину, которая позволяет ему вернуться в прошлое. Он входит в машину в 1986 году и оказывается в присутствии или, что лучше, наблюдает за Квигли (K) в 1876 году. P имеет достоверный источник знаний про K и точно знает, в какой ситуации находится K. Кроме того, P помнит, что он читал о конкретном решении или действии, которое K принял в этой ситуации. Таким образом, можно утверждать, что с точки зрения P решение K уже predetermined. Но это еще не свершилось, так как P стоит там, ожидая, пока K выполнит действие. Он вернулся во времени. Тем не менее, с точки зрения P, который является одним из тех, кто вернулся из будущего, это как будто уже сделано, поскольку он знает, что предпримет K. Поскольку P твердо верит в неизменность прошлого, K не в силах сделать что-то, кроме того что K фактически делает в этой ситуации. С точки зрения K, его решение еще не принято, и не предпринято никаких действий, так что в то время он может сделать x или y. С его точки зрения, то, что он будет делать x, а не y, является неопределенным; это еще не сделано, хотя в то же время он может допустить, что P знает, что он сделает, потому что для него это выглядит так, как если бы K уже сделал выбор.*

Один из возможных ответов, по крайней мере на некоторые из только что упомянутых проблем, можно найти в статье, написанной философом и двумя математиками – Беннетом и соавторами (1949): она описывает теорию единого пятимерного поля, в которой пятое измерение изначально получает провокационный ярлык оси «вечности». Но затем авторы потеряли самообладание и быстро решили переименовать его в «антивремя». Теологическая интерпретация этой теории дана у Стромберга (1961). Любопытно отметить, что научная фантастика предвосхитила эту терминологию на десятилетия; в 1932 году в рассказе Эшбаха «Завоеватель времени» один персонаж говорит: «За пределами четвертого есть пятое измерение... Наверное, вы бы назвали его Вечностью. Это линия, направленная перпендикулярно времени».

До Минковского споры о фатализме и свободной воле были исключительной прерогативой философов, теологов и юристов (если человек не властен над своими поступками, то имеем ли мы моральное и этическое право наказывать человека, чьи действия окажутся преступными?). После Минковского и его пространства-времени к дискуссиям присоединились физики (по крайней мере, несколько из них). Согласно Уильямсу, основная мотивация этих дебатов заключается в «вековом страхе, что предвидение Богом нашей судьбы само по себе может навязать нам судьбу». Смысл, конечно, в том, что Бог «вне времени» и поэтому может увидеть всю блочную вселенную Минковского с одного взгляда (отсюда и его предвидение).

Многим кажется, что релятивистский взгляд на вселенную как на бесконечное четырехмерное пространство-время дает научное, математическое

обоснование выводу, что зафиксировано не только прошлое, но и будущее. Означает ли это, что будущее есть то, каким оно будет, и если да, то зачем беспокоиться о многих кажущихся решениях, с которыми каждый из нас сталкивается каждый день? Если ответ «да», и будущее будет таким, каким оно предопределено, тогда у христианских богословов остается головоломная задача объяснить, что может означать библейский призыв (Второзаконие 30:19): «Во свидетели пред вами призываю сегодня небо и землю: жизнь и смерть предложил я тебе, благословение и проклятие. *Избери* [мой курсив – П. Н.] жизнь, дабы жил ты и потомство твое».

Эта проблема беспокоила философов в течение очень долгого времени. Так называемый *мастер-аргумент*, или «аргумент аргументов» (название отражает его предполагаемую неуязвимость к опровержению), например, родился в древние дохристианские времена, в дискурсах философа первого века нашей эры римского стоика Эпиктета. Этот аргумент может быть обобщен следующим образом:

1. Будущее следует из прошлого.
2. Прошлое неизменно.
3. То, что следует из неизменного, неизменно.
4. Следовательно,
5. Будущее неизменно.

Исторический спор о всеведении и его иногда удивительных последствиях получил новый поворот в 1960 году с очередной загадкой, на этот раз от физика. В этом году Уильям Ньюкомб представил то, что с тех пор стало известным как «проблема Ньюкомба». (Десять лет спустя Ньюкомб стал соавтором не менее известной статьи о невозможности отправки информации в прошлое). Проблема Ньюкомба, для которой до сих пор не найдено решение, удовлетворяющее всех, выглядит следующим образом.

Перед вами две коробки; вы можете выбрать содержимое одной из коробок А или В, или вы можете выбрать содержимое обоих коробок. Коробка А прозрачная, и вы можете видеть, что в ней лежит тысяча долларов. Коробка В непрозрачная, но вам говорят, что она либо пуста, либо содержит 1 миллион долларов, в зависимости от того, предвидело ли всезнающее существо, что вы выберете обе коробки или что вы выберете одну коробку соответственно. Всезнание существа распространяется достаточно далеко во времени; то есть он положил свои деньги в коробки год назад. Как вы должны поступить?

Есть два подхода к решению проблемы. Первая группа мыслителей предлагает взять обе коробки, потому что тогда вы получите тысячу долларов в коробке А, а также все, что находится в коробке В. В конце концов, все, что находится в коробке В, было там в течение года, и будет глупо не взять это *сейчас*. Вторая группа мыслителей не соглашается, говоря, что первая группа игнорирует упомянутый в условии фактор всеведения. Если вы решите взять обе коробки, то всезнающее существо – предвидя ваше решение – ничего не положит в коробку В. Поэтому вы должны игнорировать надежную тысячу долларов в коробке А и «просто» взять безошибочный миллион дол-

ларов в коробке В, чтобы всеведущее существо положило его туда год назад, потому что оно знало, что вы будете делать сейчас! Какой вывод можно сделать из этих противоречивых аргументов?

Первая группа, конечно же, потрясена желанием второй группы отказаться от свободной воли. Я лично попадаю во вторую группу, потому что это проблема логики, и, поскольку проблема сформулирована, всеведение – это *данность*; я просто не вижу, в чем здесь проблема. Для меня трудность заключается не в отказе от свободной воли, а в допущении всеведения. Но это само собой разумеется, так что... Для многих это слишком простой ответ, и они продолжают ломать голову над проблемой. Брамс описывает всеведущее существо как просто *превосходящее* нас, но не сверхъестественное существо, зато Адерн откровенно воспринимает его как Бога. В 1989 году Шмидт представил то, что я считаю самым невероятным толкованием парадокса Ньюкомба в научной литературе. Чтобы «объяснить» всеведение, он представляет популяцию сверхмалых «гномов» из «тиниона» (материя, которую еще предстоит обнаружить, намного меньшая, чем «гигантион», из которого *мы* сделаны)! Эти гномы затем используют классическую физику, чтобы предсказать человеческие решения, которые будут приняты в будущем. Хотя это интересно читать, это просто философская сказка – литературный прием, о котором я скажу больше (ничего хорошего) в следующем разделе.

## 2.11. Наступило ли будущее? Остается ли с нами прошлое?

Начиная с 1951 года и с появлением работ Уильямса философы наконец-то углубились в физическую теорию относительности, и их следующие работы стали более изощренными. Например, Чапек в своей работе сравнил интерпретацию пространства-времени Минковского на основе блочной вселенной с гигантским холодильником. Обыгрывая заголовок Уильямса «Миф о переменчивости», Чапек перевернул идею с ног на голову и назвал концепцию Уильямса «мифом о замороженной переменчивости».

Чапек, по-видимому, был первым философом, который осознал тот факт, что временная последовательность потенциально причинных событий как в будущем, так и в прошлом одного наблюдателя инвариантна для любого другого наблюдателя, каким бы ни было движение этого второго наблюдателя. И только в *другом* месте, той области пространства-времени, которая не имеет причинно-следственной связи с *настоящим* наблюдателя, временной порядок может быть обращен вспять, как это видят некоторые другие наблюдатели, при условии что скорости ограничены скоростью света. Анализ этого вопроса представлен в разделе 3.10.

Спустя десять лет у Фицджеральда мы наконец видим, что идея о том, что относительная одновременность событий для наблюдателя существует только вне светового конуса этого наблюдателя, в *другом месте*, наконец, стала частью философской литературы, написанной философами.

Философский спор о реальности будущего затянулся на долгие годы. Например, в работе Земаха мы видим неспособность понять Харриса, Стейна и Чапека, потому что автор заключает: «Следовательно, бессмысленно говорить, что “прошлое” или “будущее” [не] не полностью реально; каждое событие-точка во Вселенной является прошлым по отношению к одним и будущим по отношению к другим; все одинаково реально». Для целей путешествий во времени, конечно, обязательно принять реальность прошлого и будущего, идею, которую Чапек решительно отверг, когда писал, что «к счастью, такие фантазии не имеют ни малейшего основания в физике относительности». Не понятно, почему Чапек использовал такое осуждающее слово *к счастью*, как будто в противном случае произошло бы что-то ужасное, но в любом случае не все философы отказываются принимать равную реальность прошлого и будущего. Например, в лице Смарта мы находим философа, который не отказывается от этой идеи, но также признает, что «очень трудно убедить тех, кто не является профессиональным философом, в том, что будущее реально». В качестве примера того, насколько абсурдным он считает неверие в существование будущего, Смарт просит нас «представить себе солдата в двадцать первом веке ... простуженного, несчастного и страдающего от дизентерии, и ему говорят, что некоторые философы двадцатого века (и не философы тоже) считали, что будущее не-реально. У него найдется несколько ласковых слов в ответ».

Даже если события во всей их бесконечной пространственной и временной паутине – то, что Голд называет «картой мира», – действительно упакованы в четырехмерную блочную вселенную, все еще остается великая загадка того, почему мы видим, как они разворачиваются именно в такую последовательность. Почему не в обратном порядке? Почему мы видим, что то, что мы называем временем, идет от того, что мы называем прошлым, к тому, что мы называем будущим, и что мы на самом деле подразумеваем под *прошлым* и *будущим*? Как вы увидите дальше, это непростые вопросы, и почти каждый, кто задумывался о них, считает, что мы еще даже близко не подошли к ответам.

На этой мрачной ноте уместно закончить главу еще несколькими словами из «Исповедей» святого Августина, словами, которые следовали за второй цитатой в начале этой главы:

*Признаюсь Тебе, Господь, что я до сих пор не знаю, что такое время. Однако я также признаюсь, что знаю, что говорю это вовремя, что я говорил о времени в течение длительного времени и что это долгое время не будет долгим, если учесть тот факт, что время будет длиться все время. Как я могу знать это, когда я не знаю, что такое время? Неужели я знаю, что такое время, но не знаю, как выразить то, что я знаю, в словах? Я в прискорбном положении, потому что даже не знаю, чего не знаю!*

*Аминь.*

## 2.12. Вопросы для самостоятельных размышлений

В тексте утверждается, что «если  $A$  и  $B$  взаимно причинны, то “ $A$  является причиной  $B$ ” в сочетании с “ $B$  является причиной  $A$ ”, по-видимому, приводит к “ $A$  есть причина  $A$ ”». Предположим, однако, что мы представляем себе две соединенные подводные емкости с водой,  $a$  и  $b$ , на одной и той же горизонтальной поверхности, причем каждая емкость заполнена до краев. При переполнении вода из одной емкости перетекает в другую. Теперь определите события  $A$  таким образом, что это переполнение емкости  $a$ , а  $B$  является переполнением емкости  $b$ . Таким образом,  $A$  является причиной  $B$ ,  $B$  является причиной  $A$ . Сделайте вывод, есть ли у « $A$  есть причина  $A$ » физический смысл в данном конкретном случае? Дайте подробное обоснование.

У Артура Кларка есть рассказ «Техническая ошибка», из которого мы узнаем, что вращение через четырехмерное пространство инвертировало «незадачливого Нельсона». Решение этой неловкой ситуации состоит в том, чтобы во второй раз повернуть Нельсона через четырехмерное пространство и таким образом вернуться к «нормальному Нельсону». Кларк, однако, пропустил важную техническую «деталь» в том, что при первом повороте через четырехмерное пространство все переворачивается, и таким образом материя становится антиматерией, и Нельсон мгновенно аннигилировал бы со 100%-ным превращением материи в энергию (т. е. повернутый Нельсон инициировал бы очень большой взрыв). Сравните это с беспокойством Алисы в ее перевернутом мире (Льюис Кэрролл, «Алиса в Зазеркалье»), когда она задается вопросом: «Возможно, молоко из Зазеркалья не годится для питья». Объясните, почему Льюис Кэрролл не думал о взрывах материи/антиматерии, когда писал свой роман. Как вы думаете, что он имел в виду?

Рассказ о путешествиях во времени, еще более ранний, чем у Кларка, который использует пространственно-временные «вращения», был написан Эдмондом Гамильтоном, одним из пионеров бульварного фантастического чтения. В его «Человеке, видевшем будущее» путешественник предстает перед верховным инквизитором короля Франции, чтобы объяснить свое таинственное исчезновение и последующее появление в открытом поле посреди раскатов грома и на виду у многих зевак. По мере развития сюжета мы узнаем, что этот человек был перенесен на пять веков в будущее нашей эры, из 1444 в 1944 год, из-за каких-то работ, которые проводили ученые в Париже XX века. Раскаты грома были вызваны пространственно-временными «вращениями», когда атмосферы 1944 и 1444 годов поменялись местами. Скептически настроенная инквизиция, естественно, находит эту историю нелепой, и первого путешественника во времени сжигают на костре как колдуна. Как вы думаете, почему такие «атмосферные перемещения» могут вызывать раскаты грома?

Путешествие по ленте Мёбиуса меняет «направление» плоской фигуры (левая и правая стороны меняются местами). Вы можете убедиться в этом сами, сделав ленту Мёбиуса, а затем двигая стрелку (направленную по ширине) вокруг полосы. (Вырежьте выемку в боковой части полосы, чтобы отметить начальную точку, со стрелкой, направленной на выемку.) Когда вы вернетесь к выемке, стрелка будет указывать в противоположную сторону от выемки. Обратите внимание, что стрелка никогда не покидала поверхность полосы и не пересекала никаких «странных» границ. Затем прочитайте рассказ Уэллса «История Платтнера» и прокомментируйте его использование этого «направления».

Парадокс аутоинфантицида, возникающий, когда путешественник во времени пытается убить свое молодое «я», продолжает очаровывать как физиков, так и философов, и в научной литературе регулярно появляются статьи на эту тему. Все они представляют собой философские исследования на тему моральной ответственности. Спенсер, в частности, начинает с такого определения: кто-то несет моральную ответственность за поступок только в том случае, если он мог бы поступить иначе. Далее он пишет: «Если на меня напали и сломали обе ноги, то мне кажется неправомерным критиковать меня за то, что я не смог убежать; я не мог поступить иначе». И все же все эти статьи посвящены проблеме, к которой (как мне кажется) физики скоро потеряют интерес: является ли вопрос «Если Сьюзи путешествует во времени, может ли Сьюзи убить малышку Сьюзи, учитывая, что Сьюзи не убивала малышку Сьюзи?» тем же вопросом, что и «Если Сьюзи путешествует во времени, может ли Сьюзи убить малышку Сьюзи, учитывая, что Сьюзи сейчас жива?». Ответ на первый вопрос, исходя из чистой логики, – «нет», в то время как ответ на второй вопрос немного сложнее: «все зависит от того, что означает слово “может”». Что касается второго вопроса, Сьюзи может убить ребенка Сьюзи, если у нее есть оружие (нож, пистолет, яд и т. д.) и она находится в прошлом рядом с малышкой Сьюзи, но это просто потому, что иначе Сьюзи не была бы сейчас жива (что является данностью). Такие споры, похоже, вряд ли приведут к какому-либо пониманию физики путешествий во времени. Сравните эту ситуацию со старой школьной загадкой: «Что происходит, когда непреодолимая сила встречается непоколебимый объект?» – что является парадоксом самопротиворечия. То есть слова «непреодолимый» и «непоколебимый» взаимоисключают друг друга, и поэтому, если использовать их таким образом, неудивительно, что у нас возникает конфликт. Может быть, два вопроса о путешествии во времени выше, касающиеся Сьюзи, сбивают с толку из-за сходного использования грамматики, сглаживающей ситуацию? Или проблема гораздо глубже? Активно обоснуйте свою позицию.



## ГЛАВА 3

### *Физика путешествий во времени. Часть I*



---

*На микроскопическом уровне нет предпочтительного направления времени. Для уравнений движения не имеет значения, движется ли время вперед или назад.*

– Айзенберг

*В зеркально отраженном пространстве мир по-прежнему имеет смысл; но зеркально отраженному времени присущ абсурд, который превращает драму мира в самый бессмысленный фарс.*

– Эддингтон (1929)

*Теперь мы можем пролить некоторый свет на проблему, часто обсуждаемую в настоящее время: возможность изменения направления потока времени. Эта тема считалась уместной только в научной фантастике...*

– Зварт (1972)

*Из всех проблем, лежащих на границе философии и науки, пожалуй, ни одна из них не вызвала больше пролитых чернил, больше противоречий и эмоций, чем проблема направления времени. Основной вопрос «проблемы направления времени» заключается в том, чтобы точно выяснить, что эта проблема из себя представляет или должна представлять!*

– Арман (1974)

*Разговор о потоке времени или движении сознания – опасная метафора, которую нельзя понимать буквально.*

– С্মарт (1954)



### 3.1. Язык путешествий во времени

Чтобы словосочетания «поток времени» и «направление времени» имели какое-либо объективное значение, мы должны иметь возможность как-то определить разницу между прошлыми и будущими событиями. Особый момент, в который происходит это различие, известен как *сейчас*, или *настоящее*, и когда события совершают переход, связанный с этим особым различием между прошлым и будущим, мы говорим, что настоящее движется, или течет. Философы – и физики, которые, в конце концов, являются людьми с человеческими чувствами, как и все остальные, – называют это общее чувство, которое у всех нас есть, с течением времени, *психологическим направлением времени* (осью времени).

Нам кажется, что мы можем достичь совершенного знания о том, что произошло, но только несовершенного предположения о том, что может произойти. Это выглядит как основа способности отличить прошлое от будущего. И на самом деле, природа различия между двумя интервалами времени кажется очевидной: мы можем помнить прошлые события, но не будущие! Как разумно говорят философы, события в прошлом сформировали *следы*, такие как черепа, отпечатки, окаменелые скелеты, хирургические шрамы, фотографии, записи на магнитной ленте, резные камни и тому подобное, в то время как будущие события, похоже, не имеют следов. Но так ли это? Разве для будущих событий невозможно создать следы? Ответ здравого смысла – конечно нет, должна существовать временная асимметрия возникновения следов из-за причины и следствия; то есть следы являются следствием предыдущих причин. Эта линия рассуждений быстро приводит к фундаментальной проблеме *причинности*.

Частично проблема, с которой мы сталкиваемся, обсуждая путешествия во времени назад, а также причины и следствия, – это наш язык. Независимые и раздельные концепции последовательности событий и причинности слились в повседневной мысли. Для нашего ума считается очевидным, что если событие А вызывает событие В, то А должно произойти первым. Большинство людей считают практически невозможным, что может быть иначе. Однако есть, по крайней мере, один исторический пример подобного слияния концепций, параллельный нашему современному смешению концепций последовательности и причинности, – пример, который показывает, как проблема может казаться очевидной и естественной для мыслителей своей эпохи, а сегодня кажется странной, необычной и даже смешной.

Венгерский историк Цонка привел этот пример в статье об обратных (то есть причинно-перевернутых) эффектах:

*Древний Египет был, образно говоря, одномерной страной, простирающейся вдоль Нила, который течет с юга на север. Ветры были преимущественно северными, что было очень удобно. Чтобы пойти на север, путешественник мог позволить своей лодке дрейфовать, в то время как*

*с парусом он мог двигаться на юг против медленного течения. По этой причине в письменности древних египтян понятие «идти вниз по течению (север)» было представлено лодкой без парусов, а понятие «идти вверх по течению (юг)» – лодкой с парусами. Слова (и понятия) север-юг и вверх-вниз по течению объединились. Поскольку Нил и его притоки были единственными реками, известными древним египтянам, это не вызвало никаких трудностей, пока они не достигли Евфрата, который, как оказалось, тек с севера на юг. Сегодня мы можем прочитать, как записана для потомков получившаяся путаница в древнеегипетском разуме: «та перевернутая вода, которая идет вниз по течению (север) вверх по течению (юг)».*

Интересный пример того, как мы демонстрируем подобную путаницу в отношении времени, был прокомментирован Фрэнсисом Бэконом еще в 1605 году в его книге *The Advancement of Learning*. Он сказал, что хотя каждое поколение думает о себе как о переживающих дни молодости (и думает о прошлом как о «старых добрых днях»), именно мы на самом деле являемся «древними мира» (перифразируя Теннисона), самыми отдаленными от начала мира из всех, кто жил. Мы совершаем ошибку, считая время *назад от нашего настоящего*, а не от момента начала.

Зачастую нам удается избежать трудностей, связанных с использованием языка, но только на основе общего согласия. Например, председатель совета директоров созывает собрание, используя предложение со смешанным временем: «Собрание *будет* проведено *сейчас*», а затем в конце говорит: «Мы встретимся снова *в следующем месяце*, в *это же* время». Мы прекрасно понимаем, что означают эти предложения, но только благодаря нашему общему культурному наследию, а не исходя из формальной логики. Языковая несогласованность создает проблемы как для вымышленных путешественников во времени, так и для физиков/философов, которые изучают возможность существования машин времени и путешествий во времени. Итак, читатель, будьте осторожны!

### 3.2. Имеет ли время направление?

Ответ кажется очевидным. Конечно, время имеет направление; все знают, что оно течет из прошлого в будущее. Однако здесь возникает любопытная языковая проблема, потому что мы также хотели бы сказать, что настоящее уходит в прошлое, что подразумевает «поток» в противоположном направлении, из будущего в прошлое. Учитывая эту неудобную ситуацию запутанного синтаксиса и возвращаясь к вопросу предыдущего раздела, можем ли мы хотя бы отличить прошлое от будущего, в зависимости от того, как течет время? По крайней мере, это было бы началом, но даже на этот упрощенный вопрос не так просто ответить. Объект спора заключается в том, что называть *объективным временем* (objective time, идея о том, что время дей-

ствительно течет) и *осознанным временем* (mind-dependent time, вера в то, что течение времени – это просто иллюзия, артефакт нашего неполного восприятия реальности).

Идея о протекании времени популярна, и она неоднократно появляется в литературе о путешествиях во времени как «река времени» или «океан времени». Глубокая психологическая привлекательность такого рода «языка воды», что неудивительно, привлекла внимание философов. Мы можем найти одно из самых ранних выражений этой концепции у римского императора и философа-стоика Марка Аврелия, жившего во втором веке до нашей эры, который писал: «Время подобно реке, состоящей из событий, которые происходят, и неумемному потоку; ибо, как только что-то произошло, оно уносится, а на его место приходит другое, и это тоже уносится».

Что касается того, почему такие метафоры мощно захватывают наше воображение, я думаю, что нам не нужно оглядываться назад дальше, чем на Канта. Как он писал в «Критике чистого разума»: «Время – это не что иное, как форма внутреннего чувства, то есть интуиции нас самих и нашего внутреннего состояния... Поскольку это внутреннее ощущение не облечено в форму, мы стремимся восполнить этот недостаток поиском аналогии». И что может быть лучше, чем стремительный поток воды, чтобы представлять наше чувство проносщегося времени?

Конечно, у «потока» времени есть свои критики. Философ Макс Блэк утверждал, что вопросы о направлении времени не имеют смысла, потому что не может быть направления у чего-то, что (как он утверждает) не течет. Он рассуждает так: если время действительно течет, то он должен иметь право спросить, *как быстро* оно течет. Это, в свою очередь, требует метавремени или супервремени для измерения скорости потока «обычного» времени. Но поскольку супервремя тоже должно течь, нам понадобится суперсупервремя, и поэтому мы погружаемся в бесконечный регресс.

Однако некоторые исследователи не испугались иерархического супервремени, и среди философов (и некоторых физиков) образовалась целая полуподпольная группировка, которая занималась так называемым *многомерным временем*. Например, Уэбб с сарказмом отверг упрек в бесконечном регрессе как убедительное возражение – он назвал это «сокрушительной и неопровержимой позицией», но на самом деле имел в виду прямо противоположное – и заявил, что не совсем ясно (по крайней мере, для него), почему супервремя должно течь. В конце концов, сказал Уэбб, мы измеряем течение реки по отношению к ее берегам, не требуя, чтобы сами берега текли. Это на самом деле кажется мне интересным предметом для обсуждения, но я не смог найти упоминаний об этом в более поздней философской литературе. Идея многомерного времени особенно привлекательна для одной разновидности путешествий во времени (я остановлюсь на этом в конце данной главы), которая пользуется гораздо большей популярностью среди писателей-фантастов и философов, чем среди физиков.

### 3.3. Относительность одновременности

*Если я не могу сделать так, чтобы шесть часов тикали одновременно, как я могу надеяться на то, что шесть стран будут тикать вместе?*

– Карл V, император Священной Римской империи, в апокрифической истории о своем отчаянии от достижения консенсуса («политической одновременности»)

Я привел здесь эту цитату лишь для того, чтобы проиллюстрировать первый революционный взгляд на природу времени (в отличие от метафизических предположений) с момента открытия идеи самого времени – понимание того, что тиканье чьих-то часов не имеет ничего общего с другими часами; понимание того, что ваше настоящее не является настоящим для всех остальных. Отказ от интуитивно «очевидной» концепции всемирного времени был первым (но не последним) из последствий размышлений Эйнштейна о природе пространства и времени. Это была идея, которая могла быть задумана задолго до того, как стала широко известной. Интересно отметить, что некоторые поэты понимали это на интуитивном уровне раньше, чем большинство физиков. Например, в статье 1817 года британский писатель Чарльз Лэмб писал: «Ваше “сейчас” не мое “сейчас”; и опять же, ваше “тогда” не мое “тогда”; но мое “сейчас” может быть вашим “тогда”, и наоборот. Чей разум сможет разобраться в этих вещах?» Эти слова все еще заставляют задуматься современных исследователей путешествий во времени.

*Настоящее* для любого данного наблюдателя – это тот момент времени, который отделяет его будущее от его прошлого. Выражаясь более поэтично, возможно, настоящее всегда с нами, но как только приходит момент (из будущего), который мы называем «сейчас», настоящее покидает нас и уходит в прошлое. Как писал Леонардо де Винчи в одной из своих тетрадей: «Вода, к которой ты прикасаешься в реке, – это последнее из того, что прошло, и первое из того, что приходит. Так протекает время». Или, наконец, как сказал один эмоциональный писатель (чье имя я не могу вспомнить), «настоящее – это лезвие ножа, на котором балансируют прошлое и будущее». Мы существуем, или, по крайней мере, наше *сознательное я* существует только в настоящем, и мы используем его как для предвидения будущего, так и для запоминания прошлого.

*Сейчас* – это математический момент, временной эквивалент безразмерной точки. Физиологически, однако, для живых существ это интервал, который для людей простирается, возможно, на несколько десятков миллисекунд в прошлое. Иногда он длится даже дольше; как сказал Оскар Уайльд в *De profundis*: «Страдание – это долгий момент».

До Эйнштейна все были уверены, что настоящее является *общим* опытом, и поэтому считался разумным такой вопрос: «Интересно, что происходит сейчас на самой большой обитаемой планете (если она есть) в галактике Андромеды, в двух миллионах световых лет от нас?» Мы подсознательно экстраполируем нашу земную веру во всепланетное *сейчас* (вера, которую

легко принять из-за наличия почти «мгновенных» спутниковых каналов связи), на убеждение, что существует общее *сейчас* космического масштаба. Когда два человека разговаривают по телефону через континент, они, кажется, разделяют общее *сейчас*. Так почему же два существа, находящиеся в разных галактиках, не могут делать то же самое?

Не кто иной, как великий мыслитель Исаак Ньютон, кодифицировал это убеждение. В 1687 г. во вступлении к своему труду «Математические начала натуральной философии» он писал: «Будучи абсолютным началом, математическое время само по себе и по своей природе проистекает одинаково вне зависимости от чего-либо внешнего и по-другому называется длительностью». Разумеется, сейчас мы вспоминаем слова Ньютона лишь потому, что он был Ньютоном, но, как сказал сам Ньютон, он стоял на плечах гигантов, и происхождение его взглядов на абсолютное время не является исключением. Чапек проследил так называемый абсолютистский взгляд на время назад от Ньютона, и он убедительно документирует примеры нескольких исследователей, которые придерживались подобных, более ранних идей. Например, Исаак Барроу, влиятельный современник и непосредственный предшественник Ньютона на посту председателя в Кембридже, писал в своей книге *Lectiones Geometricae* (1670), что «независимо от того, движутся вещи или стоят на месте, спим ли мы или просыпаемся, время течет в своем ровном русле». Когда Барроу написал это, Ньютон был его учеником.

Космические часы, вечные в своем тиканье, безупречно точные и присутствующие повсюду, – вот как Ньютон представлял абсолютные часы Бога. На протяжении более двух столетий после Ньютона этот образ воспринимался всеми как не подлежащий сомнению. В конце концов, это было просто очевидно, и что еще можно добавить? В 1905 году Эйнштейн заявил, что у него есть поправки к картине; точнее, он просто перечеркнул ее. Эйнштейн продемонстрировал «относительность настоящего» – тот факт, что два наблюдателя могут наблюдать за одним и тем же физическим процессом и при этом не соглашаться со временем, когда происходят различные события в этом процессе. Тем самым он навсегда остановил маятник часов Ньютона – и, возможно, столь же удивительным является тот факт, что на месте Эйнштейна мог бы оказаться сам Ньютон. Никаких новых физических открытий или глубоких математических теорем не требовалось. Эйнштейн пришел к своему результату с помощью самых простых рассуждений, используя математику не более сложную, чем школьная арифметика.

Вот как он это сделал.

Для начала мы должны спросить себя (как это сделал Эйнштейн), что мы имеем в виду, когда говорим, что два события происходят одновременно. Мы подразумеваем, конечно, что они происходят в одно и то же время, и, конечно, эта формулировка вызывает вопросы. Точнее, мы подразумеваем, что мы видим, как два события происходят вместе во времени. Слово «видеть» имеет решающее значение. Мы видим благодаря световым волнам, которые распространяются от места событий к нашим глазам. Тем не менее

очевидно, что от нашего расположения относительно этих двух событий зависит то, как долго световые волны от каждого события добираются до наших глаз. Если два события происходят в одной точке пространства, нет проблем с выяснением того, какое событие случилось раньше. Однако мы можем представить, что два события происходят одновременно (например, взрыв двух далеко разнесенных зарядов динамита, соединенных проводами одинаковой длины с общей коробкой электрического детонатора), но не кажутся одновременными, потому что наши глаза ближе к одному взрыву, чем к другому. Обычно мы не замечаем этих задержек в распространении света, потому что разные места на Земле расположены не очень далеко друг от друга по сравнению с расстояниями, которые преодолевает свет даже за очень короткий промежуток времени.

Мы можем устранить последствия этих путевых задержек из-за большой, но конечной скорости света, организовав наблюдение двух событий из положения на полпути между ними. Таким образом, казалось бы, две задержки равны, и поэтому, если мы видим, что два события происходят в разное время, то они действительно не одновременны – или так кажется.

Теперь представьте поезд на прямом участке пути<sup>1</sup>. Часть поезда – вагон с экспериментатором. Он стоит точно посередине вагона с лазером, который управляется с помощью переключателя. Когда он замыкает переключатель, лазер срабатывает и испускает два сфокусированных световых луча, один вперед, а другой назад. На передней и задней стенках вагона расположены фотоэлементы, которые при попадании светового луча генерируют электрический ток, вызывающий включение соответствующей лампы. (Предположим, что передний фонарь красный, а задний фонарь зеленый.)

Что может быть более очевидным, чем утверждение о том, что если экспериментатор замыкает выключатель, то через очень короткое время он увидит, как красные и зеленые лампы вспыхнут одновременно? В конце концов, если вагон имеет длину  $L$ , то лазер находится точно на расстоянии  $L/2$  от каждого фотоэлемента, и двум лазерным лучам (каждый движется со скоростью света – обозначим ее  $c$ ) потребуется одинаковое время для достижения каждого фотоэлемента. В самом деле, красная и зеленая лампочки загорятся через  $L/2c$  секунды после включения лазера. Поскольку красному и зеленому свету требуется дополнительные  $L/2c$  секунды, чтобы вернуться к центру вагона, экспериментатор увидит, что обе лампы вспыхнут одновременно, через  $L/c$  секунд после того, как он замкнет выключатель.

Теперь представьте себе второго экспериментатора, стоящего снаружи вагона на обочине. Также представьте, что поезд движется слева направо с постоянной скоростью мимо этого второго экспериментатора. Эксперимент устроен так, что выключатель лазера замыкается точно в тот момент, когда движущийся экспериментатор проходит мимо своего коллеги на земле. Таким образом, в начале процесса, который в конечном итоге приводит

<sup>1</sup> Этот и другие парадоксальные эксперименты подробно описаны в увлекательной книге Мэтта Кука «Ловкость ума» (ДМК, 2020). – *Прим. перев.*

к включению красной и зеленой лампочек, оба экспериментатора находятся точно посередине между двумя лампами. Мы уже разобрались, что видит экспериментатор внутри вагона, но если у вагона прозрачные стенки, что видит внешний экспериментатор?

Он видит, как один лазерный луч движется вперед, а другой – назад, причем движущийся вперед луч гонится за удаляющимся фотоэлементом красной лампы, а движущийся назад луч идет навстречу фотоэлементу зеленой лампы. Для внешнего экспериментатора луч, движущийся назад, раньше попадает в свой фотоэлемент, потому что он должен пройти меньшее расстояние, чем луч, движущийся вперед, который должен догнать другой фотоэлемент. Кроме того, задний фотоэлемент будет ближе к внешнему экспериментатору, чем передний фотоэлемент, поэтому свет от зеленой лампы должен пройти меньшее расстояние до глаз внешнего экспериментатора, чем красный свет. В итоге внешний экспериментатор увидит, что зеленая лампа включилась *раньше*, чем красная – в полном противоречии с тем, что видит внутренний экспериментатор. Относительное движение между двумя наблюдателями изменило их восприятие одновременности.

Я не упомянул движение в первом анализе ситуации по той простой причине, что у экспериментатора внутри вагона нет никакого способа ощутить любое такое движение. (Разумеется, я предполагаю, что в вагоне нет окон и что колеса поезда бесшумны.) Мы можем ощущать движение только через изменения скорости, то есть через ускорение или замедление. Это, по сути, один из фундаментальных постулатов динамики, еще до Эйнштейна и относительности. Великое достижение Эйнштейна заключалось в том, чтобы распространить эту идею на всю физику, включая, например, электромагнетизм и гравитацию. Законы физики и результаты экспериментов одинаковы для всех экспериментаторов, которые находятся в относительно равномерном движении относительно друг друга. Физика на карусели очень отличается от физики нашего вагона, да, но это потому, что карусель – это ускоренная система, даже если скорость вращения постоянна. Таким образом, то, что видит экспериментатор внутри вагона, не зависит от того, стоит ли поезд на железнодорожных путях или движется со скоростью 150 км/ч. Точно так же наливание кофе в чашку на борту летящего сверхзвукового лайнера ничем не отличается от наливания кофе дома за кухонным столом (до тех пор, пока нет турбулентности, что является еще одним названием ускоренного движения). Действительно, в трудах Галилея (которые, конечно же, предшествуют трактатам Ньютона) мы находим пример сбрасывания камня с мачты корабля. (Этот эксперимент был выполнен современником Галилея, французом Пьером Гассенди.) Независимо от того, стоит ли корабль в порту или движется в море с постоянной скоростью, камень попадает на палубу в том же месте у основания мачты. Равномерное ускоренное движение не влияет на то, что увидят наблюдатели на корабле.

Эта идея была настолько революционной, что Курт Гёдель заявил: «Главной отправной точкой теории относительности является открытие ново-

го и очень удивительного свойства времени, а именно относительности одновременности». Эйнштейн не был первым, кто подозревал, что одновременность – это не столь очевидная концепция, как может показаться. Например, французский философ Анри Бергсон писал в своей докторской диссертации 1888 года, что «связующим звеном между ... пространством и продолжительностью является одновременность, которая может быть определена как пересечение времени и пространства». Но именно Эйнштейн показал *относительность* концепции. Не все разделяли это убеждение. Ирландский математик-физик Альфред А. Робб был настолько шокирован всем этим, что написал: «С самого начала я чувствовал, что точка зрения и ход рассуждений Эйнштейна выглядели неприемлемыми. ... В частности, меня сильно оттолкнула мысль о том, что события могут быть одновременными для одного человека и неодновременными для другого. ... Казалось, что этот подход разрушает все ощущения реальности внешнего мира и оставляет от физической вселенной только сон, а точнее кошмар». А год спустя, в 1922 году, почтенный Оливер Лодж написал: «Теория, которая лишает нас уверенности, действительно ли Большой лондонский пожар случился до взрыва Новой Персеи (впечатляющая вспышка сверхновой, впервые наблюдавшаяся в 1901 году) ... и не будет ли смерть много путешествовавшего человека предшествовать его рождению, выглядит не очень хорошо, когда она покидает свое собственное царство и входит в область фактов и реальности... Это относится не только к Эйнштейну... но также к Ньютону и Максвеллу».

Всегда трудно отказаться от старых идей. Мы любим эти старые идеи, потому что они такие очевидные, такие понятные, такие здравые, но, как любил повторять сам Эйнштейн, «здравый смысл – это тот слой предрассудков, который заложен в умы до восемнадцати лет». Впрочем, когда президент Американского физического общества в 1911 году выступил с президентским обращением, он показал, что, даже будучи профессором физики Принстонского университета, можно безнадежно застрять в девятнадцатом веке: «Описание явлений в терминах четырех измерений в пространстве [он имел в виду пространство-время – П. Н.] было бы для меня неудовлетворительным объяснением, потому что я никак не могу заставить себя поверить в реальность четвертого измерения. Боюсь, что описание явлений в терминах времени, которое зависит от скорости тела, на котором я нахожусь, будет для меня столь же неприемлемым, потому что, как бы я ни старался, я не могу заставить себя осознать, что такое время мыслимо... Я не верю, что среди ныне живущих найдется кто-то, способный искренне утверждать, что он может представить время, зависящее от скорости, или готов заключить пари ради убеждения, что его “сейчас” соответствует “будущему” или “прошлому” другого человека». Что имел в виду Уильям Мэги? Должно быть, он понял, что Эйнштейн был таким человеком. Эйнштейн переехал жить в Принстон в 1933 году, а Мэги дожил до 1943 года, поэтому почти наверняка они встретились. Интересно, что они могли бы сказать друг другу?



### 3.4. Что такое «сейчас»?

Американский философ Ричард Гейл придумал забавную гастрономическую интерпретацию времени для дискуссий типа «разговоров о времени», которые часто встречаются в философской литературе:

*Новые ломтики салями постоянно отрезаются от несуществующего куска салями, называемого будущим. Настоящее – это верхний ломтик. Прошлое – это ломтики под ним, и хотя они перестали быть настоящим, они все еще продолжают существовать, так же, как и верхняя часть салями. Это версия метафоры Реки времени, поскольку она рассматривает появление как тип движения; и она попадает впросак перед смущающим вопросом о том, как быстро растет куча ломтиков салями.*

Эта метафора раскрывает интересный психологический аспект времени, в силу которого *сейчас* кажется не моментом с нулевой продолжительностью, а напротив, имеет некоторую продолжительность. Например, если вы смотрите на секундную стрелку тикающих часов, то видите, как они движутся, и если мы слышим, как кто-то стучит в дверь, мы удерживаем каждый удар от начала до конца в нашем *сейчас*. Это явления, которые привели к понятию так называемого *осязаемого настоящего* (*specious present*) с ненулевой продолжительностью; то есть верхний ломтик салями времени вообще-то не бесконечно тонкий, а имеет некоторую толщину. Авторство этого понятия обычно приписывают американскому психологу Уильяму Джеймсу. Итак, насколько толстый кусочек салями называется словом *сейчас*?

Для физиков в физической теории нет ничего, что помечает настоящий момент как уникальный, и, следовательно, нет ничего, что отражало бы реальный «поток» времени, ничего, что моделировало бы события *сейчас*, становящиеся частью прошлого, и события будущего, становящиеся *сейчас*, вспомним точку зрения Вейля из предыдущей главы. Однако у всех, даже у физиков, существует сильное психологическое ощущение, что время течет. (И здесь у нас есть еще одна «причина», по которой некоторые философы отвергают обратную причинность: она ориентирована в «неправильном» направлении для непрерывного становления.) Но правы ли они? Несколько ироничный факт заключается в том, что Гёдель («первооткрыватель» путешествий во времени) был убежден, что возможность существования пространства-времени блочной вселенной с СТЛ/СТС подразумевает, что прохождение или течение времени не имеет смысла<sup>1</sup>! Чтобы понять, как Гёдель пришел к такому поразительному выводу, рассмотрим рис. 3.1.

<sup>1</sup> Гёдель ясно заявляет об этом в своем философском эссе 1949 года.

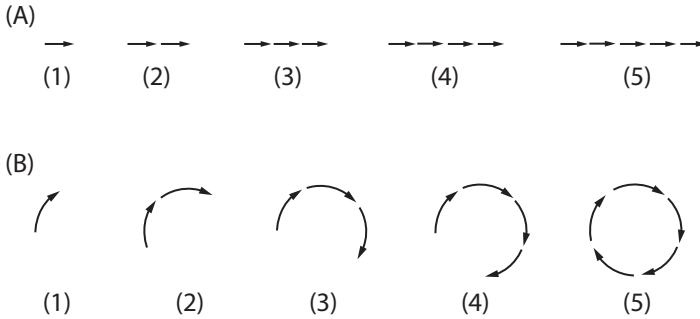


Рис. 3.1. Аргумент Гёделя о нереальности времени

В части А рисунка мы видим, что большинство людей, которые говорят о течении времени интуитивно, имеют в виду, как время движется через последовательность мгновений (показано в виде линии стрелок слева направо, идущих от (1) к (2), (3) и т. д.). На каждой стадии самая правая стрелка – это настоящее, стрелки слева от него (позади него) – прошлое, а стрелки справа от настоящего не показаны, потому что они находятся в будущем и поэтому еще не существуют. Когда вы спрашиваете на каждом шагу, какая стрелка сейчас активна, ответ ясен.

В части В рисунка, где показаны стрелки, образующие замкнутую (круговую) петлю, ситуация кардинально отличается. Теперь нет различия между прошлым и будущим, так как каждая стрелка находится как впереди, так и позади любой другой стрелки. Кроме того, нет ни одной стрелки, которая была бы однозначно сейчас. Таким образом, заключил Гёдель, течение времени не может иметь никакого значения во временной петле. Как и следовало ожидать, не всех убеждают такого рода аргументы.

Несмотря на это, релятивистский, четырехмерный, основанный на блочной вселенной взгляд на пространство-время, которое так любят многие физики, явно не оставляет места для объективной теории потока времени.

Все события в блочной вселенной просто имеют координаты в пространстве-времени, и нет ничего, соответствующего «были» (прошлое), «есть» (настоящее) или «будет» (будущее). В блочной вселенной нет «движения *сейчас*», кроме его субъективного присутствия в наших сознательных умах. Все, что мы можем сказать из физики, — это то, что события упорядочены в более ранней / более поздней последовательности, и даже это относительно слабое условие верно только для причинно связанных событий<sup>1</sup>. События, не связанные причинно-следственной связью, *могут* иметь разный

<sup>1</sup> Два события А и В не связаны между собой причинно, если их разделение в пространстве-времени таково, что частице пришлось бы двигаться со сверхсветовой скоростью (быстрее света), чтобы перейти от А к В. Мы обсудим физику причинно связанных событий позже в этой главе.

временной порядок для разных наблюдателей в относительно движущихся системах отсчета. Таким образом, для подобных наблюдателей «раньше/позже» имеет не больше значения, чем «прошлое/будущее», и в действительности обе пары слов теряют смысл.

Современная физика считает, что время – это просто *параметр, метка*, точно так же, как отметки по осям графика обозначают различные значения пространственного параметра. Когда мы рисуем график в координатах  $x$ - $y$ , мы не думаем о том, что « $x$ » или « $y$ » движется, и аналогично физик утверждает, что, когда мы рисуем график пространства-времени, мы не должны думать о времени как о движущемся. Как я уже говорил, физики называют наше чувство текущего времени *психологическим временем*, потому что уравнения физики не дают никакой физической интерпретации для движущегося «сейчас». Это не означает, что психологическое время не имеет особого очарования и значимости в человеческих делах, но ученые считают, что оно не играет никакой роли в физике. Психологическому времени просто нет места во вселенной, лишенной чего-то вроде процессов в мозге, которые мы называем сознанием.

Философ Макс Блэк недвусмысленно заявил, что он видит глубокую разницу между психологическим временем и тем, как трактуют время физики: «Так велик разрыв между бытовым понятием времени и временем физиков  $t$ , что будет только лучше, если физики будут ... использовать свое особое понятие, обозначаемое как  $t$ , а не как “время”. Никого не должно шокировать, что  $t$  может иметь уникальное начало, такое же, как абсолютное значение температурной шкалы, или может иметь несколько измерений, или даже что  $t$  может “бежать назад”; и лишь когда такие слова говорят применительно ко времени, возникает парадокс и начинаются философские трюки».

Взгляд на блочную вселенную, предполагающий, что нет никакого потока времени, кроме как в сознании разумных существ (включая, я полагаю, дерево Даммета), получил сильную поддержку философа Адольфа Гринбаума. Думаю, что большинство физиков и философов согласны с Гринбаумом, который заявил: «Я считаю, что проблема детерминизма и индетерминизма совершенно не имеет отношения к тому, является ли становление значимым атрибутом времени физической природы, независимой от человеческого сознания». Единственное, что я могу сказать по этому поводу, – это то, что, как я уже говорил, блочная вселенная должна быть связана не с детерминизмом, а с фатализмом.

Но не все согласны с Блэком и Гринбаумом. Действительно, сам Гринбаум цитирует Ганса Райхенбаха, который занял противоположную позицию, с равной энергией убеждая, что время *течет*. В 1925 году Райхенбах писал: «Что означает “сейчас”? Платон жил до меня, а Наполеон VII будет жить после меня. Но кто из троих живет *сейчас*? По понятным причинам, у меня есть четкое ощущение, что *Я живу сейчас*. Но имеет ли это утверждение объективное значение, помимо моего субъективного опыта?» Далее Райхенбах утвердительно ответил на этот вопрос и пришел к выводу, что блочная вселенная

является неполным представлением реальности: «В состоянии мира выделяется сечение, называемое настоящим; “сейчас” имеет объективное значение. *Даже когда не останется ни одного живого человека, будет существовать “сейчас”* [мой курсив – П. Н.]... В четырехмерной картине мира, такой, какая фигурирует в теории относительности, нет такого явного сечения. Но это связано только с тем, что на этой картинке отсутствует основное содержание».

И что же представляет собой отсутствующее основное содержание Райхенбаха? Чувствуя, что блочная вселенная неприемлемо фаталистична – по его насмешливым словам, «завтра уже случилось в том же смысле, что и вчера», – он нашел свой ответ в антитезе детерминизма, вероятностной теории квантовой механики. Физика Лапласа утверждает, что, учитывая полную информацию о состоянии мира в настоящее время, можно прекрасно рассчитать будущее или прошлое; можно предсказать перспективу и увидеть ретроспективу. Квантовая механика, напротив, принципиально отличает прошлое от будущего. Квантовая механика не отрицает, что в принципе мы можем знать прошлое с исключительной точностью, потому что каждое событие оставляет следы, которые можно расшифровать при наличии необходимых средств. Эти следы называются *архивным прошлым*, или *прошлым архивариуса*.

Но квантовая механика также принимает за постулат, что в будущем существует непреодолимая неопределенность. Райхенбах понимает «сейчас» как момент, когда эта неопределенность воплощается в реальность. В свою очередь, постоянно растущая история прошлого определяет движение «сейчас». Райхенбах полагал, что благодаря этим наблюдениям он, наконец, уловил движение, которому теперь нашлось место в математической теории, перенес настоящее из психологии в физику и показал, что течение времени не зависит от наличия сознательного наблюдателя.

Тем не менее собственный ассистент Гринбаума Бейкер написал мощный философский обзор проблемы потока времени и твердо занял противоположную позицию, утверждая, что движение *сейчас* существует только в наших умах и не является внутренним атрибутом реальности. Наиболее интересным выводом Бейкера является то, что независимый от разума поток времени несовместим с относительностью одновременности, поскольку он подразумевает универсальное *сейчас*, понятие, которое Эйнштейн считал не более чем иллюзией. Возражение Бейкера также направлено против тезиса *пробабелизма*<sup>1</sup> (probabilism), который гласит, что в любой момент есть много альтернативных вариантов будущего, но только одно прошлое. Однако это мгновение является просто синонимом движущегося *сейчас*, и поэтому сторонники пробабелизма, такие как Максвелл, пришли к выводу, что особая теория относительности является неполной из-за отрицания космической одновременности. Разумеется, большинство физиков думают иначе.

<sup>1</sup> Неуклюжий термин, обозначающий противоположность детерминизма. – Прим. перев.

Эйнштейна также очень беспокоили роль и место *сейчас* во времени, возможно, даже больше, чем философов. В автобиографическом эссе философ Рудольф Карнап вспомнил одну из своих бесед с Эйнштейном в начале 1950-х годов в Институте перспективных исследований в Принстоне: «Однажды Эйнштейн сказал, что его серьезно беспокоит проблема “сейчас”. Он объяснил, что переживание “сейчас” означает нечто особенное для человека, нечто существенно отличающееся от прошлого и будущего. То, что этот опыт не может быть воспринят наукой, казалось ему проявлением болезненной, но неизбежной капитуляции... Эйнштейн думал... что в “сейчас” есть нечто особенное, что находится за пределами досягаемости науки».

### 3.5. Необратимость времени

Ну что же, независимо от того, действительно ли время течет или нет, большинство из нас все еще верят, что у нас есть прошлое, и надеются встретить будущее. Каждый из нас думает, что мы можем легко отличить одно от другого. На самом деле в нашей повседневной жизни предостаточно признаков, указывающих на направление во времени. Почти все эти признаки имеют общую тему *необратимых изменений*. Как сказал британский математик Дж. Сильвестр: «Вихрь времени несет в себе расплату». Овидий, который умер, когда Христос был подростком, сказал в своих «Метаморфозах» знаменитые слова «всепоглощающее время».

Как ни мрачно это чувство, люди, кажется, ищут все новые способы выразить ту же мысль. В своей бесконечно грустной пьесе «Время и семья Конвей» Джон Пристли писал: «Во Вселенной правит великий дьявол, и мы называем его Временем». Это, безусловно, так. Никто еще не избежал процессов биологического разложения, будь то эволюция любимого питомца от котенка до смерти взрослой кошки или появление хворей и болей в наших собственных телах, которые когда-то казались нам невосприимчивыми к болезням. Неодушевленные предметы также не застрахованы от этого проявления времени. В печи и пепельнице сгорают дрова и сигареты, но они никогда не возрождаются из пепла. Наши машины ржавеют, но никогда не становятся блестящими вспять. Никто не видел, чтобы взрыв восстановил динамитную шашку или бомбу из пылающего огненного шара.

Наш мир, похоже, и в самом деле построен на необратимом движении к хаосу, смерти и распаду. Но почему? Один философ – Маргенау – предположил, что из-за некоторых «необратимых органических явлений», происходящих в нашем мозгу, наш поток сознания всегда движется в одном направлении.

Более тонким, чем уничтожение яйца, является феномен памяти, который кажется банальным только потому, что большинство людей не очень старательно об этом думали. Мы помним прошлое, не помня ничего о будущем. Поэтому у нас возникает искушение использовать феномен памяти, чтобы ответить на вопрос, как отличить прошлое от будущего: все, что вы можете

вспомнить, – это прошлое. Но это самозамкнутое определение, по поводу которого Сمارт заметил, что спрашивать, почему память всегда остается в прошлом, «так же глупо, как спрашивать, почему дядюшки всегда мужчины, а не женщины». В «Зазеркалье» Белая Королева говорит Алисе, что «если ты помнишь только прошлое, значит, память у тебя неважная», но, за исключением утверждений ясновидящих, кажется, что это единственный вид памяти, который есть у любого из нас. Почему это так? (Конечно, это было бы не так для путешественника во времени в прошлом. Его личное прошлое, которое он, конечно, помнит, станет будущим для окружающего его мира.)

Для физиков вопрос направления времени – тайна, покрытая мраком. На самом деле, кажется, нет никакой фундаментальной причины, по которой время не могло бы быть в состоянии идти из будущего в прошлое, но что тогда означало бы «будущее» и «прошлое»? – даже если никто не наблюдал, чтобы время делало это. Все законы классической физики, включая общую теорию относительности, а также квантовую механику (за исключением, конечно, каонов), включают время так, что его знак не имеет значения. Другими словами, замена  $t$  на  $-t$  приводит к совершенно правильному описанию того, что может произойти. Но на практике эти возможности не реализуются. А почему?

В неопубликованной статье, написанной в 1949 году, выполняя исследования, которые принесут ему долю в Нобелевской премии 1965 года по физике, молодой гений Ричард Фейнман написал: «Понимание взаимосвязи между временем в физике и временем восприятия пережило много изменений за историю физики. Очевидное различие прошлого и будущего не проявляется в физическом времени событий на микроскопическом уровне... Эйнштейн обнаружил, что настоящее не одинаково для всех людей... Для физики может оказаться полезным рассматривать события во все время сразу и воображать, что мы в каждый момент времени осознаем только те события, которые лежат позади нас. Полная картина взаимоотношений этой концепции физического времени и времени опыта и причинности является физической проблемой, которая не была детально проработана. Возможно, что с этой точки зрения на каждом шагу возникает больше проблем и трудностей, чем решается».

Фейнман не уточнил, что он имел в виду под «проблемами и трудностями» с этой точки зрения (что, очевидно, относится к блочной вселенной), но, несомненно, логические парадоксы путешествий во времени стояли в числе первых в его списке. Конечно, путешествия во времени занимали умы многих исследователей того периода. Как писал Йельский философ Генри Маргенау в учебном пособии по работе Фейнмана: «Теория квантовой электродинамики, разработанная Фейнманом, включает в себя обращение направления времени и тем самым возрождает в умах многих *вековую фантазию* [мой курсив – П. Н.], превосходящую научную привлекательность».

Поскольку отдельные классические уравнения микроскопической физики обратимы во времени, для отдельных частиц исчезает различие между

прошлым и будущим. Уравнения называются симметричными относительно времени; алгебраический знак  $t$  не имеет значения в классических законах. Однако следует подчеркнуть, что здесь фигурирует ключевая особенность. Когда физик говорит о *реверсе времени*, он говорит о системе, эволюционирующей *назад* во времени, идущем *вперед*, то есть все векторы скорости отдельных частиц мгновенно и одновременно меняют знак. Это отличается от обращенных во времени миров философов и писателей-фантастов (которые обсуждаются в следующем разделе), в которых само время «бежит назад». Точка зрения физика четко выражена у Льюиса: «Каждое уравнение и каждое объяснение, используемое в физике, должно быть совместимо с симметрией времени. Таким образом, мы больше не можем рассматривать следствие, вытекающее из причины. Если мы думаем о настоящем как о доказательстве существования прошлого, мы должны в том же смысле думать о нем как о доказательстве существования будущего». Более трех десятилетий спустя два математика Пенроуз и Персиваль озвучили сходные идеи: «В классической динамике прошлое полностью определяет настоящее, и, следовательно, по симметрии будущее так же полностью определяет настоящее».

У обращения времени есть любопытный теологический эффект. Как говорил шведский философ Арне Мельберг: «Если все естественные законы инвариантны в обращении времени и в физической Вселенной не происходит необратимых процессов, то нет никакого врожденного, значимого различия между прошлым и будущим... Если это действительно так, то все основные религии человечества, которые проповедуют создание Вселенной (сверхъестественным существом) и подразумевают, соответственно, различие между прошлым и будущим... должны будут внести соответствующие поправки».

Как вы, возможно, догадываетесь, есть несогласные с мнением о том, что классические законы физики обязательно обратимы во времени. Сам Дирак написал в 1949 году: «я не верю, что есть необходимость в том, чтобы физические законы были инвариантны относительно зеркального времени и пространства, хотя все известные на сегодняшний день точные законы природы имеют эту инвариантность». Дирак, к сожалению, не уточнил, почему он так думал, но, судя по открытию каонов, его позиция, по видимому, «опередила свое время»! И на самом деле макроскопический мир кажется явно асимметричным. Попытки найти этому объяснение привели к публикации обширной научной литературы, включая целые книги по физике обратимости времени. Некоторые философы, такие как Гринбаум и Райхенбах, находят объяснение асимметрии в статистической необратимости сложных процессов. Другие, такие как Эрман, не согласны, потому что подобная асимметрия также может быть обнаружена по крайней мере в одном нестатистическом случае, как отмечают физики в своих исследованиях одностороннего характера горизонта событий черной дыры.

### 3.6. Энтропия в роли стрелы времени

Именно англичанин А. С. Эддингтон дал живописное название «стрела времени» наблюдаемой асимметричной природе направления времени из прошлого в будущее. Он был также одним из популяризаторов объяснения стрелы времени на основе знаменитого второго закона термодинамики. Второй закон термодинамики гласит, что мера внутренней хаотичности, или беспорядка, – то, что называется *энтропией*, – любой замкнутой системы (то есть свободной от внешних воздействий) постоянно развивается в направлении максимального беспорядка к состоянию *термодинамического равновесия*. Это неизбежное увеличение энтропии  $S$  со временем в макроскопически большой системе настолько поразительно, что стало рассматриваться как фактическое определение направления времени. Эддингтон, однако, не был создателем концепции энтропии. Историю энтропии можно проследить до великого австрийского ученого Людвиг Больцмана (1844–1906) и его знаменитой  $H$ -теоремы 1872 года. Величина  $H$  в этой теореме напрямую связана с теперь более знакомой нам энтропией.

Постоянный рост энтропии – явление, часто наблюдаемое в повседневной жизни. Капля чернил в стакане воды расплывается в расширяющееся облако, которое никогда не соберется обратно в каплю чернил. Если у длинного металлического стержня нагреть один конец, то постепенно весь стержень приобретет одинаковую промежуточную температуру. Мы никогда не видели, чтобы равномерно теплый стержень самопроизвольно начал охлаждаться с одного конца и нагреваться с другого. Горячая ванна становится холодной – никто никогда не видел, чтобы вода при комнатной температуре внезапно, сама по себе, нагрелась до кипения в середине ванны, пока ее края покрываются льдом. Во всех этих случаях окончательное (будущее) состояние представляет большую внутреннюю случайность или беспорядок, чем начальное (прошлое) состояние.

Первая формальная модель энтропии, обосновывающая направление времени, предложена в статье 1907 года другом Эйнштейна австрийским физиком Полом Эренфестом и его женой русского происхождения Татьяной, которая была опытным математиком и периодически помогала мужу. В своей статье супруги Эренфесты развили идею так называемых *энтропийных часов* – одну из основополагающих идей физики. Часы представляют собой статистическую модель, основанную на новой в то время вероятностной математике марковских цепей – по имени русского математика А. А. Маркова (1856–1922), – которая описывает диффузию газов, и это простая, но в то же время мощная концепция. Модель Эренфеста показана на рис. 3.2.



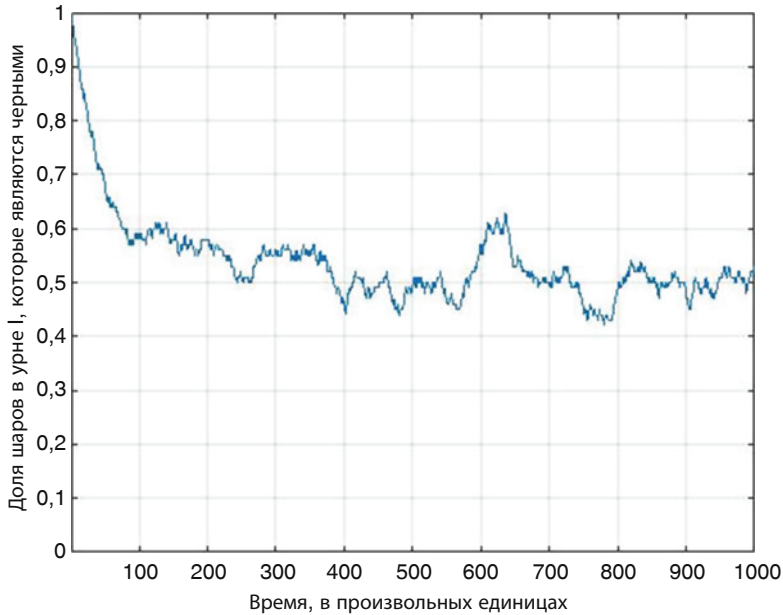


Рис. 3.2. Моделирование энтропийных газовых часов Эренфеста

Эта иллюстрация основана на публикации Уилера (1979), которая, в свою очередь, основана на статье Кокке (1967). Представьте себе две урны, I и II, каждая из которых содержит  $n$  шаров. Первоначально в момент времени  $t = 0$  все шары в урне I черные, а все шары в урне II белые. Затем, в момент времени  $t = 1$  (в произвольных единицах), шар выбирается случайным образом из каждой урны и мгновенно помещается в другую урну. Эта процедура выбора и передачи повторяется в моменты времени  $t = 2, 3, \dots$ . В любой момент времени каждая урна всегда содержит  $n$  шаров, но только при  $t = 0$  цвет всех шаров в данной урне обязательно совпадает. Фраза «выбирается случайно» означает (например), что вероятность выбора черного шара из урны, содержащей  $b$  черных шаров, равна  $b/n$ . В любой момент времени мы полностью описываем состояние обеих урн, указывая количество черных шаров в урне I (или количество белых шаров в урне II и т. д.). Можно без труда создать компьютерную модель этого физического процесса, и два графика на этом рисунке (созданных с помощью модели MATLAB, разработанной автором) показывают, как доля черных шаров в урне I с течением времени увеличивается до 0,5. Оба графика предназначены для  $n = 100$  шаров, но они были созданы с использованием различных последовательностей случайных чисел для имитации случайного выбора шаров. Мы можем сделать важные выводы о том, что (1) эволюция состояния двухходовой системы направлена к 50 % черных шаров в урне I для обеих

*симуляций (и так будет для «почти всех» последовательностей случайных чисел) и (2) эволюция не монотонно уменьшается от 100 % черных шаров до 50 % черных шаров, а выглядит как бесконечные колебания около 50 %, которые на самом деле могут быть довольно большими как по амплитуде, так и по продолжительности.*

Формально, как было установлено Больцманом в 1877 году, энтропия системы в данном состоянии, обозначаемая  $S$ , численно пропорциональна значению  $W$ , которое, в свою очередь, представляет собой число различных возможных способов возникновения состояния в результате всех возможных изменений внутренней, микроскопической структуры системы. Вычисление  $W$  в практических повседневных системах может быть довольно сложным, но в различных идеализированных системах это делается просто. Рассмотрим, например, вакуумный цилиндр с тонкой мембраной, разделяющей внутреннюю часть пополам. Предположим, что мы помещаем шесть молекул в левую половину цилиндра. Если мы определяем микроскопическое состояние системы как число молекул в левой половине, то первоначально  $W = 1$ , потому что есть только один способ поместить все шесть молекул в левую сторону. В этот момент мы наблюдаем состояние минимальной энтропии, то есть состояние максимального порядка, наиболее удаленное от термодинамического равновесия. Если сейчас проколоть мембрану, то молекулы, обитавшие в левой стороне, смогут свободно перемещаться по всему цилиндру. В любой момент времени мы можем подсчитать количество молекул на левой стороне – предположим, что мы насчитали пять молекул, причем одна молекула переместилась на правую сторону. Тогда  $W = 6$ , потому что есть шесть способов выбрать молекулу, которая двигалась слева направо, и поэтому энтропия системы увеличилась.

Мы думаем о состоянии термодинамического равновесия как о состоянии с равным числом молекул в обеих половинах цилиндра, и это состояние имеет *максимальную энтропию*, которая связана с числом  $W = 20$ . С таким небольшим числом молекул вовсе не очевидно, что как  $W$ , так и  $S$  *неумолимо возрастает* со временем; возможно, после того как одна из шести молекул перешла вправо, она просто вернулась на левую сторону, прежде чем кто-либо из ее спутников присоединился к ней с правой стороны. Такое событие называется разворотом и происходит с некоторой ненулевой вероятностью. Но чем больше молекул в цилиндре (если вместо шести штук мы возьмем миллион миллионов миллионов молекул, это все еще будет небольшое количество газа, едва достаточное для заполнения швейного наперстка), тем больше вероятность того, что значение  $S$  будет монотонно увеличиваться со временем.

То есть низкая энтропия была в прошлом, а высокая энтропия будет в будущем. Увеличение энтропии определяет направление времени, поэтому энтропия стала называться *термодинамической стрелой времени*. Точнее, ее следует назвать вероятностной, или статистической, стрелой времени.

Все эти заявления сегодня принимаются как истинные – насколько это возможно. Но здесь тоже есть загадка. Загадка состоит в том, что движение каждой из молекул в отдельности обратимо во времени, тогда как статистическое, или среднее, поведение множества молекул – нет. Получается, что использование среднего по большим коллекциям подразумевает потерю подробной информации об отдельных объектах. Следовательно, у нас есть загадка, заключающаяся в том, что, *уменьшая* наши знания о системе посредством статистического усреднения, мы обнаруживаем, что она отображает новое свойство (асимметричная эволюция по времени), которое мы не видели раньше. И даже если этот вопрос недостаточно проблематичен, у нас также есть еще две загадки, называемые парадоксами «обратимости» и «повторяемости».

Парадокс обратимости на самом деле является вопросом, поднятым ранее в этой главе: классические физические уравнения работают одинаково хорошо вне зависимости от направления времени, так почему же на самом деле все *не* идет вспять? Этот вопрос, первоначально заданный лордом Кельвином в 1874 году, был доведен до сведения Больцмана в 1876 году немецким физиком-химиком Йоганном Лосмидтом, одним из профессоров Больцмана в Венском университете. Ответ Больцмана на этот парадокс заключался в следующем: можно допустить, что мир мог бы повернуть вспять, если бы сложились подходящие начальные условия. Например, если бы все векторы скорости каждой частицы в состоянии равновесия развернулись бы в обратную сторону, тогда система *могла бы* перейти назад во времени к своему исходному неравновесному состоянию. То есть система в состоянии термодинамического равновесия, состояния с самой высокой энтропией, может эволюционировать в сторону системы с низкой энтропией. Больцман даже предположил, что это может происходить в закоулках нашей собственной вселенной – что в мире где-то «там» могут быть существа, которые переживают время, противоречащее нашему земному опыту. Он сказал это в 1877 году, и это замечательное заявление для консервативного профессора XIX века, высказанное почти за столетие до перевернутого мира Дика! Но, утверждал Больцман, среди возможных путей к данному состоянию существует гораздо больше способов увеличить энтропию, чем уменьшить ее, и именно поэтому мы видим то, что видим, – непрерывное *увеличение* энтропии.

*Парадокс повторения* – это нечто совершенно иное; он основан на заключении, представленном в 1890 году великим французским математиком Анри Пуанкаре в его статье «О проблеме трех тел и уравнениях динамики». Рассуждая об устойчивом движении трех масс, регулируемом законами механики Ньютона, Пуанкаре показал, что, начиная практически с любого начального состояния, любая система с фиксированным объемом с конечным количеством энергии и конечным числом степеней свободы вернется *бесконечно часто и со сколь угодно малым отклонением* почти до каждого предыдущего состояния. Если вы будете ждать достаточно долго, то в соответствии с удивительной теоремой Пуанкаре Перл-Харбор случится снова,

и снова, и снова... В 1896 году немецкий математик Эрнст Цермело использовал этот вывод, который философы называют *вечным возвращением*, чтобы утверждать, что не может быть действительно необратимых процессов, и тем самым поставил под сомнение идею о том, что энтропия всегда неминуемо возрастает.

Однако даже для очень маленьких систем, таких как горстка молекул, время повторения чрезвычайно велико, и это, по сути, является ответом Больцмана на озабоченность Цермело. Например, если в баллоне с газом содержится всего сто молекул (а не шесть) и если переходы с одной стороны баллона на другую сторону происходят со скоростью один миллион в секунду, то время повторения составит около тридцати миллионов миллиардов лет! А для самой вселенной время повторения просто непостижимо. Математики называют единицу, за которой следуют сто нулей, словом *гугол*, а время повторения в годах для вселенной было оценено как единица, за которой следует гугол нулей (так называемый *гуголлекс лет*).

Вдобавок расширяющаяся вселенная (например, та, в которой мы, судя по всему, живем) нарушает условие Пуанкаре о фиксированном объеме. Эддингтон сказал об этом в одной из своих лекций: «В расширяющемся пространстве любая конкретная конгруэнтность становится все более и более невероятной. Расширение Вселенной создает новые возможности распределения быстрее, чем атомы могут отработать их, и больше нет вероятности повторения некоторого распределения. Если мы будем долго перетасовывать колоду карт, то обязательно когда-нибудь приведем их в стандартный порядок, но только не в том случае, когда каждое утро в колоду добавляется еще одна карта».

Позднее Типлер показал, что если рассматривать общую теорию относительности, а не просто классическую динамику, то теорема о повторении просто больше не верна. Типлер пришел к выводу, что «в общей теории относительности вмешательство сингулярностей препятствует повторению. Релятивистские вселенные, как полагают, начинаются и заканчиваются в сингулярностях бесконечного пространства-времени, и эти сингулярности заставляют время в общей теории относительности быть линейным, а не циклическим». Однако, чтобы прийти к такому выводу, Типлер полагает, что гравитация всегда положительна и что пространство-время удовлетворяет специальному условию (так называемое *условие Коши*, обсуждаемое в разделе 6.3), которое позволяет избежать таких странных ситуаций, как обратная причинность. Но первое предположение нарушается в машинах времени на основе червоточин (снова см. раздел 6.3), а второе по определению нарушается в любом общем релятивистском пространстве-времени, которое поддерживает путешествие во времени, например в пространстве-времени Гёделя.

Изобретатель машины времени на основе космических струн Готт представил интересную связь между обращенными во времени мирами, в которых энтропия является стрелой времени, антиматерией, сингулярностями и тахионами, превышающими скорость света. Как рассуждает Готт, если квантовые эффекты должны *помешать* Большому взрыву быть сингуляр-

ностью, то можно допустить, что наша наблюдаемая вселенная с «нормальным» направлением времени и материей соединилась с двумя другими вселенными, одна из которых содержит тахионы, а другая представляет собой вселенную с антиматерией, обращенную во времени. Казалось бы, это прекрасная идея для писателей-фантастов, но я еще не встречал ее ни в одном рассказе.

Прежде чем идти дальше с энтропией как «стрелой времени», я должен упомянуть, что можно обсуждать изменения энтропии, не вводя концепцию направления времени. Так поступил великий квантовый физик Эрвин Шредингер. Вы можете легко понять ход его мысли, представив себе фильм про две изолированные системы А и В, каждая из которых претерпевает внутренние изменения. Чтобы избежать замкнутой причинности, основанной на *предположении* о направлении времени, давайте представим, что мы не знаем направление фильма во времени. То есть кадры фильма пронумерованы последовательно как 1, 2, 3, ..., но мы *не знаем*, является ли кадр 1 первым или последним кадром фильма. Из информации, записанной на каждом кадре (например, термометры, измеряющие температуры А и В), мы можем вычислить энтропию каждой системы, кадр за кадром. Например, давайте примем, что  $S_{A_i}$  = энтропия системы А в кадре  $i$  и  $S_{B_j}$  = энтропия системы В в кадре  $j$ . Изучение большого числа таких кинофильмов показывает, что энтропии изолированных систем «почти всегда» развиваются параллельно, то есть так же, как, например, показано на рис. 3.4. Таким образом,

$$(S_{A_i} - S_{A_j})(S_{B_i} - S_{B_j}) \geq 0.$$

Это следует из того, что хотя мы не знаем временной порядок кадров  $i$  и  $j$ , то есть не знаем, являются ли два члена в неравенстве положительными или отрицательными, мы *знаем*, что они почти всегда имеют один и тот же знак независимо от того, увеличивается или уменьшается энтропия с увеличением или уменьшением времени. Следовательно, произведение двух изменений энтропии неотрицательно, куда бы ни была направлена стрела времени.

### 3.7. Другие стрелы времени

Несмотря на все предыдущие рассуждения, мы все равно должны признать, что не ясно, всегда ли эволюция системы, следующей из прошлого в будущее, сопровождается необратимым увеличением энтропии, то есть неумолимым увеличением некоторой меры «беспорядочности» системы. Статистически можно рассчитать, что энтропия с большой вероятностью монотонно возрастает в системах макроскопического размера, но вероятность – это не то же самое, что достоверность. Поэтому Эддингтон был неправ, когда он резко заявил: «Закон, согласно которому энтропия всегда возрастает, занимает,

я думаю, высшую позицию среди законов природы. Если кто-то укажет вам, что ваша излюбленная теория вселенной не согласуется с уравнениями Максвелла – тем хуже для уравнений Максвелла... но если окажется, что ваша теория противоречит второму закону термодинамики, у вас нет ни малейшей надежды; остается лишь пойти прочь в глубоком унижении».

В отличие от Эддингтона, моя позиция заключается в том, что второй закон *не* находится на одном уровне с, например, фундаментальными законами сохранения, которые никогда не нарушаются в классической физике. Также вопреки Эддингтону уравнения Максвелла находятся на более высоком, а не более низком уровне «лестницы фундаментальности» (если позволите мне придумать термин), чем второй закон. В классической физике уравнения Максвелла никогда не ошибаются. С другой стороны, постоянное увеличение энтропии не гарантировано; теоретически могут случиться флуктуации в термодинамической эволюции системы, которые, по крайней мере на некоторое время, уменьшат энтропию (взгляните еще раз на рис. 3.2). Все, что мы можем сказать наверняка, – это то, что для систем макроскопического размера даже небольшие флуктуации энтропии маловероятны. Когда мы говорим о вероятности сбоя неумолимого роста энтропии, уместно процитировать диалог Гилберта и Салливана из комической оперы Пинафоре:

- *Что, никогда?*
- *Нет, никогда!*
- *Точно никогда?*
- *Ну... скорее всего.*

Тем не менее для большинства физиков энтропия является слишком полезной концепцией, чтобы отказаться от нее, даже если она не всегда увеличивается с увеличением времени существования изолированной системы. Моррисон нашел один интересный способ аргументировать необратимость системы, базовые микрзаконы которой обратимы. Моррисон считает неизбежные возмущающие воздействия внешних объектов на систему всегда достаточными, чтобы исключить возможность фактического изменения скорости микрокомпонентов системы. На самом деле он обнаруживает, что достаточно малейшего воздействия, чтобы нарушить работу системы до такой степени, что она никогда не развернется в обратном направлении. Как он объясняет: «Можно рассчитать, что гравитационного воздействия, оказываемого падающим яблоком на расстоянии километра от сферы в десять сантиметров, достаточно для того, чтобы перемешать траекторию молекул моля нормального газа за миллисекунды!» Из-за этого Моррисон приходит к выводу, что энтропийная стрела времени будет независима от состояния расширения/сжатия вселенной. Но логика Моррисона просто замыкается сама на себя, потому что в его предполагаемом объяснении асимметрии времени изначально заложена асимметрия: он предполагает, что любое возмущающее влияние всегда будет *увеличивать* энтропию, и это же он пытается объяснить.

Сегодня считается общепринятой идея о том, что вселенная возникла в некоем процессе Большого взрыва пятнадцать миллиардов лет назад. Загадка этого события, которое буквально описывается как взрыв «огненного шара», заключается в том, что он должен быть *фантастически* жарким. Это означает, что в начале начал царил полный термодинамический хаос, который, как вы уже знаете, означает максимальную энтропию. Таким образом, у нас сразу возникает огромный парадокс. Как энтропия вселенной может непрерывно увеличиваться, если она была максимально возможной с самого начала? Эта давняя загадка была рассмотрена в работе Дэвиса, который в качестве решения предложил так называемую *инфляционную модель* вселенной (см. также раздел 6.3).

Инфляционная модель подразумевает очень высокую скорость расширения для ранней вселенной, намного выше, чем скорость в стандартной горячей модели Большого взрыва. В стандартной модели загадка энтропии возникает из-за способности всех процессов, связанных с частицами, быстро приспосабливаться к постоянно меняющемуся состоянию вселенной; так называемые времена релаксации (затухания) всех процессов частиц слишком коротки по сравнению со скоростью расширения вселенной. Это означает, что действительная энтропия вселенной должна быть максимально возможной в каждый момент времени (и, конечно, у нас возникает парадокс энтропии). В инфляционной модели, однако, скорость расширения ранней вселенной поначалу была настолько высокой, что затухание процессов частиц просто не успевало за расширением. Это означает, что максимально *возможная* энтропия вселенной в каждый момент времени будет значительно превышать *действительную* энтропию. Как сказал Дэвис, во время инфляционной фазы ранней вселенной был создан «разрыв энтропии». Результатом стала *термодинамическая стрела времени*, которую мы наблюдаем сегодня, когда вселенная пытается «догнать» и уменьшить дефицит энтропии. Как и следовало ожидать, не все согласны с таким умозрительно-творческим предположением. Например, некоторые оппоненты утверждают, что инфляционная модель ранней вселенной на самом деле предполагает – как и идея Моррисона – термодинамическую стрелу времени, а не объясняет ее. Я полагаю, что парадокс энтропии (и происхождение термодинамической стрелы времени) остается одной из центральных нерешенных проблем современной космологии.

Но что бы вы ни думали о подходах Моррисона и Дэвиса, существуют также серьезные философские проблемы с использованием энтропии в качестве объяснения времени. Например, события в прошлом оставляют *следы*, артефакты, находящиеся в упорядоченном состоянии или, по крайней мере, более упорядоченные, чем их непосредственное окружение. Классическим примером является след на песке, который является четко организованной структурой по сравнению с окружающим песчаным пляжем. Это след прошлого события; он служит неоспоримым доказательством, что по этому пути прошел другой человек. Но теперь рассмотрим знаменитый

контрпример Эрмана – город после бомбежки. Конечно, осталось предостаточно следов от бомб, и нужно быть осторожным, чтобы не споткнуться и не упасть в них! Проблема заключается в том, чтобы доказать, что случайные воронки от бомб, разбросанные обломки и разрушенные здания каким-то образом представляют собой более организованное состояние (след), чем исходный город и прилегающие к нему районы без следов бомбардировок.

В качестве второго примера рассмотрим ситуацию, описанную Денбигом: облако несталкивающихся частиц, которые первоначально все движутся навстречу друг другу. Сначала радиус самой маленькой сферы, содержащей облако, уменьшается со временем, но в конце концов, когда частицы пролетают мимо друг друга, радиус начинает безгранично расти. Действительно, это неумолимое увеличение радиуса можно принять за определение направления времени, указывающего на будущее. Но разве при этом увеличивается беспорядок облака частиц? В конце концов, когда облако расширяется, оно всегда выглядит одинаково; изменяется только его масштаб (радиус). Можно было бы ответить, что это пример открытой, или неограниченной, системы, в то время как энтропийные газовые часы определены как закрытая, ограниченная система. Да, это так, но все еще остается вопрос: какое отношение имеет энтропия к нашему облаку, расширяющемуся в будущее? Возможно, никакого. Вероятно, нужна новая стрела времени!

До сих пор мы подробно обсуждали две так называемые стрелы времени: субъективное, психологическое ощущение «текучести» времени, которое не имеет объяснения в физике, и термодинамическое статистическое количество энтропии. Третья стрела, которую я упоминал вскользь, – это так называемая *космологическая стрела* расширения вселенной. Эта стрела не так очевидна, как первые две. Только в результате исследований американского астронома Эдвина Хаббла наука осознала, что вселенная расширяется. Ученые неоднократно высказывали интересное предположение о том, что если космологическая стрела когда-либо развернется, то есть если вселенная когда-либо начнет сжиматься, то вместе с ней развернется и термодинамическая стрела. Причина заключается в том, что термодинамическая стрела следует за космологической стрелой в расширяющейся вселенной, потому что эта вселенная всегда может поглотить все большее электромагнитное излучение, создаваемое любым физическим процессом. Почему термодинамическая стрела не должна следовать за направлением космологической стрелы во время сокращения вселенной?

Обычное возражение звучит довольно просто. Если бы направление времени изменилось, то мы бы наблюдали всевозможные странные события, которые потребовали бы совершенно невероятной физики, такие как разбитое зеркало, собирающее себя обратно. В этом возражении кроется тонкая, но простая ошибка. Возражение основано на запаздывающей причинности нашей расширяющейся вселенной. Однако в сжимающейся вселенной с обращенной термодинамической стрелой времени была бы опережающая причинность, и, таким образом, не было бы ничего невероятного в таких



вещах, как самособирающиеся зеркала. Кстати, интересное исследование взаимосвязи между термодинамическими и космологическими стрелами времени провел Шульман.

Относительно недавно Дэвис и Твэмли заметили, что «простой реверс космологического расширения сам по себе не будет влиять на изменение направления термодинамических и электродинамических процессов больше, чем фаза сжатия в рабочем цикле теплового двигателя приводит к уменьшению энтропии изолированного объема газа». Дэвис и Твэмли упоминают об интересе Хокинга к взаимосвязи между различными стрелами времени. Одно время Хокинг думал, что обнаружил связь между термодинамическими и космологическими стрелами, но под влиянием аргументов Пейджа отказался от этого утверждения. Хокинг фактически назвал свое первоначальное убеждение своей «величайшей научной ошибкой». На самом деле эта тема должна была стать предметом его докторской диссертации, но «для моей докторской диссертации мне... требовалось что-то более определенное и менее причудливое, чем стрела времени, и поэтому я переключился на сингулярности и черные дыры. Они были намного проще».

Еще одной стрелой времени является *электромагнитная стрела*, которая основана на том факте, что электромагнитное излучение всегда распространяется в будущее, а не в прошлое. Это загадочный факт, потому что уравнения Максвелла для электромагнитного поля, как и все другие законы физики, не включают значение времени. В ожидании падения яблока Моррисона была предложена новая стрела – Пенроуз предположил, что основой для стрелы времени может быть гравитация. Его предположение основано на том, что масса жидкости под воздействием неоднородного гравитационного поля подвергается действию приливных сил, которые вызывают увеличение возмущения сонаправленно с увеличением времени. Одна из проблем, связанных с этой так называемой гравитационной стрелой, о которой говорит сам Пенроуз, заключается в том, что он встроил во время асимметрию, которую он пытается объяснить. Он сделал это, специально запретив существование *белых дыр* (обращенные во времени черные дыры).

Несмотря на это сомнение или, возможно, из-за его наличия, Боннер попытался сопоставить стрелу Пенроуза с электромагнитной стрелой для конкретного случая, в котором можно вычислить физические детали. Увы, для особого случая Боннера – коллапса сферически-симметричного, горячего, излучающего газового шара (идеализированная модель звезды) – две стрелы указывают в противоположных направлениях! В последние годы гравитационная стрела времени, кажется, исчезла из виду, но мы вспомним про электромагнитную стрелу в четвертой главе.

Поиски стрелы времени, спрятанной где-то в законах физики, не прекращаются по сей день и распространились на область квантовой гравитации. Однако, как и во всем, что связано с квантовой гравитацией, полученные

результаты до сих пор остаются сомнительными, спекулятивными и спорными. Как пишет Лю: «Нам придется провести много исследований как в физике квантовой гравитации, так и в философии обратимости, прежде чем станет понятно, что именно квантовая гравитация пытается сказать нам о тайне времени».

### 3.8. Замедление времени и фотонные часы

*Время, как мы его знаем, не всегда абсолютно и в значительной степени зависит от скорости наблюдателя относительно некоторой системы отсчета. Движущиеся часы будут работать медленнее по отношению к выбранной системе координат, чем стационарные.*

– Путешественник объясняет, как работает его машина времени, в рассказе 1931 года «Через ускоритель времени» (Бридж)

Представьте себе два горизонтальных параллельных зеркала, расположенных одно над другим и разделенных расстоянием  $d$ . Эти зеркала находятся в одной системе координат с наблюдателем; то есть наблюдатель смотрит на два стационарных зеркала. Представьте также, что между зеркалами туда и обратно, вверх и вниз перемещается частица света, фотон, в бесконечном идеальном отражении. Мы определяем время, необходимое для прохождения фотона от одного зеркала к другому, как первый полутакт, а обратный путь определяет второй полутакт. Эта простая система, названная по имени французского физика Пола Ланжевена (1872–1946), называется *фотонными часами*, или *часами Эйнштейна–Ланжевена*, и десятилетиями была частью физики. Скорость хронометража, то есть интервал времени, отделяющий одинаковые полутакты, очевидно составляет

$$t' = 2\frac{d}{c},$$

где  $c$  – скорость света.

Предположим, что теперь наблюдатель, зеркала и прыгающий фотон движутся с постоянной скоростью  $v$  вправо по линии прямой видимости. Тогда система зеркало/фотон оказывается в другой системе отсчета, и мы не увидим, как фотон подпрыгивает вверх и вниз по вертикали. Мы увидим, что фотон движется по треугольной траектории, как показано на рис. 3.3. Один полный цикл движения фотона, очевидно, занимает больше времени, чем раньше, потому что расстояние в неподвижной системе отсчета (нашей системе) теперь больше, чем в системе движущегося наблюдателя. Фактически если  $t$  – это время между последовательными тактами, видимыми стационарным наблюдателем (нами), то общая длина пути

$$2\sqrt{d^2 + \left(\frac{vt}{2}\right)^2},$$

следовательно:

$$t = \frac{2\sqrt{d^2 + \left(\frac{vt}{2}\right)^2}}{c}.$$

Выполняя простые алгебраические преобразования и комбинируя с выражением для интервала времени для наблюдателя в той же системе, что и часы, получаем интервал времени для движущихся часов, измеренный стационарным наблюдателем (нами):

$$t = \frac{t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Обратите внимание, что выражение сводится к  $t = t'$ , когда  $v = 0$ , то есть когда часы неподвижны.

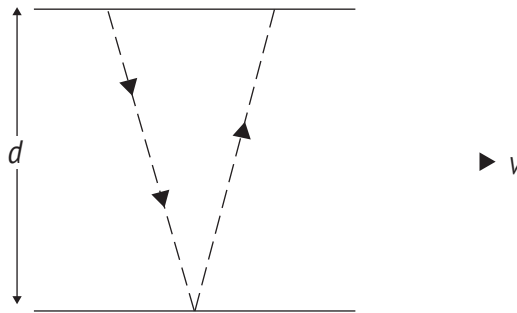


Рис. 3.3. Движущиеся (относительно наблюдателя) фотонные часы

Это знаменитая *формула замедления времени* Эйнштейна, которая показывает, что  $t > t'$ , вплоть до  $t = \infty$ , когда  $v = c$ . То есть фотонные часы, кажется, работают медленнее, чем часы в нашей стационарной системе отсчета, и при достижении скорости света время останавливается. Именно это имел в виду один писатель, когда написал, что «согласно теории относительности, если наблюдатель движется со скоростью света, время остается неизменным. Это ситуация, в которой оказался Безумный Шляпник. У него всегда шесть часов и всегда время пить чай». Любопытное предчувствие этой связи между светом и отсутствием времени можно найти в стихотворении английского писателя семнадцатого века Генри Вогана. Вступительные слова

к его «Миру», опубликованному в 1650 году как часть поэмы *Silex Scintillans* («Искрящийся камень»), звучат так:

*Той ночью Вечность я узрел,  
Как яркий, чистый свет небес,  
Замкнувшийся в кольцо,  
И рядом Время в днях, годах,  
В движении небесных сфер,  
Как будто мироздание вселенной  
Проходит мимо и отбрасывает тень.*

При  $v > c$  уравнение говорит о том, что время становится мнимым, и это одна из причин, по которой можно утверждать, что условие  $v > c$  невыполнимо. Не все считают, что эта простая модель справедлива (хотя только безумцы оспаривают заключение).

При  $v > 0$  происходит аналогичное изменение длины, измеренной в направлении движения. В то время как наблюдатель в системе движущегося объекта установит, что его длина равна  $L'$ , стационарный наблюдатель «сообщит», что объект сократился до длины

$$L = L' \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}.$$

Этот эффект называется *сокращением Лоренца–Фицджеральда*. В «повседневной» жизни сокращение объектов крайне мало. Например, для низкоорбитального спутника длиной 100 метров, движущегося со скоростью 29 000 км/ч (то есть  $v = 2,7 \times 10^{-5}c$ ), сокращение составит менее  $4 \times 10^{-6}$  см.

Я не случайно поставил слово «сообщит» в кавычки. В 1959 году английский физик-математик Роджер Пенроуз сделал удивительное открытие, что фотография сферы, движущейся мимо наблюдателя (у которого есть камера) со скоростью, составляющей заметную долю скорости света, будет по-прежнему изображать круглый объект, а не сплюснутый эллипсоид, который физики предполагали со времен статьи Эйнштейна 1905 года. Этот вывод прямо противоречил самому Лоренцу, который в 1922 году заявил, что сокращение можно сфотографировать. Через несколько месяцев после публикации Пенроуза американский физик Джеймс Террелл обобщил и расширил результаты и четко изложил происходящее. Как он написал:

*Наблюдение за формой быстро движущегося объекта включает в себя одновременное измерение положения ряда точек на объекте. Если это сделано с помощью света, все кванты должны покинуть поверхность объекта одновременно, как определено в системе наблюдателя, но придут на позицию наблюдателя в разное время.... В таких наблюдениях полученные*

*данные должны быть скорректированы с учетом конечной скорости света, используя измеренные расстояния до различных точек движущегося объекта. С другой стороны, при наблюдении или фотографировании объекта все световые кванты одновременно достигают глаза (или затвора), отходя от объекта в различные более ранние моменты времени. Очевидно, что есть разница между сжатой формой, которая в принципе наблюдается, и видимым образом быстро движущегося объекта.*

Фактически Террелл (как и Пенроуз) показал, что конечная скорость света – это именно то, что требуется, чтобы сделать сжатие невидимым на фотографии. Террелл, однако, сообщил, что есть еще один неожиданный видимый эффект: объект будет выглядеть *повернутым* на фотографии. Чуть более года спустя американский физик Шервин показал, что определенный тип радиолокационной системы может отображать сокращение на экране монитора. Жаль, что Эйнштейн умер незадолго до того, как были сделаны эти удивительные открытия о фундаментальном заблуждении относительно специальной теории относительности – заблуждении, почти наверняка разделенном самим Эйнштейном.

Эффект сокращения Лоренца–Фицджеральда вошел в популярную культуру в виде следующего известного (по крайней мере среди физиков) лирика:

*Вот фехтовальщик по имени Фиск,  
Его не пугает отчаянный риск.  
Так быстро махал он своею рапирой,  
Что старик Фицджеральд  
Обрезал рапиру по самый диск.*

Существуют и неприличные версии этого стихика, но я, конечно, не буду повторять их здесь.

Фактор замедления времени (или уменьшения размера) становится осязаемым только при значениях  $v$ , близких к  $c$ ; в табл. 3.1 приведены числовые данные. Например, последняя строка показывает, что часы, движущиеся со скоростью 99,99 % скорости света, регистрируют прохождение одного года, в то время как на Земле пройдет почти семьдесят один год. Один писатель-фантаст понял это совершенно неправильно, хотя он на самом деле воспроизвел уравнение Лоренца–Фицджеральда в своем рассказе 1950 года «К звёздам» (Хаббард). В какой-то момент он пишет о близком к скорости света корабле, который играет главную роль в этом рассказе: «Если бы скорость корабля составляла девяносто четыре процента от скорости света, ... за каждый момент, отмеченный часами корабля, тысячи таких моментов прошли бы на Земле». На самом деле коэффициент замедления времени на этой скорости составляет «всего» 2,93.

Таблица 3.1. Коэффициент замедления времени Лоренца–Фицджеральда

$\frac{v}{c}$	$\frac{1}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}}$
0,1	1,005
0,2	1,021
0,5	1,155
0,7	1,4
0,9	2,294
0,999	22,366
0,9999	70,712

Одним из возможных возражений против всех этих выкладок является то, что анализ был сделан для конкретных часов. Откуда мы знаем, что на другие часы – например, на шестеренках и маятниках вместо фотонов и зеркал – движение не повлияет по-другому? Ответ следует из самой теории относительности, которая говорит, что нет способа обнаружить равномерное движение. Если бы двое часов вели себя по-разному, то это различие могло бы послужить детектором движения. Однако это невозможно в соответствии с теорией относительности, и поэтому *все* часы, независимо от того, как устроены их внутренние механизмы (включая сложные *биологические* часы наших собственных тел), должны реагировать на равномерное движение одинаковым образом.

### 3.9. Преобразование Лоренца

*Нас забавляет возня с эфиром физиков XIX века. Не будет ли физик XXI века таким же образом позабавлен нашей возней со временем?*

– Индийский физик К. К. Раджу, в комментарии к эксперименту Майкельсона–Морли

*Эх, если бы он уделял больше внимания математике в школе.*

– Альберт Юстенс Росси, первый путешественник во времени, рассказ «Extempore» (Найм)

Давайте для начала вообразим две разные системы координат. Одну мы считаем стационарной, а другую – движущейся с постоянной скоростью  $v$  относительно первой. Говорят, что движущаяся система *ускорена* относительно неподвижной системы. Мы всегда можем ориентировать эти две системы координат так, чтобы движение происходило только по одной оси (например, вдоль оси  $x$ , как показано на рис. 3.4). Я использую переменные со штрихом для движущейся системы. Таким образом, эти две системы

имеют совпадающие оси  $x$  и параллельные оси  $y$  и  $z$ , которые расходятся с постоянной скоростью  $v$ . Давайте также представим, что в начале координат каждой системы есть часы и что в момент совпадения начала координат мы синхронизируем часы; то есть  $t = t' = 0$  – это момент, когда две системы координат полностью совпадают.

Затем мы представим, что в начале координат каждой системы есть наблюдатель. В некоторый произвольный момент времени каждый наблюдатель записывает координаты произвольной точки  $P$  в пространстве, измеренные в этой системе.

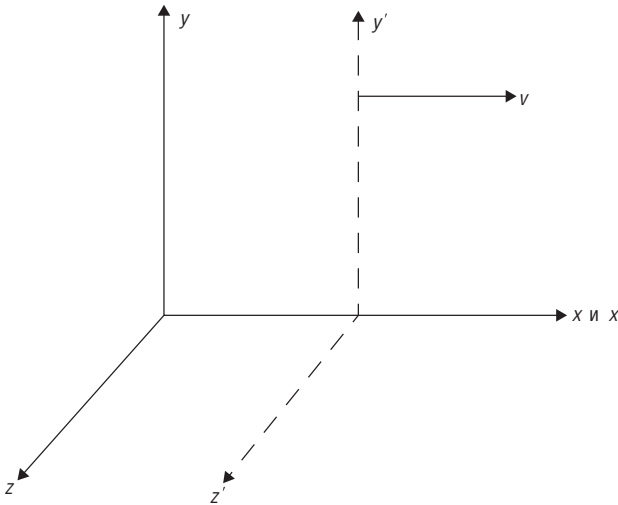


Рис. 3.4. Две пространственные системы отсчета в относительном движении

Наблюдатели могут, например, согласиться записать координаты  $P$ , когда каждые из их соответствующих системных часов отсчитают пять секунд. Сразу представляется очевидным (как это было в случае Ньютона), что  $t = t'$ , то есть время течет с одинаковой скоростью в каждой системе, и поэтому имеет смысл говорить об «одном и том же моменте». (Если вы внимательно прочитали предыдущий раздел, то знаете, что это не так, но давайте временно забудем об этом!) Таким образом, в этот «момент» стационарный наблюдатель запишет координаты  $(x, y, z)$ , а движущийся наблюдатель запишет координаты  $(x', y', z')$ . Теперь мы зададимся вопросом: каковы отношения между координатами со штрихом и без штриха? То есть какое математическое преобразование применяется для перехода из одной системы в другую? Ответ кажется очевидным:

$$\begin{aligned}y' &= y \\z' &= z \\x' &= x - vt.\end{aligned}$$

Это преобразование, называемое *преобразованием Галилея* по имени итальянского ученого Галилео Галилея (1564–1642), удовлетворяет принципу относительности, согласно которому равномерное движение оставляет законы физики неизменными. Например, в стационарной системе известный второй закон Ньютона для фиксированной массы  $m$ ,

$$F = m \frac{d^2 x}{dt^2},$$

приобретает следующий эквивалентный вид:

$$F' = m \frac{d^2 x'}{dt'^2}.$$

Точнее говоря, *все* законы механики неизменны. Любая система отсчета, в которой соблюдаются законы механики Ньютона, называется *инерциальной*. Имея одну инерциальную систему, мы можем найти бесконечно много других инерциальных систем, просто применяя преобразование Галилея. Однако, когда Максвелл открыл математические законы электродинамики в XIX веке, выяснилось, что преобразование Галилея не оставляет уравнения Максвелла без изменений; преобразованные уравнения предсказывают электромагнитные эффекты для движущейся системы, которые не прогнозируются в стационарной системе. Это означало, что теоретически возможно разработать электромагнитный эксперимент для обнаружения равномерного движения, и это в конечном итоге привело к знаменитому эксперименту Майкельсона–Морли в 1887 году. Этот эксперимент, сам по себе теоретически достаточно чувствительный, чтобы обнаружить движение Земли в пространстве, не смог обнаружить ни одного такого равномерного движения. Вывод очевиден: дополнительные электромагнитные эффекты, предсказанные преобразованием Галилея, не существуют, и преобразование неверно, даже если оно работает с законами механики. В чем же дело?

Ответ основан на краеугольном камне относительности: идея о том, что *все* законы физики должны выглядеть одинаково для наблюдателей в равномерном относительном движении. То есть специальной или предпочтительной системы координат не существует – *все* инерциальные системы эквивалентны во всех областях физики. Данные чрезвычайно широкого спектра чувствительных экспериментов к концу XIX века убедили ученых в том, что уравнения Максвелла верны. Таким образом, потребовалось новое преобразование, которое оставляет как законы механики, так и законы электродинамики неизменными в равномерном движении. Поэтому наличие преобразования, которое работает как с уравнениями Максвелла, так и с механическими законами, будет означать, что механические законы Ньютона являются неправильными. Это был потрясающий вывод, потому что Ньютон не подвергался сомнению в течение двух веков.



Однако оказалось, что законы Ньютона были почти правильными. Единственная необходимая поправка – это идея о том, что масса движущегося тела зависит от скорости и изменяется как

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}},$$

где  $m_0$  – масса покоя, когда  $v = 0$ . Зависимость массы от скорости в 1901 году экспериментально подтвердил Герман Вальтер Кауфманн. Этот эффект показывает, что масса  $m$  бесконечна при  $v = c$ , если только  $m_0 = 0$  (как для фотона), что является одной из причин невозможности ускорения массы (например, космического корабля) до скорости света; это потребовало бы бесконечной энергии. С учетом этой поправки преобразование, которое оставляет все законы неизменными по форме при равномерном движении, имеет вид:

$$\begin{aligned} y &= y' \\ z &= z' \\ x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \\ t' &= \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \end{aligned}$$

Эти уравнения называются *преобразованием Лоренца* в честь голландца Хендрика Антона Лоренца (1853–1928), который открыл их в 1904 году путем прямого математического преобразования уравнений Максвелла. (Некоторые историки отдают приоритет изучения уравнений Максвелла ирландскому физику Джозефу Лармору (1857–1942), поскольку его работа была опубликована в 1900 году.) Эйнштейн в 1905 году показал, как вывести уравнения преобразования, оперируя фундаментальными понятиями пространства и времени, не заботясь о деталях конкретных законов.

После простых алгебраических подстановок уравнения преобразования могут быть переписаны как

$$\begin{aligned} ct &= \gamma ct' + \beta \gamma x' \\ x &= \beta \gamma ct' + \gamma x, \end{aligned}$$

где

$$\beta = \frac{v}{c}$$

и

$$\gamma = \frac{1}{1 - \beta^2}$$

являются безразмерными константами. Интересно отметить, что все члены в обоих уравнениях имеют единицы *пространства*, в том числе и те, которые включают время. В компактной матричной форме преобразование Лоренца имеет вид

$$\begin{bmatrix} ct \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ \beta\gamma & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct' \\ x' \end{bmatrix},$$

а симметричная матрица  $2 \times 2$  называется матрицей преобразования Лоренца, или просто *преобразованием*. Обратите внимание, что при  $v = 0$  (нулевое преобразование) матрица преобразования сокращается до единичной матрицы; то есть две системы – это одна и та же система, только с постоянным сдвигом точки отсчета. Отметим также, что  $\beta = 0$  и  $\gamma = 1$  для *любой*  $v$ , когда  $c$  бесконечна, то есть матрица преобразования снова сводится к единичной матрице, и преобразование Лоренца становится галилеевым, *если*  $c$  бесконечна. Но скорость света  $c$  не бесконечна, и все последствия специальной теории относительности являются прямым результатом *конечной* скорости света.

Преобразование Лоренца включает два результата, которые мы получили в разделах 3.4 и 3.8, используя специальные выкладки. Например, в разделе 3.4 мы обнаружили, что одновременность является относительным понятием в системах отсчета, находящихся в относительном движении. Поэтому теперь рассмотрим два события, которые происходят точно на оси  $x$ . Они одновременны в стационарной системе (например, в момент времени  $t = T$ ), но находятся в разных местах (например, в  $x = X$  и  $x = X + \Delta X$ ). По мнению движущегося наблюдателя, они происходят в моменты

$$t'_1 = \frac{T - \frac{vX}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

и

$$t'_2 = \frac{T - \frac{v(X + \Delta X)}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Следовательно, для движущегося наблюдателя два события не являются одновременными, а разделены во времени

$$t'_1 - t'_2 = \frac{v\Delta X}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Равенство  $t'_1 = t'_2$  возникает только при условии  $\Delta X = 0$  (два события происходят в одном месте). То есть только если  $\Delta X = 0$ , одновременные события в одной системе также являются одновременными в другой системе в относительном движении.

В разделе 3.8 мы обнаружили, что в движущейся системе время течет медленнее относительно часов в стационарной системе. К этому выводу можно легко прийти, используя уравнение  $t'$  в преобразовании Лоренца. Таким образом, дифференцируя по  $t$ , мы получим

$$\frac{dt'}{dt} = \frac{1 - \frac{v}{c^2} \frac{dx}{dt}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Но

$$\frac{dx}{dt} = v,$$

скорость движущейся системы отсчета, измеренная наблюдателем в стационарной системе. Отсюда следует

$$dt' = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} dt,$$

что является тем же самым результатом, который мы получили, анализируя фотонные часы.

Преобразование Лоренца содержит много других следствий, не упомянутых в предыдущих разделах. Например, я часто ссылался на принцип относительности, который гласит, что равномерное движение не влияет на форму физических законов, но как мы узнаем, кто движется, а кто неподвижен? В конце концов, система, движущаяся вправо со скоростью  $v$  мимо стационарной системы, может также рассматриваться как стационарная система, в которой другая система движется *влево* со скоростью  $-v$ .

На самом деле можно инвертировать преобразование Лоренца и найти решение для переменных без штриха через переменные со штрихом, и это именно то, что нам нужно, – снова преобразование Лоренца, с заменой

$v$  на  $-v$ . То есть преобразование Лоренца симметрично, поэтому два наблюдателя в разных системах отсчета говорят, что часы другого наблюдателя идут медленнее! Фактически это следует непосредственно из исходного преобразования, записанного в матричной форме. То есть, умножив на обратную матрицу преобразования, мы получим

$$\begin{bmatrix} ct' \\ x' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & \beta\gamma \\ \beta\gamma & \gamma \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} ct \\ x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma & -\beta\gamma \\ -\beta\gamma & \gamma \end{bmatrix} \begin{bmatrix} ct \\ x \end{bmatrix}.$$

Единственная разница между исходной матрицей преобразования и обратной матрицей (которая, конечно, является прямой матрицей преобразования для новой интерпретации того, какая система движется) – это изменение знака  $\beta$ , то есть знака  $v$ . Обратное преобразование записывается так:

$$y = y'$$

$$z = z'$$

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}$$

$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

В качестве последнего примера преобразования Лоренца рассмотрим так называемую задачу сложения скоростей. Предположим, вы находитесь на скоростном космическом корабле, летящем от Земли со скоростью  $v$ . Земля – это стационарная система, а космический корабль – движущаяся система. (Предположим, что оси  $x$  и  $x'$  расположены вдоль направления движения.) Представьте, что затем вы стреляете из пистолета в направлении носа вашего космического корабля, пуля выходит из ствола со скоростью  $w$ . Как быстро пуля удаляется от Земли? Преобразование Галилея и здравый смысл говорят нам, что ответ  $v + w$ , но теперь мы знаем, что это преобразование неверно. Что говорит преобразование Лоренца? Внутри космического корабля положение пули в момент времени  $t'$  после выстрела (при условии, что пистолет стреляет в момент, когда корабль проходит Землю)

$$x' = wt'.$$

Из обратного преобразования Лоренца находим положение пули в системе Земли:

$$x = \frac{x' + vt'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{w + v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} t'.$$

Преобразование говорит нам, что

$$t = \frac{t' + \frac{vx'}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1 + \frac{wv}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} t'.$$

Следовательно, скорость пули в системе отсчета Земли:

$$\frac{x}{t} = \frac{w + v}{1 + \frac{wv}{c^2}}.$$

Обратите внимание, что для низкоскоростной пули ( $w \ll c$ ) этот результат близок к  $w + v$ , но на высоких скоростях он очень сильно отличается. Действительно, предположим, что мы вообще не стреляем из пистолета, а заменяем его фонариком. Теперь вместо пули мы выпускаем фотоны со скоростью  $w = c$ . Преобразование Галилея утверждает, что стационарный наблюдатель на Земле будет видеть фотоны, движущиеся со сверхсветовой скоростью  $v + c$ . Преобразование Лоренца говорит, что наблюдатель на Земле зарегистрирует скорость

$$\frac{c + v}{1 + \frac{cv}{c^2}} = \frac{c^2(c + v)}{c^2 + cv} = \frac{c^2(c + v)}{c(c + v)} = c.$$

То есть, независимо от скорости движущегося наблюдателя, он видит свет от своего фонарика, движущийся с той же скоростью, что и неподвижный наблюдатель. Этот специфический эффект уникален для скорости света ( $w = c$ ). Мы получили этот эффект как следствие преобразования Лоренца, но на самом деле Эйнштейн прошел этот путь в обратную сторону. Он начал с постулирования инвариантности скорости света для всех наблюдателей в равномерном относительном движении, объединил эту идею с принципом относительности, который говорит, что все физические законы выглядят одинаково для этих наблюдателей, а затем вывел преобразование Лоренца, не выходя за пределы алгебры.

Фактически этот результат был впервые получен великим французским теоретиком Анри Пуанкаре (1854–1912) в июне 1905 года, за три месяца до публикации знаменитой статьи Эйнштейна по специальной теории относительности, которая также выводит уравнение сложения скоростей. Имен-

но Пуанкаре дал преобразованию Лоренца имя, и он также был первым, кто определенно сформулировал принцип относительности, охватывающий все законы, как электромагнитные, так и механические. В своем обращении к Международному конгрессу искусств и науки Пуанкаре специально заявил, что в механике специальной теории относительности «скорость не может превзойти скорость света, как любая температура не может упасть ниже абсолютного нуля».

Математически элегантный альтернативный вывод формулы сложения скоростей можно выполнить, просто заметив, что операция двух последовательных преобразований сама по себе должна быть преобразованием. Таким образом, если у нас есть система, движущаяся относительно второй системы (которая сама перемещается относительно третьей системы), то матрица преобразования первой системы относительно третьей системы является произведением двух отдельных матриц. Таким образом,

$$\begin{bmatrix} \gamma_3 & \beta_3\gamma_3 \\ \beta_3\gamma_3 & \gamma_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_2 & \beta_2\gamma_2 \\ \beta_2\gamma_2 & \gamma_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \gamma_1 & \beta_1\gamma_1 \\ \beta_1\gamma_1 & \gamma_1 \end{bmatrix}.$$

Отсюда можно легко вывести

$$\beta_3 = \frac{\beta_1 + \beta_2}{1 + \beta_1\beta_2}.$$

Подстановка

$$\beta_1 = \frac{w}{c}, \quad \beta_2 = \frac{v}{c}$$

сразу дает нам формулу добавочной скорости.

Вопрос, представляющий большой интерес для историков науки, – что побудило Эйнштейна принять неочевидную неизменность скорости света как данность. Кажется, ничто другое не восстановит ход мысли Эйнштейна лучше, чем предсказание по уравнениям Максвелла точного числового значения скорости света в пустом пространстве, независимо от скорости системы наблюдателя, которое могло стать решающим стимулом. Это предсказание было известно, конечно, многим другим, но только Эйнштейн нашел в себе смелость использовать то, что говорили уравнения Максвелла, и довести прогноз до логического завершения. Экспериментальная проверка неизменности скорости света была окончательно выполнена в 1932 году.

Традиционное описание истории открытия Эйнштейном теории относительности рассказывает о том, что в подростковом возрасте его одолевало любопытство по поводу того, как будет выглядеть луч света, если можно будет бежать рядом с ним. Это довольно необычные мысли для

подростка, даже Эйнштейна. Что могло вызвать такую мысль в его голове? Я только предполагаю сейчас (и я не видел этого в другом месте), но в 1895 году французский астроном Камиль Фламарион опубликовал роман, целиком посвященный обсуждению свойств света, в том числе того, что можно было бы увидеть, если бы можно было мчаться рядом с лучом света. Идеи Фламариона в основном ошибочны, но не мог ли Эйнштейн приобрести экземпляр этой книги-бестселлера? В 1895 году Эйнштейну было шестнадцать лет – возраст, в котором он начал размышлять над этими вопросами.

### 3.10. Диаграммы пространства-времени, световые конусы, метрики и инвариантные интервалы

*У физиков есть описание пространства-времени, которое кто угодно сочтет метафорой, поскольку фраза о том, что время расположено «под прямым углом к каждому из трех других измерений», выходит за рамки здравого смысла. Может ли кто-нибудь воспринимать это иначе, кроме как способ рисования чертежей?*

– Точка зрения философа (Мандл, 1967)

*Это с самого начала представляет собой погружение в описательную метафизику. Поэтому мне нечего сказать о дважды дифференцируемых лоренцевых многообразиях, диаграммах Минковского, мировых линиях, времениподобных разделениях, пространственно-временных червах или областях времени. Это, безусловно, концепции с безупречными основаниями, когда их применяют к месту, но они совершенно чужды повседневному пониманию времени.*

– Точка зрения другого философа (Розенберг, 1972)

При обсуждении пространства-времени специальной теории относительности полезно использовать (несмотря на то что написали эти два философа) так называемые *диаграммы пространства-времени Минковского*. Это графики пространственно-временных координат частицы; полученная кривая называется *мировой линией* частицы. Такие диаграммы являются четырехмерными – три пространственные оси и одна временная ось – и, следовательно, их трудно представить (а тем более нарисовать)! Соглашение состоит в том, чтобы по возможности обходиться упрощенным пространством-временем, которое имеет только одну пространственную ось (горизонтальную) и одну ось времени (вертикальную). Таким образом, для частицы, находящейся в состоянии покоя в системе отсчета какого-либо наблюдателя, ее пространственно-временная диаграмма для этого наблю-

дателя представляет собой вертикальную мировую линию. Если частица движется, ее мировая линия отклоняется от вертикали, а для ускоряющейся частицы мировая линия *искривляется* от вертикали. Прямые (неизогнутые) мировые линии представляют неускоренные частицы, то есть частицы, не испытывающие воздействия сил и находящиеся в свободном падении. На рис. 3.5 я показываю мировые линии для этих различных случаев на одних и тех же осях. Предполагается, что все три частицы имеют координату  $x = x_0$ , когда  $t = 0$ .

Мировые линии свободного падения называются *геодезическими* в пространстве-времени. В обычном понимании путь с минимальной длиной, соединяющий две точки на поверхности, называется геодезическим на этой поверхности. В разделе 3.11 показано, что геодезические пути пространства-времени действительно обладают экстремальным свойством, но это не минимум, а *максимум*. Диаграммы пространства-времени могут вводить в заблуждение по этому вопросу, поэтому важно помнить, что такие диаграммы не являются идеальным представлением всех свойств пространства-времени.

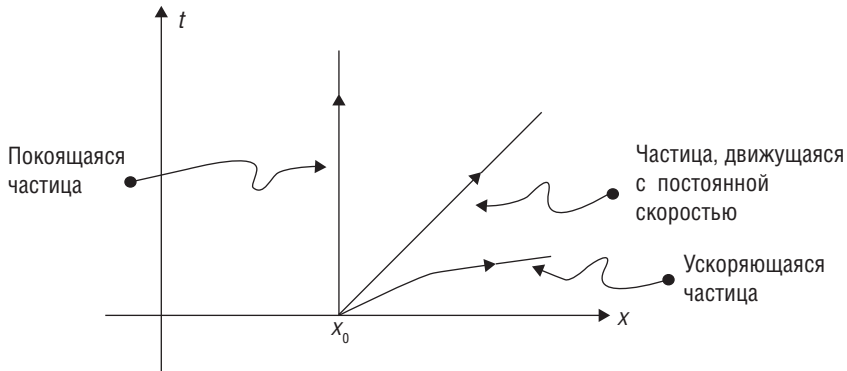


Рис. 3.5. Мировые линии трех частиц

Стало привычным рисовать эти диаграммы со скоростью света, равной единице ( $c = 1$ ). То есть расстоянию 300 000 километров по оси  $x$  соответствует одна секунда по оси  $t$ . Это означает, что мировая линия фотона отклонена от вертикальной оси времени на  $45^\circ$ . Поскольку фотоны могут перемещаться в обоих космических направлениях в нашем упрощенном пространстве-времени, а скорость света является предельной скоростью (или как обычно полагают), мы можем представить совокупность всех возможных мировых линий в виде путей, которые никогда не наклоняются больше, чем  $45^\circ$  от вертикали, как на рис. 3.6.



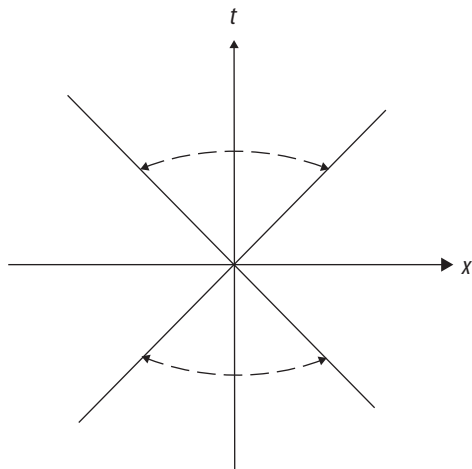


Рис. 3.6. Мировые линии фотонов

На рис. 3.7 я принял  $x = 0$  при  $t = 0$  для всех возможных мировых линий со скоростями ниже скорости света. Давайте согласимся называть эту точку в пространстве-времени «здесь-сейчас». Тогда точки в восходящем регионе находятся в будущем *здесь-сейчас*. Эти области называются световыми конусами, потому что если бы мы включили второе пространственное измерение, скажем, направленное вертикально к странице, то восходящие и нисходящие области были бы конусами. Мы можем нарисовать прямую мировую линию из *здесь-сейчас* в любую точку конуса будущего с наклоном менее  $45^\circ$  от вертикали, то есть частица могла бы перемещаться из *здесь-сейчас* в эту точку со скоростью, меньшей скорости света. Точно так же частица, начинающая свой путь в любой точке конуса прошлого, могла бы достичь *здесь-сейчас*, двигаясь со скоростью, меньшей скорости света. Такие мировые линии называются *временеподобными*, потому что их проекция на ось времени больше, чем их проекция на пространственную ось, и они являются мировыми линиями точек пространства-времени, которые, по крайней мере, потенциально причинно связаны. То есть причина в точке пространства-времени в конусе прошлого могла оказать влияние на событие в *здесь-сейчас*, даже если ее влияние распространялось со скоростью, меньшей скорости света. Кроме того, причина в *здесь-сейчас* может потенциально повлиять на событие в любой точке конуса будущего.

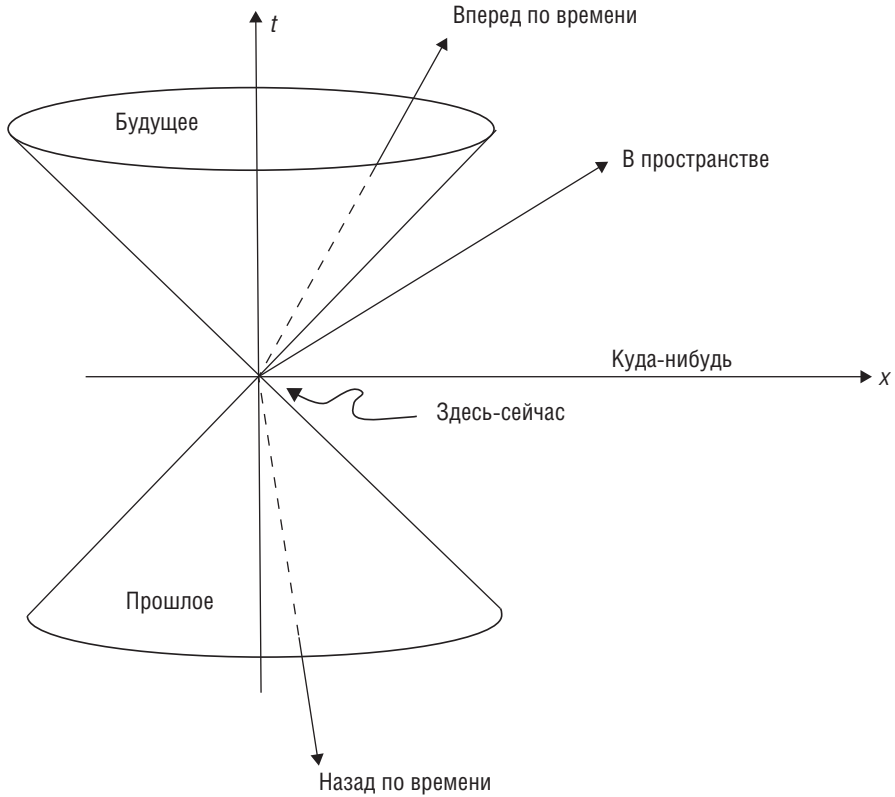


Рис. 3.7. Световой конус с пространственно-подобными и времениподобными мировыми линиями

Любые точки в областях пространства-времени вне конусов будущего и прошлого не могут быть достигнуты из *здесь-сейчас*, кроме как мировыми линиями, наклоненными более чем на  $45^\circ$  от вертикали. Такие мировые линии, которые представляют движение со скоростью, превышающей скорость света, называются *пространственно-подобными*, потому что их проекция на ось пространства больше, чем их проекция на ось времени. Эти мировые линии не могут соединить причинно-следственные события, и все вместе они образуют неопределенность, окружающую *здесь-сейчас*. Очень важно понимать, что каждая точка в пространстве-времени имеет свой световой конус. Таким образом, если В находится в конусе будущего А, то А находится в конусе прошлого В.

Этот воображаемый световой конус часто полезен тем, что на первый взгляд довольно абстрактные идеи становятся почти очевидными. Например, рассмотрим следующий извечный вопрос: можно ли предсказать будущее? Или как просил Шекспир устами Банко (в первом акте, сцена 3):

*Коль вы способны, сев времен предвидя,  
Сказать, чьи семена взойдут, чьи – нет,  
Судьбу и мне откройте...*

Говоря более прозаично, может ли наблюдатель предсказать свое собственное будущее на основе совершенного знания своего прошлого? Простой ответ: «Нет, потому что квантовые неопределенности запрещают совершенное знание даже настоящего, а тем более прошлого». Но предположим, что мы игнорируем квантовую механику и ограничиваем наш вопрос вселенной, которая подчиняется только классической физике (в том числе специальной и общей теории относительности). Возможно, вы удивитесь, но ответ прежний – нет. Наличие совершенного знания о своем прошлом световом конусе не включает в себя знание *всего* прошлого, поэтому, если вы попытаетесь предсказать свое собственное будущее (скажем, через минуту), в вашем текущем месте могут быть влияния, которые появятся в будущем (скажем, через пятьдесят девять секунд), о которых вы, по определению, *не можете* знать. А без этого знания вы не сможете предсказать будущее. Как Хогарт забавно завершает работу по пространству-времени на эту тему, «перспектива предсказания будущего выглядит довольно безрадостной».

Диаграмма пространства-времени не всегда должна иметь мировые линии, направленные в будущее. Если частица движется назад во времени (предположим, что это возможно), тогда диаграмма может отразить это в виде двойного изгиба, как на рис. 3.8. В этом примере мировая линия изгибается назад и произвольно приближается к себе. Это мировая линия частицы, которая посещает себя в прошлом. Обратите внимание, что мировая линия на самом деле не касается и не пересекает себя, потому что это будет представлять собой нечто большее, чем просто посещение, – она будет представлять частицу, занимающую то же пространственное положение, в то же время, что и ее более раннее «я». Это было бы катастрофично, и, как мы увидим в четвертой главе, этого не может произойти, потому что этого не произошло. Стрелки на мировой линии всегда указывают в направлении собственного будущего частицы; например, если частица – человек, то воспоминания формируются в направлении стрелок. Путешественник во времени в В имеет больше воспоминаний, чем в А, даже если А и В – почти идентичные места в пространстве-времени.

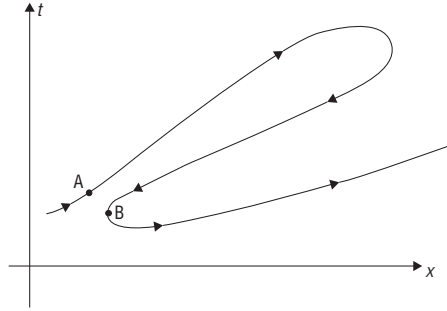


Рис. 3.8. Мировая линия частицы, движущейся назад во времени из точки A в точку B

Здесь есть проблема, которую, возможно, заметил читатель: невозможно нарисовать подобную дважды изогнутую мировую линию таким образом, чтобы во всех местах она никогда не отклонялась более чем на  $45^\circ$  от вертикали. То есть, по крайней мере, некоторая часть такой изогнутой мировой линии будет иметь

$$\left| \frac{dx}{dt} \right| > 1,$$

что означает движение быстрее света. (Я вернусь к этому более подробно в разделе 6.1.) Один из способов сохранить субсветовую скорость на изгибе мировой линии – это устроить так, чтобы световые конусы вдоль мировой линии были наклонены относительно друг друга, как показано на рис. 3.9, что возможно только в искривленном пространстве-времени. Это иллюстрация того, как общая теория относительности локально подчиняется требованию специальной теории относительности о том, что ничто не движется быстрее света, и тем не менее в глобальном масштабе в искривленном пространстве-времени все не так просто. В плоском пространстве-времени световые конусы всегда «выровнены», но в искривленных пространствах они (как правило) не совпадают, и благодаря этому становится возможным путешествие во времени в прошлое.

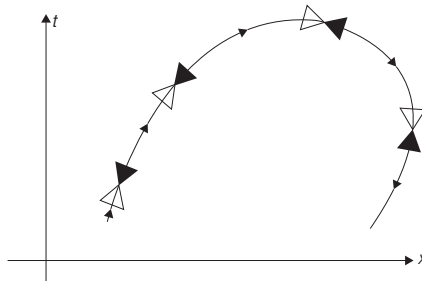


Рис. 3.9. Наклонные световые конусы. Половины, соответствующие будущему, закрашены

Примером механизма для перемещения во времени служит вращающийся цилиндр Тiplера, о котором мы поговорим в разделе 6.2. Даже простое присутствие массы наклоняет световые конусы, но эффект незаметен в повседневной жизни на Земле. Чтобы заметно отклонить световые конусы будущего в сторону массивного тела, необходима невероятно большая плотность материи. Если массивное тело приведено во вращение, то еще одно следствие общей теории относительности Эйнштейна проявляется в том, что локальные световые конусы дополнительно наклоняются в направлении вращения; то есть конусы будущего в пространстве-времени открываются как по направлению к телу, так и по направлению вращения. Наклон светового конуса необходим для путешествий во времени в прошлое.

Теперь должно быть ясно, что единственный способ, которым мировая линия может изогнуться и приблизиться к себе, – это изменить обе координаты  $x$  и  $t$ . Другими словами, мировая линия частицы, которая остается неподвижной в пространстве и меняет направление своего времени, *наталкивается на себя*. Вот почему классическая машина времени Уэллса не может работать. Любая реальная машина времени должна двигаться как в пространстве, так и во времени, как и ракета Гёделя или автомобиль «DeLorean» в фильмах «Назад в будущее». Идея искривления мировых линий для путешествий во времени быстро вошла в научную фантастику. Например, когда изобретателя машины времени в рассказе 1939 года «Когда будущее умирает» (Шахнер) спрашивают о принципе, лежащем в основе его машины, он отвечает: «Электромагнитная деформация континуума пространства-времени. Машина, если она сработает, будет скользить вокруг мировой линии событий и появляться снова в любом указанном времени и месте». Изогнутые мировые линии появились в «теории» путешествий во времени (так называемая теория струн!), приписываемой физико-герою телевизионного сериала «Квантовый скачок». В этой теории человеческие жизни подобны кусочкам струны: один конец – это рождение, другой – смерть, а каждый день жизни – это точка на струне между двумя концами. Связывание концов дает петлю во времени, и если вы замкнете концы в петлю, а затем сложите петлю вдвое, «тогда каждый день вашей жизни будет касаться другого дня». Эта поэтическая картина «объясняет», почему путешествие во времени в сериале было ограничено жизнью самого путешественника, но, увы, нет ни слова о том, как это сделать!

Используя уравнения преобразования Лоренца, мы можем установить довольно общие отношения между событиями в областях будущего, прошлого и в области неопределенности. Например, (1) все события в будущем/прошлом для наблюдателя *здесь-сейчас* находятся в будущем/прошлом для любого другого находящегося поблизости наблюдателя в относительном движении; (2) любое событие в другом месте может показаться одновременным с *здесь-сейчас* для одного наблюдателя и неодновременным для других наблюдателей; и (3) временной порядок (отношения *до* и *после*) причинно связанных событий одинаков для всех наблюдателей. Это не так для собы-

тий, которые не имеют причинно-следственной связи; если два события имеют пространственное разделение, то два наблюдателя могут расходиться во мнениях относительно временного порядка событий. Фактически это является основой для машины времени на основе двух червоточин и машины времени на космической струне, которые обсуждаются, соответственно, в разделах 6.3 и 6.4.

Все эти утверждения легко доказать. Рассмотрим, например, утверждение (1). Из раздела 3.9 мы знаем ( $c = 1$ , как и раньше), что

$$t' = \frac{t - vx}{\sqrt{1 - v^2}} \text{ и } x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2}},$$

где  $t$  и  $x$  – координаты некоторого события  $A$ , измеренные наблюдателем в неподвижной системе координат, а  $t'$  – время, измеренное наблюдателем в подвижной системе координат, движущейся со скоростью  $v$ . Тогда

$$x'^2 - t'^2 = \frac{(x - vt)^2 - (t - vx)^2}{1 - v^2} = \left[ \begin{array}{l} \text{после небольших} \\ \text{вычислений} \end{array} \right] x^2 - t^2.$$

Для неподвижного наблюдателя критерием события в конусе будущего является неравенство  $t > |x|$ , т. е.  $t^2 > x^2$ . Следовательно, для всех событий в будущем  $x^2 - t^2 < 0$ . Но из предыдущего вывода также следует  $x'^2 - t'^2 < 0$ , что служит критерием будущего для подвижного наблюдателя. Аналогичные аргументы подтверждают согласие неподвижного и подвижного наблюдателей относительно событий прошлого.

Далее предположим, что два события  $A$  и  $B$  происходят так, что неподвижный наблюдатель регистрирует интервал времени между ними  $\Delta T = t_B - t_A$ . Теперь мы можем записать утверждение (2) в виде

$$t'_A = \frac{t_A - vx_A}{\sqrt{1 - v^2}} \text{ и } t'_B = \frac{(t_B + \Delta T) - vx_B}{\sqrt{1 - v^2}},$$

следовательно:

$$\Delta T' = t'_B - t'_A = \frac{\Delta T + v(x_A - x_B)}{\sqrt{1 - v^2}}.$$

Отсюда следует  $\Delta T' = 0$ , то есть одновременность двух событий для специального наблюдателя, движущегося со скоростью

$$v = \frac{\Delta T}{x_B - x_A},$$

и эта скорость меньше, чем скорость света при условии  $x_B - x_A > \Delta T$ . Это подразумевает, что  $B$  происходит в месте, отличающемся от  $A$ . На самом деле

мы можем даже иметь  $\Delta T' < 0$  (при  $\Delta T > 0$ ) для  $v < 1$  в данном случае пространственно-подобного разделения  $A$  и  $B$ . Таким образом, неподвижный наблюдатель и движущийся с околосветовой скоростью наблюдатель могут иметь разное мнение о порядке событий с пространственно-подобным разделением.

Аналогично, чтобы событие  $B$  находилось в причинном будущем события  $A$ , необходимо соблюдение условия  $x_B - x_A < \Delta T$ . Следовательно:

$$\Delta T' = \frac{\Delta T - v(x_B - x_A)}{\sqrt{1 - v^2}} > \frac{\Delta T - v\Delta T}{\sqrt{1 - v^2}} = \Delta T \frac{1 - v}{\sqrt{1 - v^2}}.$$

Таким образом,  $\Delta T > 0$  означает  $\Delta T' > 0$  для  $v < 1$ , и это дает нам утверждение (3).

Если бы мы рисовали диаграммы с обеими осями, представляющими пространство (например, график зависимости  $y$  от  $x$ ), мы определяли бы метрику расстояния для диаграммы, используя наши повседневные представления о расстоянии. То есть мы могли бы сказать, что если мы совершаем дифференциальные перемещения  $dx$  и  $dy$  вдоль двух координатных осей, то дифференциальное расстояние  $ds$  определяется как

$$(ds)^2 = (dx)^2 + (dy)^2.$$

Это, конечно же, банальная теорема Пифагора для «евклидовой», или «прямолинейной», функции расстояния. Но это не единственная возможная функция расстояния. Функция расстояния обладает несколькими интересными свойствами, однако в данном случае нас особенно интересует ее инвариантность относительно системы координат. Например, если мы рисуем отрезок линии на плоском листе бумаги, расстояние между его концами не зависит от того, как мы выбираем оси  $x$  и  $y$ , что показано на рис. 3.10. Координаты для конечных точек  $A$  и  $B$ , очевидно, различны в двух системах, но мы все же находим, что  $(dx)^2 + (dy)^2 = (dx')^2 + (dy')^2$ . Мы говорим, что функция расстояния Пифагора *инвариантна* – она одинакова для всех систем координат. Математики определили общие свойства расстояния следующим образом: если  $A$  и  $B$  – любые две точки и если  $d(A, B)$  – расстояние между  $A$  и  $B$ , то (1)  $d(A, B) = d(B, A)$ ; (2)  $d(A, B) = 0$  тогда и только тогда, когда  $A = B$ ; и (3) если  $C$  – любая третья точка, то  $d(A, B) \leq d(A, C) + d(C, B)$ . Функция расстояния Пифагора обладает этими тремя свойствами, как и многие другие функции.

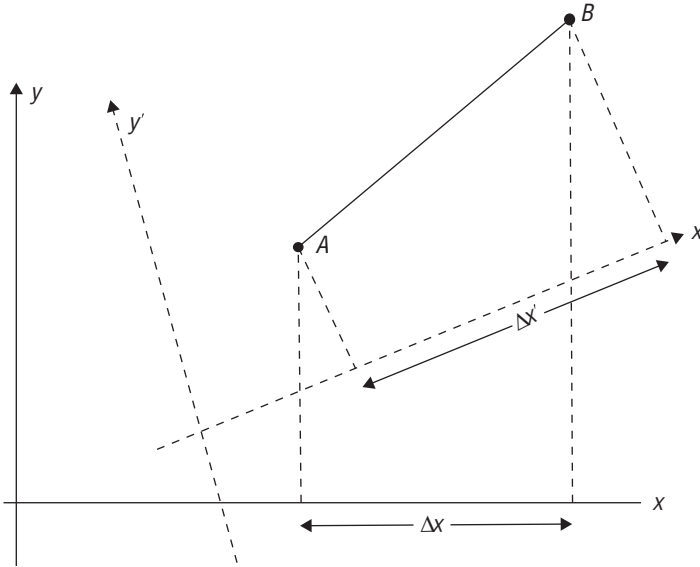


Рис. 3.10. Поворот и сдвиг системы координат

Мы знаем, что разные наблюдатели, находясь в относительном движении в одном и том же пространстве-времени, будут видеть разные пространственные и временные координаты одного и того же события. Таким образом, естественно спросить: что такое метрика расстояния для плоского пространства-времени? Есть ли метрика, которая дает одинаковое расстояние между двумя событиями для всех наблюдателей? Мы можем попытаться выполнить очевидное обобщение теоремы Пифагора:

$$(ds)^2 = (dt)^2 + (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2,$$

включив в нее все четыре измерения. Затем мы спросим себя, правда ли, что

$$(ds)^2 = (ds')^2 = (d't)^2 + (dx')^2 + (dy')^2 + (dz')^2?$$

В случае нашего простого двумерного пространства-времени мы спрашиваем, справедливо ли равенство

$$(dt)^2 + (dx)^2 = (d't)^2 + (dx')^2?$$

Используя уравнения преобразования Лоренца, легко обнаружить, что ответ – нет. «Естественное» обобщение расстояния Пифагора для плоского двумерного пространства-времени не работает, если включены четыре измерения. Что же нам теперь делать? Вспоминая первую цитату, которая открыла этот раздел, мы могли бы задаться вопросом, а не возникает ли проблема из-за того, что не существует четвертого направления, вдоль которого ось времени может указывать под прямым углом к трем простран-



ственным измерениям. По крайней мере, нет реального направления, но, возможно, есть воображаемое. Давайте попробуем снова с  $i = \sqrt{-1}$ :

$$(ds)^2 = (idt)^2 + (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2 = -(dt)^2 + (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2.$$

Использование воображаемого времени, что, кажется, находится в сфере научной фантастики, привело к изменению знака  $(dt)^2$ . Однако это принципиальное изменение, потому что этот новый показатель является инвариантным, как я сейчас продемонстрирую. По причине, которая будет объяснена в следующем разделе (3.11), я буду использовать отрицательный показатель этой метрики (выбор, который явно не влияет на свойство инвариантности). Таким образом,

$$(ds)^2 = (dt)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2.$$

Для нашего упрощенного пространства-времени с одним пространственным измерением это сводится к

$$(ds)^2 = (dt)^2 - (dx)^2.$$

Как и прежде, уравнения преобразования Лоренца (при  $c = 1$ ) имеют вид:

$$t' = \frac{t - vx}{\sqrt{1 - v^2}} \text{ и } x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - v^2}}.$$

Если мы вычислим  $dx'$  и  $dt'$  из этих уравнений, используя

$$dx' = \frac{\partial x'}{\partial x} dx + \frac{\partial x'}{\partial t} dt, \quad dt' = \frac{\partial t'}{\partial x} dx + \frac{\partial t'}{\partial t} dt,$$

которые являются фундаментальными соотношениями для полного дифференциала функции двух переменных, и подставляя результаты в  $(dt')^2 - (dx')^2$ , мы быстро обнаруживаем неизменность этой величины (результат, к которому мы фактически пришли ранее другим путем, когда показали, что наблюдатели в относительном движении сходятся во мнении о том, какие события лежат в будущем и какие события лежат в прошлом). Таким образом,

$$(dt')^2 - (dx')^2 = (dt)^2 - (dx)^2.$$

Эта величина по обе стороны от равенства называется пространственно-временным *интервалом* между двумя событиями, разделенными в плоском пространстве-времени либо  $dt$ ,  $dx$ ,  $dy$  и  $dz$ , либо  $dt'$ ,  $dx'$ ,  $dy'$  и  $dz'$ ; то есть  $(ds)^2 = (ds')^2$ . Наблюдатели в системах со штрихом и без штриха видят разные пространственно-временные разделения для двух событий, но они видят одинаковый интервал. Говорят, что одно время и три пространственные координаты образуют четырехмерный вектор, инвариантный относительно преобразования Лоренца. Существуют и другие четырехмерные векторы, которые также инвариантны относительно преобразования Лоренца, такие как энергия-импульс, скорость и сила. Все они имеют инварианты, которые фор-

мируются одинаково, подстановкой разности квадратов компонента времени и суммы квадратов компонентов пространства. Смещение пространства и времени возникло на ранних этапах научной фантастики, но часто в комичной форме. Например, в рассказе 1930 года «Атом-сокрушитель» (Руссо), когда злой ученый использует свою машину времени для доставки пленных в прошлое, он говорит им: «У нас впереди длинное путешествие, десять тысяч лет, умноженные на две тысячи миль в четвертой степени».

Появление квадратного корня из  $-1$  в координатной части метрики времени кажется довольно четким признаком того, что время отличается от пространства. Но тем не менее пространственное толкование времени глубоко укоренилось в западной культуре. Например, мне показалось примечательным, что при написании своей популярной исторической работы, в которой проводились параллели между четырнадцатым и двадцатым веками, Барбара Тучман назвала ее «Далекое зеркало», а не «Старое зеркало». Она могла быть уверена, что ее читатели правильно поймут значение слова «далекое» по отношению ко времени. Один из писателей-фантастов особенно нелепо позабыл над отношениями между пространством и временем в своей повести «Вне времени» (Хоган). Там мир захвачен «хрононорами», многомерными жуками, которые пожирают время и *испражняются пространством*.

Теперь немного отвлечемся. В *общей* теории относительности метрика любого четырехмерного пространства-времени имеет симметричную квадратичную риманову форму

$$(ds)^2 = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 g_{ij}(dx_i)(dx_j), g_{ij} = g_{ji},$$

где  $x_1 = t$ ,  $x_2 = x$ ,  $x_3 = y$  и  $x_4 = z$ , а все  $16g$  являются функциями этих четырех переменных. (Из-за условия симметрии только 10 из них являются независимыми.) В этой нотации *плоское* пространство-время характеризуется как  $g_{11} = 1$ ,  $g_{22} = g_{33} = g_{44} = -1$ ,  $g_{ij} = 0$  при  $i \neq j$ . Для данного пространства-времени можно произвольно выбрать бесконечно много систем координат. Если только одна из этой бесконечности систем такова, что встречаются значения  $g^{\pm 1,0}$ , то это пространство-время глобально – везде – плоское. Если таковой системы координат не существует, то это пространство-время обязательно искривлено.

Если эта нотация расширена до пятого измерения путем включения  $x_5$ , то есть еще восемь недиагональных  $g$ , т. е. четыре новых независимых  $g$ . Этого достаточно для описания электромагнитного поля, а также гравитационного поля, описанного другими десятью  $g$ . Вот что означает высказывание, что пятимерное пространство-время «объединяет» гравитацию и электромагнетизм. Существует также член  $g_{55}$ , который можно либо задать равным 1 (как и другие  $g_{ij}$ ), либо разрешить ему меняться (что может моделировать медленно меняющуюся ньютоновскую гравитационную по-

стоянную, предложенную Дираком в 1938 году). Функции  $g$  являются компонентами так называемого метрического тензора второго ранга этого пространства-времени. Функция  $g$  в каждой точке в пространстве-времени связана с кривизной пространства-времени в этой точке, которая, в свою очередь, зависит от  $g$  и плотности энергии в этой точке. Фактически уравнения для  $g$ , которые являются уравнениями гравитационного поля Эйнштейна, являются нелинейными и связанными. То есть  $g_{ij}$  в общем случае является нелинейной функцией  $g_{ik}$ , что объясняет пресловутую сложность нахождения аналитических решений уравнений поля, за исключением некоторых весьма особых случаев, таких как вращающиеся сферы и вращающиеся бесконечные цилиндры.

В качестве примера этой нелинейности рассмотрим утверждение Роджера Пенроуза о том, как происходит гравитационный коллапс в веществе, находящемся под большим давлением, – условие, которое, как мы интуитивно считаем, должно противостоять дальнейшему коллапсу: «В общей теории относительности давление само по себе является источником дополнительного гравитационного притяжения. Когда вещество достаточно сконцентрировано, дополнительное гравитационное притяжение за счет давления значительно превышает прямое влияние самого давления. Повышенное давление увеличивает тенденцию к коллапсу». Вторым примером нелинейности является энергия гравитационного поля, которая сама создает гравитационное поле, которое, конечно, имеет энергию, – и так далее. Такого рода вещи лежат в основе способности теории полностью объяснить наблюдаемую прецессию орбиты Меркурия – объяснение, которое не может дать линейная теория гравитации Ньютона.

Шестнадцать  $g$  часто записывают в форме матрицы  $4 \times 4$ . Фактически метрический тензор имеет второй ранг именно потому, что матрица является двумерной формой; скаляры и векторы, которые имеют формы нуля и одного измерения, являются тензорами ранга ноль и один соответственно. Совокупность алгебраических знаков основных диагональных членов ( $g_{ii}$ ) называется сигнатурой метрического тензора. Таким образом, сигнатура плоского пространства-времени Минковского записывается как  $[+, -, -, -]$ ; в более общих (изогнутых) пространствах эта же сигнатура называется *лоренцевой*. В отличие от них, сигнатура четырехмерного евклидова пространства равна  $[+, +, +, +]$ . Эта сигнатура называется *римановой*.

Мы говорим, что пространство-время Минковского, обсуждаемое в этом разделе, является *плоским*, потому что для каждого прямолинейного геодезического пути существует бесконечно много других параллельных ему путей. Это свойство плоского листа бумаги, но нужно быть осторожным, чтобы не проводить аналогию слишком далеко. Геометрия нашего пространства-времени не является евклидовой геометрией плоского листа бумаги, потому что метрика пространства-времени имеет знаки плюс и минус. Геометрия плоского пространства-времени Минковского также называется комплексно-евклидовой или псевдоевклидовой; это евклидова геометрия, но с мни-

мой координатной осью для оси времени. Плоская геометрия Минковского, в свою очередь, является частным случаем криволинейной римановой геометрии. Кривизна объясняет гравитацию, как показано в общей теории относительности Эйнштейна; наше плоское пространство-время, благодаря тому что оно не изогнуто, *не имеет гравитации*. Эти особенности физики пространства-времени оказали огромное влияние на одного из великих умов физики двадцатого века. В 1972 году Пол Дирак писал о своей первой встрече с метрикой специальной теории относительности, еще будучи студентом.

*Теперь, когда я увидел этот знак минус [ $v - (dt)^2$ ], он произвел на меня огромное впечатление. Я сразу понял, что здесь есть что-то новое. Возможно, я могу объяснить причину столь глубокого впечатления тем фактом, что раньше, когда я был школьником, меня очень интересовали отношения пространства и времени. Я много думал о них, и мне стало ясно, что время очень похоже на другое измерение, и мне пришла в голову мысль, что, возможно, существует некоторая связь между пространством и временем и что мы должны рассмотреть их с общей четырехмерной точки зрения. Однако в то время единственной геометрией, которую я знал, была евклидова геометрия, и если бы пространство и время были связаны каким-либо образом, они должны быть связаны со знаком плюс, и было очень легко увидеть, что это не сработает и приведет к бессмыслице, стоит лишь попытаться внести какие-то большие изменения на оси времени.*

Идея связать кривизну четырехмерного пространства с физическими явлениями возникла до Эйнштейна. Ее можно увидеть, например, в работе британского математика Уильяма Кингдона Клиффорда в 1870-х годах. На самом деле эта идея упоминалась даже раньше, за целое десятилетие до рождения Эйнштейна. В сноске Сильвестра (1869) мы читаем: «Хорошо известно... что мы живем в плоском или ровном пространстве, наше существование в нем можно сравнить с жизнью книжного червя на плоской странице: но что, если страница подвержена процессу постепенного изгиба в изогнутую форму? Мистер Клиффорд способствовал некоторым замечательным предположениям, выдвигая идею о том, что наше трехмерное пространство находится в процессе прохождения через пространство четырех измерений... искажение, аналогичное сминанию страницы». Напомню, это сказано в 1869 году! Клиффорд, в свою очередь, нашел вдохновение в еще более ранней работе немецкого математика Бернхарда Римана (1826–1866).

Типичным откликом на такую радикальную идею в те годы было мнение великого Клерка Максвелла (он знал Клиффорда по взаимному членству в Лондонском математическом обществе), который отверг эту часть работы Клиффорда как умствования «космического мятежника». Подобные идеи оставались предметом споров в течение многих лет после Клиффорда. Например, Керцберг сообщает о споре в 1917 году между двумя британскими астрономами сэром Джеймсом Джинсом и сэром Артуром Стэнли Эддингтоном. Когда Джинс заявил, что «искривление эйнштейновского че-

тырехмерного пространства пока можно считать ... фикцией», Эддингтон мгновенно ответил, что то, что искривлено, – это «обычное пространство, от которого нас убеждают отказаться». Другим сторонником искривленного пространства был философ Чарльз Пирс, который в 1890-х годах утверждал, что наше пространство неевклидово, и даже пытался определить числовое значение кривизны пространства по астрономическим данным. Пирс также утверждал, что пространство является четырехмерным, поэтому, похоже, он действительно мог подумать об искривленном четырехмерном пространстве (хотя и не о пространстве-времени) за десятилетия до Эйнштейна. Но Риман был первым.

Гаусс (1777–1855) изучал кривизну поверхностей в трех измерениях до Римана, но именно Риман обобщил кривизну на  $n$  измерений, особенно в пространствах четырех измерений. В пророческий гений Римана почти невозможно поверить. В его лекции 1854 года есть однозначное указание на пространства с метрикой, заданной положительным корнем четвертой степени из дифференциальной формы четвертого порядка. Такие пространства известны сегодня как пространства Финслера (по имени немецкого математика Пола Финслера, который развил идею Римана в своей докторской диссертации «О кривых и поверхностях в общих пространствах»).

Геодезические линии в искривленных пространствах играют особую важную роль – это общая теория относительности. Например, пространство-время, содержащее сингулярности, является *геодезически неполным*. То есть в таком пространстве-времени есть точки, за пределы которых не могут быть расширены мировые линии свободно падающих наблюдателей. Как указывает Дэвис, общая теория относительности предсказывает, что пространство-время можно растягивать, сгибать и скручивать различными способами (например, массивным вращающимся телом), возможно, до такой степени, что оно «может растягиваться, сжиматься или искривляться настолько сильно, что становится похожим на бугорок и останавливается. Любые такие регионы будут рассматриваться как границы пространства-времени. Они могут быть ориентированы в пространствоподобном направлении ... или во времениподобном направлении». То есть незамкнутая пространственно-подобная геодезическая оканчивается сингулярностью во времени («конец времени»), а неполная времениподобная геодезическая оканчивается сингулярностью в пространстве («конец космосу»). Общая теория относительности говорит, что такие странные события могут быть нормальным положением дел во вселенной. Тот факт, что мы не наблюдаем таких событий на Земле, является исключительным! Однако, поскольку у свободно падающих наблюдателей вряд ли будет пространствоподобная линия мира, такая особенность может быть не очень естественной. Как сказал Эрман: «Конечно, призрак наблюдателя, чья мировая линия является неполной времениподобной геодезической, будет иметь основания жаловаться на то, что пространство-время является ненормальным».

Существует также третий тип сингулярности, так называемая *нулевая неполнота*. То есть если существуют мировые линии для фотонов, которые не могут следовать произвольно далеко в будущее или прошлое, то пространство-время имеет нулевую сингулярность. Конечно, как спрашивает Набер, почему мы ограничиваемся геодезическими мировыми линиями? Как он пишет, «ускоренные наблюдатели, похоже, имеют такое же право, как и свободные наблюдатели, возражать против того, чтобы их существование резко сократилось». И фактически идея геодезической неполноты как признака сингулярности пространства-времени сама по себе неполна; известен пример полного нулевого времениподобного пространства-времени, и все же единственного числа по крайней мере для одного ускоряющегося наблюдателя.

Геометрия пространства-времени трудна для понимания, а метрика искривленного пространства-времени еще сложнее, чем метрика элементарного плоского пространства-времени. Как говорится в одном документе: «Опыт научил нас, что пространство, в котором мы живем, имеет трехмерную евклидову геометрию... Мы очень хорошо знакомы с этой геометрией... Но геометрические свойства пространства Минковского настолько чужды нам, что мы можем отчаянно отказываться их вообразить, а риманово пространство ... кажется совершенно непостижимым».

Важной особенностью римановой геометрии является то, что, хотя она обычно не является глобальной, она всегда *локально* плоская. Таким образом, любая достаточно малая область в искривленном римановом пространстве-времени может быть аппроксимирована с произвольно малой ошибкой плоским псевдоевклидовым пространством Минковского. То есть в каждой точке риманова пространства-времени существует *определенная* инерциальная система отсчета, в которой особая относительность – это все, что есть в физике пространства-времени в данной точке. Однако конкретная инерционная система отличается от точки к точке.

В системе координат, отличной от прямоугольной, плоская метрика Минковского может выглядеть радикально иначе, но это всего лишь артефакт математики, не имеющий физического значения. Например, в сферических координатах метрика Минковского приобретает вид:

$$(ds)^2 = (dt)^2 - (dr)^2 - (rd\theta)^2 - (r\sin(\theta)d\phi)^2,$$

где  $\phi$  – азимутальный угол, а  $\theta$  – угол, измеренный от полярной оси. Соответствующая метрика встречается в теории сферически-симметричных статичных (без зависимости от времени) червоточин машин времени (обсуждается в разделе 6.3) в форме

$$(ds)^2 = \left( e^{a(r)} dt \right)^2 - \frac{(dr)^2}{1 - \frac{b(r)}{r}} - (rd\Theta)^2 - (r\sin(\Theta)d\Phi)^2,$$

где  $a(r)$  – функция красного смещения, а  $b(r)$  – коэффициент формы. Эти функции являются независимыми при условии соблюдения только тех

ограничений, что  $b(r)/r$  и  $a(r)$  исчезают при переходе  $r$  к бесконечности ( $r$  – радиальное расстояние от горловины устья червоточины). Действительно, с увеличением  $r$  эта изогнутая метрика пространства-времени червоточины, очевидно, сводится к метрике плоского пространства-времени Минковского, поэтому говорят, что такое пространство-время червоточины *асимптотически плоское*.

Интуитивно понятную формулировку плоскостности можно представить в терминах параллельного переноса вектора по замкнутому пути. В искривленном пространстве вектор будет испытывать вращение, которое не будет происходить в плоском пространстве. Два примера параллельного переноса в двумерных пространствах показаны на рис. 3.11. Сферическая поверхность искривлена, потому что если вы передвинете вектор от  $N$  к  $A$  и далее к  $B$ , а затем обратно к  $N$ , при этом все время сохраняя его параллельным своей прежней ориентации, то, когда он вернется к  $N$ , вектор будет указывать на  $B$ , а не на  $A$ , как и было изначально. Однако аналогичное отключение на цилиндрической поверхности приведет к нулевому повороту вектора. Таким образом, цилиндрическая поверхность, несмотря на внешний вид, *не* изогнута.

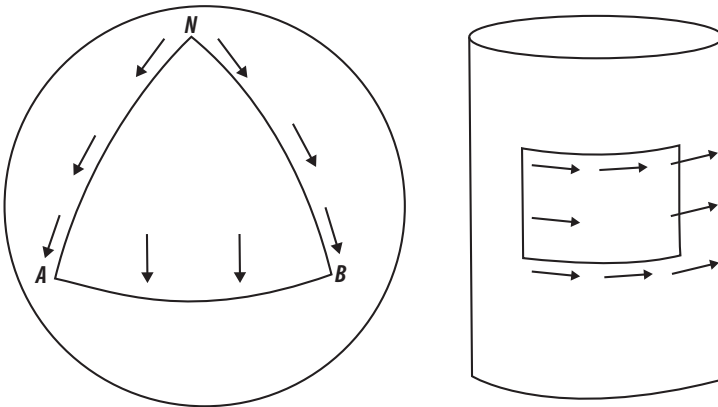


Рис. 3.11. Кривизна пространства может быть выявлена процессом параллельного переноса. Например, на этом рисунке показан параллельный перенос вектора по замкнутому пути на двух разных двумерных поверхностях. Транспортировка по криволинейной, например сферической, поверхности приводит к ненулевому вращению вектора, тогда как транспортировка по плоской, например цилиндрической, поверхности вызывает нулевое вращение

Использование упомянутой ранее идеи метрического тензора позволяет более формально продемонстрировать, что поверхность сферы не является плоской. На поверхности сферы радиуса  $a$  (на поверхности  $r = a$  всюду и, следовательно,  $dr = 0$ ) измерение расстояния между двумя точками равно (в сферических координатах)

$$(ds)^2 = a^2 \sin^2(\theta) (d\varphi)^2 + a^2 (d\theta)^2.$$

Замена  $x_1 = \varphi$  и  $x_2 = \theta$  дает более общий вид

$$(ds)^2 = g_{11}(dx_1)^2 + g_{12}(dx_1)(dx_2) + g_{21}(dx_2)(dx_1) + g_{22}(dx_2)^2,$$

или используя условие симметрии  $g_{12} = g_{21}$ :

$$(ds)^2 = g_{11}(dx_1)^2 + 2g_{12}(dx_1)(dx_2) + g_{22}(dx_2)^2.$$

Отсюда сразу получаем  $g_{11} = a^2 \sin^2(\theta)$ ,  $g_{22} = a^2$  и  $g_{12} = g_{21} = 0$ . Обратите внимание, что это чисто пространственная задача без времени, и мы принимаем все метрические коэффициенты как положительные (в отличие от случая общей метрики *пространства-времени*).

Теперь предположим, что мы спрашиваем, возможно ли найти какую-то новую систему координат (с переменными  $x'_1$  и  $x'_2$ ), в которой инвариант  $(ds)^2$  задается плоской евклидовой метрикой  $(dx'_1)^2 + (dx'_2)^2$ . В такой системе координат (если она существует) мы имели бы условия «плоскостности»:  $g'_{11} = g'_{22} = 1$  и  $g'_{12} = g'_{21} = 0$ . При таком изменении координат каждая из наших старых координат  $\varphi$ ,  $\theta$ , как правило, будет функцией обеих новых координат, то есть  $\varphi = \varphi(x'_1, x'_2)$ ; и  $\theta = \theta(x'_1, x'_2)$ . Таким образом, запись полного дифференциала функции двух переменных (как мы делали ранее в этом разделе) дает

$$\begin{aligned} d\varphi &= \frac{\partial\varphi}{\partial x'_1} dx'_1 + \frac{\partial\varphi}{\partial x'_2} dx'_2 \\ d\theta &= \frac{\partial\theta}{\partial x'_1} dx'_1 + \frac{\partial\theta}{\partial x'_2} dx'_2. \end{aligned}$$

Подставляя эти выражения в исходное выражение для  $(ds)^2$  и объединяя члены, мы приходим к выражению

$$\begin{aligned} (ds)^2 &= a^2 \left\{ \left[ \sin^2(\theta) \left( \frac{\partial\varphi}{\partial x'_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial\theta}{\partial x'_1} \right)^2 \right] (dx'_1)^2 + \left[ \sin^2(\theta) \left( \frac{\partial\varphi}{\partial x'_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial\theta}{\partial x'_2} \right)^2 \right] (dx'_2)^2 + \right. \\ &\left. + 2 \left[ \sin^2(\theta) \frac{\partial\varphi}{\partial x'_1} \frac{\partial\varphi}{\partial x'_2} + \frac{\partial\theta}{\partial x'_1} \frac{\partial\theta}{\partial x'_2} \right] (dx'_1)(dx'_2) \right\} = g'_{11}(dx'_1)^2 + 2g'_{12}(dx'_1)(dx'_2) + g'_{22}(dx'_2)^2. \end{aligned}$$

Теперь мы можем сразу идентифицировать каждый член  $g'$ , и если мы требуем, чтобы они удовлетворяли условиям «плоскостности», то получаем три выражения:



$$\begin{aligned} \sin^2(\Theta) \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x'_1} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x'_1} \right)^2 &= \frac{1}{a^2}; \\ \sin^2(\Theta) \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x'_2} \right)^2 + \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x'_2} \right)^2 &= \frac{1}{a^2}; \\ \sin^2(\Theta) \frac{\partial \varphi}{\partial x'_1} \frac{\partial \varphi}{\partial x'_2} + \frac{\partial \Theta}{\partial x'_1} \frac{\partial \Theta}{\partial x'_2} &= 0. \end{aligned}$$

Поверхность должна быть глобально плоской (повсюду плоской), поэтому три условия должны выполняться для всех  $\varphi$  и  $\theta$ , включая полюса сферы (где  $\sin(\theta) = 0$ ). На полюсах первые два условия сводятся к

$$\begin{aligned} \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x'_1} \right)^2 &= \frac{1}{a^2}; \\ \left( \frac{\partial \Theta}{\partial x'_2} \right)^2 &= \frac{1}{a^2}; \\ \frac{\partial \Theta}{\partial x'_1} \frac{\partial \Theta}{\partial x'_2} &= 0, \end{aligned}$$

а третье сводится к *несовместимому* требованию

$$\frac{\partial \Theta}{\partial x'_1} \frac{\partial \Theta}{\partial x'_2} = 0,$$

Из этой несовместимости мы можем сделать вывод, что на самом деле не существует системы координат со штрихом, в которой коэффициенты  $g'$  являются коэффициентами плоской метрики. Таким образом, в отличие от поверхности цилиндра, поверхность сферы *не* плоская, а изогнутая.

Я завершу этот раздел одним интересным особым случаем. Представьте себе два следующих события в пространстве-времени: событие 1 – это излучение фотона в одной точке в пространстве-времени, а событие 2 – это поглощение этого фотона в какой-то другой точке в пространстве-времени. Каков интервал между этими двумя событиями? Может показаться, что нам нужно больше знать о точных пространственных и временных координатах этих двух событий, но на самом деле интервал *всегда равен нулю* для любых двух событий, связанных светом. Для нашего простого, плоского пространства-времени Минковского это легко увидеть. Просто перепишите метрику как

$$\left( \frac{ds}{dt} \right)^2 = 1 - \left( \frac{dx}{dt} \right)^2,$$

а отсюда, поскольку  $(dx/dt)^2 = 1$  (так как фотон движется со скоростью света), мы имеем  $(ds)^2 = 0$ . Говорят, что мировая линия любого фотона имеет нулевой интервал. Действительно, мировые линии с нулевым интервалом всегда находятся на поверхности световых конусов, тогда как времениподобные мировые линии – внутри световых конусов, где  $(dx/dt)^2 < 1$  – и име-

ют положительные интервалы, то есть  $(ds)^2 > 0$ . Пространственно-подобные мировые линии (снаружи световых конусов) имеют отрицательные интервалы, потому что  $(dx/dt)^2 > 1$ ; то есть  $(ds)^2 < 0$ . Это одно из существенных различий между расстояниями в пространстве и интервалами в пространстве-времени – в пространстве расстояние всегда неотрицательно.

Странное следствие этого состоит в том, что в пространстве-времени мы можем иметь интервал между  $A$  и  $B$ , равный нулю, и интервал между  $B$  и  $C$ , равный нулю, но интервал между  $A$  и  $C$  может не быть нулевым! Чтобы убедиться в этом, попробуйте построить координаты пространства-времени Минковского для  $A$ ,  $B$  и  $C$  как  $(1, 3)$ ,  $(2, 2)$  и  $(1, 1)$  соответственно. В результате этого мировые линии с нулевым интервалом получают интересную интерпретацию. Как поэтично выразился один из ранних исследователей: «Любая пара точек в пространстве-времени, разделенных нулевым расстоянием [наш интервал], находится в виртуальном контакте. Другими словами, я могу сказать, что мой глаз касается звезды, не в том смысле, в котором я говорю, что моя рука касается ручки, но в том же физическом смысле».

### 3.11. Собственное время, замкнутые мировые линии и парадокс близнецов

*До того, как я осознал несовершенство специальной теории относительности, я был вовлечен в бурную полемику по вопросу о том, влечет ли теория относительности возможность «асимметричного старения», например почти неограниченного переноса даты смерти, при путешествиях с высокой скоростью. Считалось и все еще считается, что теория относительности допускает такую возможность... Если я прав, эта вера в асимметричное старение показывает, что теория относительности, как правило, неправильно понимается.*

– Письмо в журнал *Nature* от Герберта Дингла (бывшего президента Королевского астрономического общества), который отвергал специальную теорию относительности и прилагал многолетние усилия, чтобы убедить мир в том, что существует заговор с целью его свержения (1968 год)

*Что, если Дингл водит за нос весь мир? Для меня это самое разумное предположение, объясняющее то, что иначе необъяснимо для меня. Зная вас так же хорошо, как и себя... я не могу заставить себя поверить, что вы так глупы, как пытаетесь выглядеть. Если мои предположения верны, я приветствую ваше чувство юмора. Меня это не обидело, зато печатникам добавилось работы. Моя досада от того, что меня разыграли, поглощена моим восхищением от того, как вы это сделали.*

– Ответное письмо Динглу от физика-математика Дж. Л. Синжа из Дублинского института перспективных исследований (1968 год)

Интервал пространства-времени, о котором я говорил в предыдущем разделе (3.10), имеет важную интерпретацию, которая приведет нас к одному из самых потрясающих результатов специальной теории относительности – путешествию во времени в будущее. Сначала вспомним метрику плоского пространства-времени

$$(ds)^2 = (dt)^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2,$$

в которой использование переменных без штриха указывает на то, что измерения пространственных и временных координат движущейся частицы проводятся относительно системы отсчета стационарного наблюдателя. Теперь предположим, что пространственные и временные координаты движущейся частицы вместо этого измерены относительно самой частицы. Далее, используя значения со штрихом, полученные в этой новой системе отсчета, мы имеем  $d'x = d'y = d'z = 0$ , потому что частица всегда находится в начале своей собственной системы координат. Вспоминая инвариантность интервала пространства-времени для всех наблюдателей, мы заключаем, что

$$(ds')^2 = (ds)^2 = (dt')^2.$$

То есть пространственно-временной интервал между двумя событиями – это промежуток времени, измеряемый часами, прикрепленными к частице, которая движется от одного события к другому. Это время называется *собственным временем*, которое получило свое название от идеи, что оно принадлежит или является свойством движущейся частицы. Это техническая причина, по которой мы взяли  $(ds)^2 = (dt)^2 - (dx)^2$ , а не  $(ds)^2 = (dx)^2 - (dt)^2$ . Первый вариант позволяет избежать несколько неловкого результата воображаемого времени.

Чтобы получить еще один предварительный результат, далее я приму так называемую *гипотезу о часах*, в которой говорится, что ускоренные часы движутся с той же мгновенной скоростью, что и неускоренные часы, которые движутся рядом с той же мгновенной скоростью. Как показано в разделе 3.8, если мгновенная скорость ускоренных часов равна  $v$ , то их скорость хода ( $dt'$ ) связана со скоростью «стационарных» (неускоренных) часов ( $dt$ ) как

$$dt' = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} dt.$$

Предполагается, что гипотеза о часах верна. Сам Эйнштейн в своей статье 1905 года определенно считал, что ход часов зависит только от скорости. Тем не менее до сих пор можно найти тех, кто с этим не согласен. В этой книге я на стороне Эйнштейна. На вопрос во время интервью 1952 года, допустимо ли использование специальной теории относительности в задачах, связанных с ускорением, Эйнштейн ответил: «О да, все в порядке, пока не фигурирует гравитация; во всех остальных случаях применяется специальная теория относительности. Хотя, возможно, общая

теория относительности работает лучше, она не является обязательной». Гипотеза о часах уже давно получила экспериментальное подтверждение. Например, в ходе эксперимента 1960 года, выполненного для другой цели, было определено, что ход ускоренных атомных часов точно соответствует формуле замедления специальной теории относительности, даже когда их прямое механическое ускорение достигло уровней, превышающих 66 000g. Ускорения, генерируемые в этом эксперименте, производились с помощью быстро вращающегося диска. И еще более впечатляющими являются результаты замедления времени, представленные Бейли (1977), в котором ускоренные до околосветовых скоростей заряженные частицы вращаются в магнитном поле. Отличное согласие с теорией наблюдалось даже при ускорениях, значительно превышающих  $10^{15}g$ . Одна забавная (но головокружительная) конструкция для машины времени, которая отпраздновала бы ее обитателя в будущем, выглядела бы как фен для волос!

Более серьезное научное использование идеи замедления времени в результате движения по кругу было представлено Питовским (1990). Как пишет Питовский:

*Предположим, что математик М буквально идет на смерть, чтобы узнать, верна гипотеза Ферма или нет. Он совершает путешествие на спутнике, который вращается вокруг Земли. Огромные двигатели разгоняют спутник настолько сильно, что его мгновенная тангенциальная скорость равна  $v(t) = c[1 - e^{-2t}]^{1/2}$ , где  $t$  – шкала времени Земли, а  $c$  – скорость света.*

*Двигатели ориентированы таким образом, чтобы спутник удерживался на фиксированной орбите. Если  $t'$  – локальная шкала времени спутника, то временной интервал  $dt'$  определяется как  $\left[ dt \sqrt{1 - (v/c)^2} \right] = e^{-t} dt$ . Следовательно, одна секунда на шкале времени спутника соответствует вечности на Земле, так как  $\int_0^x e^{-t} dt = 1$ .*

*Пока М мирно летает по орбите, его аспиранты изучают гипотезу Ферма один случай за другим, то есть они берут четверки натуральных чисел  $(x, y, z, n)$ , где  $n \geq 3$ , и проверяют на обычном компьютере условие  $x^n + y^n = z^n$ ... Когда они стареют или становятся профессорами, они передают священное задание своим ученикам и так далее. Если встречается контрпример к предположению Ферма, на спутник отправляется сообщение... Если сообщение не приходит, М дезинтегрируется с улыбкой, зная, что Ферма был прав.*

В работе Эрмана и Нортрона поясняется, почему М обязательно «дезинтегрируется». Как показывают Эрман и Нортон, ускорение М становится неограниченным, поэтому «М будет быстро уничтожен перегрузками». Эрман и Нортон пишут, что вместо улыбки «математик М дезинтегрируется с гримасой боли...». Конечно, теперь, когда гипотеза Ферма доказана

(в 1995 году), было бы лучше взять новую проблему, возможно, гипотезу Римана о расположении нетривиальных комплексных нулей дзета-функции (в настоящее время выдающаяся нерешенная проблема в математике).

Общее время, прошедшее между двумя событиями  $A$  и  $B$ , измеренное по собственному времени ускоренных часов, совершающих перемещение, составляет

$$t' = \int dt' = \int_{t_A}^{t_B} \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} dt < t_B - t_A, \text{ если } v \neq 0,$$

где  $t_B - t_A$  – время, прошедшее между  $A$  и  $B$ , измеренное с помощью ускоренных часов. Это неравенство возникает из-за того, что для  $v \neq 0$  подынтегральное выражение всегда меньше, чем 1.

Мы знаем, что на диаграмме пространства-времени мировая линия ускоренных часов – прямая, а мировая линия неускоренных часов – изогнутая. Таким образом, использование рис. 3.12 в сочетании с неравенством  $t' < t_B - t_A$  дает следующий главный результат: мировая линия с максимальным собственным временем – это та, которая выглядит самой короткой, то есть прямой (или геодезической) мировой линией со свободным падением. На диаграмме пространства-времени искривленная мировая линия выглядит длиннее, но фактически любая искривленная мировая линия будет иметь меньшее собственное время, чем прямая мировая линия. Это яркий пример того, как геометрия пространства-времени Минковского отличается от геометрии евклидова пространства; в последней геометрии нет понятия самого длинного пути между двумя точками.

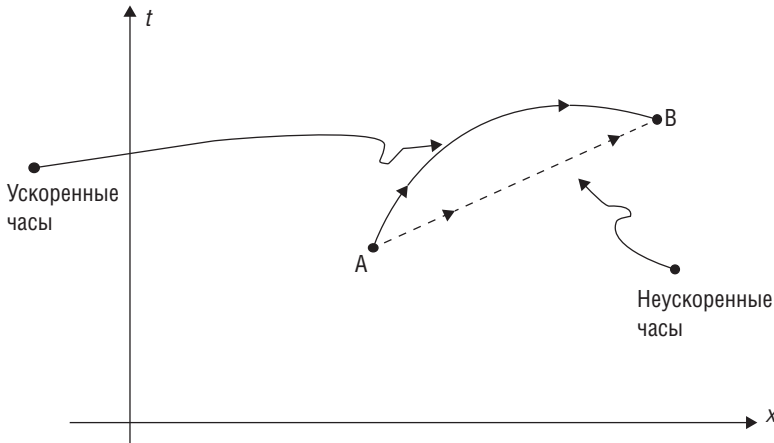


Рис. 3.12. Мировые линии двух часов, ускоренных и неускоренных

Обладая предварительными выкладками, вы теперь можете понять знаменитый парадокс близнецов. Предположим, у нас есть близнецы Боб и Билл.

Билл остается на Земле, а Боб садится на ракету и отправляется в космическое путешествие, разворачивается и возвращается домой. Мировые линии Боба и Билла сначала совпадают, затем расходятся, а потом снова встречаются в конце путешествия Боба, как показано на рис. 3.13. Детали путешествия Боба не важны для общего изложения парадокса (хотя в разделе 6.5 описаны детали одного возможного путешествия). Все, что нам нужно здесь учитывать, – это то, что мировая линия Билла от А до В прямая, а у Боба изогнутая. Поэтому тело Билла (то есть его местные часы) будет измерять большее время, чем у Боба; то есть Боб будет моложе своего близнеца, сидящего дома! Эквивалентно, по его возвращении Боб услышит, что его оставшийся на Земле брат назовет дату, которая уходит в будущее дальше, чем определил Боб. Отсюда Боб заключит, что он попал в будущее. Разница в том, что каждый близнец считает верной датой, может быть поистине удивительной.

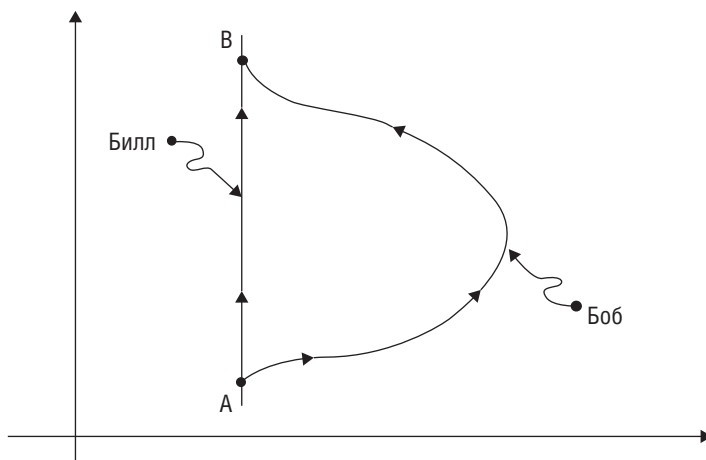


Рис. 3.13. Мировые линии для неускоренного (Билл) и ускоренного (Боб) движения близнецов

В начале дискуссии о парадоксе близнецов профессор Техасского университета Альфред Шильд сказал: «Я не сомневаюсь, что если наша технология когда-либо продвинется до той стадии, когда крупномасштабные эффекты близнецов станут заметными нашему восприятию без посторонней помощи, тогда людям не составит труда скорректировать свои представления о времени, пока новые явления не покажутся вполне естественными». Да, возможно. Как ни странно, этот замечательный сюжетный прием, похоже, не привлек внимания большого числа писателей-фантастов. Насколько я знаю, парадокс близнецов в явном виде использовался, как уже говорилось, только одним автором – Робертом Хайнлайном в его романе «Время для звезд» 1956 года. В рассказе «Отдых путешественника» Массона действие происходит на планете, где время течет тем медленнее, чем выше

вы поднимаетесь по географической широте. Рассказ не дает физического объяснения таким искажениям времени, но исследует необычные человеческие проблемы, которые из этого вытекают. Однако объяснением парадокса близнецов, возникающего в результате движения с очень высокой скоростью, является фундаментальная физика. И наконец, Роберт Форвард использует биологию, чтобы победить физику в своем ироническом «Парадоксе близнецов». Эта история переворачивает асимметричное старение близнецов, когда сразу после отъезда путешествующего близнеца открывается секрет бессмертия. Однако лечение должно проводиться не позднее определенного возраста, и по возвращении на Землю путешественник оказывается слишком стар для процедуры. Следовательно, он становится последним человеком, которому суждено умереть от старости.

Эта ситуация называется парадоксом не из-за аспекта путешествий во времени (путешествие в будущее не приводит к логическим парадоксам), а скорее потому, что кажется, что он нарушает сам дух относительности. То есть, с точки зрения Билла, Боб сначала улетает, а потом возвращается. Но можно утверждать, что с точки зрения Боба, именно Билл сначала улетает, а затем возвращается. Спустя долгое время после публикации Эйнштейном специальной теории относительности в 1905 году этот вопрос все еще озадачивал многих. Например, в обращении президента Американской философской ассоциации мы читаем именно это возражение против парадокса близнецов. Был сделан вывод, что такая вещь «могла произойти только во вселенной, в которой все квадраты стали круглыми и правило принципиального противоречия крепко спит». Итак, вернемся к вопросу, почему именно Боб младше. Ответ классической физики заключается в том, что две точки зрения на самом деле не идентичны и что между Биллом и Бобом существует определенная асимметрия. В конце концов, именно Боб чувствует ускорение от ракетных двигателей – он чувствует приложение силы, – тогда как Билл, оставаясь на Земле, не чувствует ничего необычного. Однако более фундаментальный физический ответ заключается в том, что мировая линия Боба в пространстве-времени искривлена, а мировая линия Билла прямолинейна.

В развернутом плоском пространстве-времени *искривление* действительно является синонимом *ускорения*, но это не должно быть так в замкнутом плоском пространстве-времени. В развернутом плоском пространстве-времени единственный способ, которым две мировые линии могут разойтись в прошлом, а затем снова встретиться в будущем, состоит в том, чтобы хотя бы одна из них изогнулась, однако в замкнутом, но все еще плоском пространстве-времени прямые мировые линии могут встречаться не раз. Например, на рис. 3.14 наше упрощенное двумерное пространство-время – это поверхность цилиндра (в разделе 3.10 сказано, почему она называется плоской), а не бесконечная плоская поверхность. Две мировые линии являются прямыми. (Чтобы наглядно представить это, представьте, что разрезаете цилиндр по временному измерению, а затем сглаживаете его.) Тем не менее мировая линия Боба выглядит длиннее на диаграмме пространства-времени, поэтому собствен-

ное время Боба будет все же меньше, чем у Билла, когда они снова встретятся, хотя в данном случае ни один из них не испытал никакого ускорения.

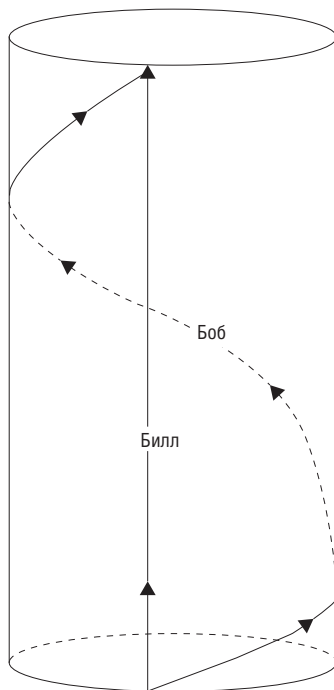


Рис. 3.14. Парадокс близнецов в цилиндрическом пространстве-времени

Парадокс близнецов породил множество публикаций. На него намекает статья Эйнштейна 1905 года, но французский физик Пол Ланжевен говорил о том, что первым примером в этом контексте стал космический путешественник, движущийся в пушечном ядре со скоростью, близкой к скорости света, в книге Жюль Верна «Путешествие с Земли на Луну» (1872). Французский писатель Пьер Буль с гордостью упомянул Ланжевена в его удивительном рассказе о путешествиях во времени «Время сошло с ума».

Интерес к парадоксу близнецов остается и по сей день. Однако не все ученые охотно с ним смирились. Герберт Дингл, например, усиленно возражал против этого парадокса. Дингл не был пустым болтуном; покойный профессор истории и философии науки в Лондонском университете в течение большей части своей жизни, как правило, пользовался уважением в научных кругах, но он сошел в могилу в уверенности, что Эйнштейн сделал неверные выводы. Французский философ Анри Бергсон энергично атаковал разбор парадокса часов в книге Ланжевена 1922 года, для которой Дингл написал очень интересное введение. Дингл пытался изложить свою точку зрения в книге «Наука на перепутье» 1972 года, откуда я взял цитаты, открывающие этот раздел.



### 3.12. Вопросы для самостоятельных размышлений

Интересный теологический анализ идеи Фейнмана о том, что электрон движется назад во времени, выраженный представлением об электро-не как о «еще одном кинофильме Бога, проматываемом обратно», дает философ Смит. Задаваясь вопросом, каково было бы для электрона путешествовать назад во времени, Смит ответил: «Рассмотрим электрон  $E_1$ . В момент времени  $t'$  он находится в точке  $(x_0, y_0, z_0)$ . В момент времени  $t_1$  он находится в точке  $(x_1, y_1, z_1)$ . Если бы направление времени для электрона было обратным, то наблюдалось бы, что электрон на «плёнке мира» движется назад по тому же пути, что и раньше, т. е. назад к  $(x_0, y_0, z_0)$ . Если бы Бог остановил «киноплёнку мира» и исследовал заряд  $E_1$ , то он обнаружил бы, что он отрицательный, а не положительный. Следовательно, электрон, движущийся назад во времени, – это просто электрон, движущийся назад во времени, а не позитрон. Реверсирование времени не приводит к реверсированию заряда. Таким образом, позиция Штюкельберга–Фейнмана неверна...» Обсудите это в терминах теоремы ТСР. Есть ли несостыковки? Когда Бог останавливает «киноплёнку мира», есть ли у электрона вообще стрела времени?

Все современные основные религии мира согласны в этих двух пунктах: (1) Бог создал Вселенную и (2) в какой-то момент в прошлом Вселенная возникла. Это согласие поднимает вопрос о том, что делал Бог до того, как он создал Вселенную. В своих «Исповедях» Святой Августин отмечает, что пункты (1) и (2), возможно, находятся в конфликте. В конце концов, если Бог создал Вселенную, то, учитывая любое время  $t$  в конечном прошлом, он должен был что-то делать до времени  $t$ , что означает, что для любого времени  $t$  в конечном прошлом Вселенная уже существовала. Таким образом, Вселенная не имела момента творения в конечном прошлом и, следовательно, не имела первого момента существования – что подразумевает, что (2) ложно. Однако, как и любой хороший философ-теолог, Августин предоставил не только эту теологическую загадку, но и способ решить ее. Его предполагаемый контраргумент – утверждение, что время само по себе является творением Бога, т. е. он создал время как часть сотворения Вселенной. Таким образом, не было времени до того, как он создал Вселенную, и поэтому сам вопрос «что он делал до того, как создал Вселенную» не имеет смысла. Что вы думаете об этих двух аргументах Августина?

Австралийский философ Смарт (1920–2012) использовал пятимерное пространство-время совершенно иным способом, нежели включением оси «вечности» для направления времени Бога. Вместо этого Смарт утверждал, что множество четырехмерных миров существует вместе без конфликта, точно так же как бесконечность двумерных миров может существовать без конфликта в трехмерном пространстве. Как он писал, «причина, по которой могут существовать два совершенно несопоставимых пространства-времени, состоит в том, что два совершенно несопоставимых четырехмерных пространства могут существовать в пределах подходящего пятимерного пространства. Здесь нет никакой трудности и математической непостижимости. Теперь пусть одно из этих четырех пространств будет нашим собственным пространственно-временным миром, а остальные четыре будут более или менее похожи, в соответствии с любой историей, которую вы хотите рассказать о нем». На самом деле эта идея возникла задолго до публикации статьи Смарта в 1967 году. Например, в своем президентском обращении к американскому математическому обществу в 1898 году Саймон Ньюком заявил: «Добавьте четвертое измерение пространства, и там найдется место для неопределенного числа вселенных, расположенных рядом друг с другом, как и для неопределенного числа листов бумаги, когда мы складываем их друг на друга». Идея Ньюкомба так понравилась воображению Герберта Уэллса, что он выстроил вокруг нее два романа – «Чудесное посещение» и «Люди как боги». В первом романе есть явное упоминание о нескольких мирах, «лежащих где-то близко друг к другу, но ничего не подозревающих, как страница прилегает к странице в книге», а во втором говорится о том, что одна параллельная вселенная вращается в другой. Джон Кремер (физик из Вашингтонского университета) повторил параллельные вселенные Ньюкомба и Уэллса в виде страниц книги / образов вращения почти слово в слово в своем романе «Twistor» 1991 года. Что вы думаете о подобных метафорах? В частности, последователен ли Уэллс в своих высказываниях (как романист он, конечно, не обязан быть таковым, не так ли?).

Эффект замедления времени высокоскоростных космических путешествий был использован писателем-фантастом Дональдом Вандреем (1908–1987) в его рассказе «Гонка во времени» (*Astounding Stories*, октябрь 1933 года). Изначально действие происходит в 1950 году – это история двух ученых, одного злого (конечно!) и другого хорошего (конечно!), которые разрабатывают совершенно разные методы путешествия в будущее.

(Окончание далее)

Злой делает это с помощью лекарства, замедляющего обменные процессы в организме, а добрый строит атомную ракету в своей домашней мастерской! Злой ученый похищает девушку доброго, закрывается с ней в хрустальном куполе, а затем вводит ей и себе свой наркотик. Он устроил все так, что они выйдут из купола в год 1 000 000 н. э. Узнав о случившемся, хороший ученый бросается к куполу и обнаруживает, что не может проникнуть внутрь, но видит циферблат индикатора, указывающий на 1 000 000. (Злой ученый удобно добавил циферблат, а также сделал купол прозрачным, так же как современные киношные преступники всегда включают часы обратного отсчета со светящимися красными цифрами на своих бомбах, поэтому герой всегда знает, сколько времени осталось, чтобы обезвредить бомбу.) Возвращаясь к своей ракете, добрый ученый решает, что он тоже отправится в далекое будущее, используя замедление времени. Итак, он отправляется в путешествие. История заканчивается ироническим поворотом – хороший ученый думал, что «1 000 000», который он видел через купол, означает миллион лет в будущем после 1950 года, и поэтому он возвращается на Землю почти через 2000 лет, после того как его подруга и злой ученый вышли из купола. (Они, конечно, уже давно мертвы, когда добрый ученый возвращается.) На внешней стороне полета ракеты доброго ученого мы читаем о его «ужасной скорости – теперь тысячи световых лет в земную секунду». Обсудите это с точки зрения теории относительности. То есть действительно ли ракета пролетает тысячи световых лет за одну секунду прошедшего времени на Земле?

Американский физик Роберт Форвард (1932–2002) был не только специалистом по общей теории относительности, но и весьма изобретательным писателем-фантастом. Например, в своем рассказе «Парадокс близнецов» (Analog Science Fiction, август 1983) он использовал биологию, чтобы придать неожиданный, ироничный поворот классической физической головоломке. История переворачивает асимметричное старение близнецов, представляя, что сразу после ухода странствующего близнеца открывается секрет бессмертия. Однако лечение должно быть проведено не позднее определенного возраста, и по возвращении на Землю странствующий близнец просто слишком стар, чтобы это сработало. Таким образом, он становится последним человеком, который умирает от старости! В этом рассказе детали путешествия близнеца несколько отличаются от путешествия Боба. Прочитайте «Парадокс близнецов» и объясните, как совершается путешествие близнеца.

В мистическом романе 1920 года «Путешествие к Арктуру» шотландского писателя Дэвида Линдсея (1876–1945) мы читаем о космическом корабле, который летит к Арктуру (самой яркой звезде в созвездии Бо-Отес, в 36 световых годах от Земли) всего за 19 часов. Технические детали путешествия не объясняются в романе, поэтому предположим, что они такие же, как и в путешествии Боба. То есть  $2T' = 68\,400$  с, как показывают часы на космическом корабле. Расстояние, пройденное за это время, составляет

$$2 \frac{c \left\{ \sqrt{a^2 T'^2 + c^2} - c \right\}}{a},$$

где  $c$  – скорость света,  $a$  – постоянное ускорение/замедление ракеты (измеренное на космическом корабле), а  $T'$  – время, которое, по измерению земных часов, занимает полет. Используйте эту формулу, а также формулу, связывающую  $T$  и  $T'$  в тексте, для вычисления:

- 1) величины постоянного ускорения/замедления  $a$  (вам кажется, что результат является разумным?);
- 2) величины  $T$  (отрезка времени, который проходит на Земле, в то время как на космическом корабле проходит 19 ч).

Вам не нужно обсуждать общую теорию относительности, чтобы столкнуться с тензорами второго ранга (как и метрическим тензором). Инженеры-электрики сталкиваются с этим понятием, например, при изучении банального закона Ома! Этот закон гласит, что плотность электрического тока в медном проводе (вектор  $J$ , в единицах ампер на квадратный метр) в любой точке связана с электрическим полем (вектор  $E$ , в единицах вольт на метр) в этой точке скаляром  $\sigma$  следующим образом:  $J = \sigma E$ , где  $\sigma$  (называемая проводимостью) – одно число.

Из этого следует в прямоугольных координатах, что  $x$ -компонент  $J$  зависит только от  $x$ -компонента  $E$ , и аналогично для  $y$ -компонента и  $z$ -компонента  $J$  и  $E$ . В более общем случае, однако, каждый компонент  $J$  зависит от всех компонентов  $E$  (как в некоторых кристаллических структурах), и поэтому мы имеем уравнения:

$$J_x = \sigma_{11}E_x + \sigma_{12}E_y + \sigma_{13}E_z,$$

$$J_y = \sigma_{21}E_x + \sigma_{22}E_y + \sigma_{23}E_z,$$

$$J_z = \sigma_{31}E_x + \sigma_{32}E_y + \sigma_{33}E_z.$$

(Окончание далее)

Или в матричной форме:

$$j = \begin{bmatrix} J_x \\ J_y \\ J_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \sigma_{13} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \sigma_{23} \\ \sigma_{31} & \sigma_{32} & \sigma_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x \\ E_y \\ E_z \end{bmatrix} = \sigma E.$$

Таким образом,  $J$  теперь связан с  $E$  через  $\sigma$ , матрицу  $3 \times 3$  (девять чисел вместо всего лишь одного). Матрица  $\sigma$  на самом деле является тензором ранга 2. Этот тензор находится в трехмерном пространстве медного проводника, в то время как матрица  $4 \times 4$  метрического тензора находится в четырехмерном пространстве-времени, но оба они являются тензорами ранга 2. Число чисел в тензоре ранга  $n$  в пространстве размерности  $d$  равно  $d^n$ . В общей теории относительности требуются тензоры более высокого ранга, чем 2. Например, тензор кривизны имеет ранг 4, и поэтому в четырехмерном пространстве-времени он описывается  $4^4 = 256$  числами. Это объясняет, почему в общей теории относительности вычисления часто включают в себя много арифметики! Основной характеристикой тензоров любого ранга является то, что они инвариантны при изменении систем координат (выбор системы координат – дело произвольное, предназначенное в основном для удобства человека, природе это безразлично). Узнайте больше о тензорах и напишите эссе о том, как они ведут себя при изменении координат.



---

## ГЛАВА 4

### *Парадоксы путешествий во времени*



---

*Путешествие во времени настолько опасно, что атомные бомбы в сравнении с ним кажутся совершенно безопасными игрушками для детей и дураков. задумайтесь, что самое худшее может случиться с ядерным оружием? Погибнут несколько миллионов человек: ничего нового. С путешествиями во времени мы можем разрушить всю Вселенную; по крайней мере, так гласит теория.*

– «Миллениум» (Варли)

*Он чувствовал интеллектуальное бессилие, знакомое любому порядочному философу. Он знал, что у него столько же шансов понять парадоксы времени, сколько у колли шансов понять, как собачья еда попадает в банки.*

– Путешественник во времени, озадаченный парадоксами, в рассказе «По своим следам» (Хайнлайн)

Квентин Смит, философ, который верит в конечную длину прошлого, написал обстоятельную статью, опровергающую логические аргументы Канта о его вере в бесконечное прошлое. Эта статья не имеет ничего общего с парадоксами путешествий во времени, но в ходе рассуждений Смит написал следующий отрывок:

*Почему солнце встает утром, а не в другое время? Почему стрелки правильно работающих часов указывают на 12:00 в полдень и полночь, а не в другое время? Почему смерть человека происходит в более позднее время, чем его рождение? Ответ во всех этих случаях один: потому что по самой природе этих событий они не могли произойти в другое время. Это относится к природе восхода солнца, который происходит утром, а не днем или вечером. Это относится к природе стрелок правильно функционирующих часов, указывающих на 12:00 в полдень и полночь, а не в другое время. И это относится к природе смерти, которая наступает позже, чем рождение человека.*

Но как быть с путешественником во времени, родившимся в 1940 году, который в 1998 году входит в свою машину времени, нажимает несколько кнопок, а затем смело выходит в меловой период семьдесят миллионов лет назад – и тут же становится обедом проходившего мимо тираннозавра? Возможно, сам Смит сказал бы, что нет никакого противоречия между этим событием и его третьим условием, потому что в *собственное* время путешественника его смерть действительно наступает после его рождения. Однако для многих людей смерть человека до рождения его матери – это совершенно очевидный парадокс, что бы вы там ни говорили о собственном времени.

Слово *парадокс* означает разные вещи для разных людей. Позвольте мне привести два примера парадокса: один из теологии и один из математики. В христианском и еврейском богословии Бог должен быть всемогущим. Итак, создавая людей, он либо дал, либо не дал им свободу воли. Если он дал свободу воли, то из этого следует, что он не может контролировать действия людей, а это значит, что он не всемогущ. Но если он не дал людям свободу воли, то единственный способ, которым Бог может избежать ответственности за зло, творимое людьми, – это предположить, что он не создал людей со свободной волей, потому что он не мог. Опять же, Бог в итоге лишается всемогущества. Таким образом, у нас есть так называемый парадокс всемогущества: что бы Бог ни делал в отношении свободной воли, он не может быть всемогущим, но это противоречит всемогущему Богу.

В качестве второго примера рассмотрим парадокс Банаха–Тарского, который датируется началом 1920-х годов. Это чисто математические выкладки, из которых следует, что можно разделить твердую сферу (скажем, апельсин) на конечное<sup>1</sup> число кусков, а затем переставить их в другую твердую сферу, которая больше Земли! Конечно, для физика, который задается вопросом о таких вещах, как сохранение массы–энергии, это не имеет смысла, но для математиков, которые занимаются только вопросами измеримости и аксиомы выбора, возражение физиков отклоняется как ворчание простого «практического народа». С точки зрения физиков, математики очевидно заново открыли современную версию средневековых дебатов о том, сколько ангелов может танцевать на острие иглы. И все же у математиков есть теорема. Парадокс!

Путешествие во времени, конечно, полно парадоксов. Согласно обычному словарному определению, парадокс – это то, что с виду содержит противоречивые или несовместимые части, тем самым сводя целое к ка-

<sup>1</sup> Здесь автор ради красоты примера упускает важный нюанс: сферу делят на *исчислимо бесконечное* число фрагментов, а это не то же самое, что *конечное* число. Данный парадокс тоже детально рассмотрен в книге Мэтта Кука «Ловкость ума» (ДМК, 2020). – *Прим. перев.*

жущейся бессмыслице. История науки и математики оставила долгий след парадоксов, и те, которые связаны с путешествиями во времени, являются одними из самых последних. Не все проблемы путешествий во времени связаны с физикой или логикой. Например, Дуайер отмечает: «Несомненно, путешествие во времени вызовет множество юридических трудностей, например следует ли обвинить в нападении путешественника, который ударил младшего себя (или наоборот)? Стоит ли судить путешественника во времени, который убивает кого-то, а затем скрывается в прошлом, за его преступление, совершенное в будущем? Если он женится в прошлом, можно ли его судить за двоеженство, даже если его вторая жена родится спустя 5000 лет? И так далее. Я оставляю такие вопросы юристам и авторам учебников по этике». Интересно, что этические проблемы, возникающие во время путешествий во времени, с тех пор, как писал Дуайер, стали важной темой популярных сериалов. Телевизионный «Квантовый скачок», например, на протяжении всех четырех лет основывал свой сюжет на этике вмешательства в прошлое. А в фильме 1994 года «Полиция времени» оперативный агент (лицо, на которых возложена задача помешать желающим изменить прошлое) соблазняется возможностью предотвратить убийство своей собственной жены десять лет назад.

Парадоксы оскорбляют здравый смысл. Они раздражают. Например, специалисты, которые изучают парадоксы путешествий во времени в романе «Хорал» Мальцберга, заставляют своих коллег в Департаменте реконструкции прошлого испытывать неудобства из-за их постоянного беспокойства об изменении истории: «Парадоксологи всегда держались особняком, и обычно их недолюбливали. Но есть ли действительно парадоксы вообще? Или же на самом деле, как воскликнул мальчик-вундеркинд в рассказе «Ваня» русского писателя Григорьева, когда его учитель сказал, что на некоторые вопросы невозможно ответить, потому что «природа полна парадоксов»: «Ах, учитель, что за ерунда! Природа гармонична; это мы привносим в нее парадоксы». То же самое говорят Абрамович и Ласота в статье о круговых орбитах фотонов вокруг черных дыр: «В физике нет никаких парадоксов, они рождаются только в наших попытках понять физические идеи с помощью неадекватных рассуждений или ложных догадок».





Одним из способов избежать парадоксов в научной фантастике было использование «зрителя времени». Эта иллюстрация Фрэнка Р. Пола к рассказу автора, скрывающемуся под инициалами К. А. W.) показывает изобретателя, демонстрирующего свой гаджет будущей жене и тестю. Способный вернуться назад во времени, экран показывает сцены из ухаживания тестя за своей будущей женой, на десятилетия в прошлом. Перепечатано с разрешения агентства научной фантастики Аккермана

#### 4.1. Два основных парадокса путешествий во времени

Уильямс утверждал, что путешественник во времени, который собирается отправиться в путешествие на столетия в прошлое, изрекает противоречие, когда говорит: «Через пять минут я окажусь в сотнях лет от этого момента». Как он может оказаться в двух разных положениях относительно одного момента? Смарт называет это «аккуратным аргументом против возможности путешествия во времени», и даже Хорвич, который в конечном итоге опровергает «парадокс Уильямса», озаглавил свою статью по этому вопросу «Является ли “путешествие во времени” оксюмороном?». Вы уже знаете, что

утверждения наподобие упомянутого Уильямсом могут иметь смысл при многомерном времени, но что, если мы ограничимся только одним измерением времени, которое мы на самом деле знаем? Уильямс использует свой парадокс, чтобы отрицать путешествия во времени, в частности заключительные, часто упоминаемые слова Уэллса из «Машины времени», когда рассказчик размышляет о судьбе путешественника во времени: «Он может прямо сейчас – если уместно использовать эту фразу – бродить по какому-нибудь населенному плезиозаврами оолитовому коралловому рифу, или стоять на берегу пустынного солёного моря триасового периода». Уильямс объявил бы столь же бессмысленным смелое утверждение путешественника во времени в «Стреле времени» Макдевитта, который говорит другу, что «в макромире можно повернуть стрелу времени вспять. Сегодня вечером мы с тобой поужинаем в девятнадцатом веке».

Хорвич справедливо опровергает Уильямса, отмечая, что если пять минут и сто лет измеряются в разных системах отсчета, тогда заявление путешественника во времени может иметь смысл. Вообще-то, Смарт отмечает эту возможность в своей статье и даже признает, что все, что нужно для путешествий в будущее, – это очень быстрая ракета, и с ее помощью можно прожить столетие за пять лет, если столетие будет в земном времени, а пять лет – во времени ракеты. Но что касается путешествий в прошлое, Смарт говорит, что они невозможны, потому что «даже самые быстрые ракеты не позволят нам пережить прошлые века». Однако эти слова сильно (если не полностью) теряют свою убедительность из-за результатов Гёделя о путешествии во времени в прошлое (хотя Смарт может утверждать, что это не имеет значения, потому что наша вселенная, кажется, не вращается), и по причинам, изложенным в других работах.

Аргументы Смarta о невозможности путешествий во времени оказались удивительно живучими. Спустя годы еще одну версию этого аргумента опубликовал философ Кристенсен, который, как Уильямс и Смарт, отвергает путешествие во времени.

*Рассмотрим пример заявления, подтверждающего факт путешествия во времени: «Я вошел в машину времени, а затем увидел, как убили Цезаря». Мы можем перефразировать это так: «Я вошел в машину времени раньше, чем убили Цезаря»; но поскольку верно и то, что гибель Цезаря случилась раньше, чем вход путешественника в машину времени, мы имеем категорическое противоречие – если только первое «раньше» не связано с чем-то другим, кроме обычного времени.*

Кристенсен утверждает, что положение может спасти только в равной степени ошибочная концепция *метавремени* («что бы это ни значило», пишет он), но ему можно возразить то же самое, что и Смарту. Он не смог различить собственное время путешественника во времени и внешнее время путешественника. Он продолжает совершать ту же ошибку, упрямо повторяя свой ошибочный аргумент в книге, опубликованной семнадцатью годами позже.

Неправильное понимание различия между собственным временем путешественников во времени и временем, не относящимся к путешественнику, не ограничивается философами. Например, встреча Ийона Тихого с обреченным путешественником во времени (который стареет и умирает, путешествуя в будущее) в «Воспоминаниях космического путешественника» Станислава Лема основана на той же ошибке, когда путают собственное время и космическое время. Обратная ошибка возникает в рассказе 1949 года «Я умер завтра» (Уорт), когда путешественник во времени погибает в 4000 году, но возвращается к жизни, когда коллега возвращает его тело в настоящее. Аналогична этому ошибочная предпосылка рассказа «Старики умирают богатыми» (Голд) – что ничто не может существовать ни «до», ни «после» периода своего существования. Таким образом, путешественник во времени не может путешествовать в прошлое дальше даты своего рождения, и если он съест что-нибудь в прошлом, он будет голоден, когда вернется в настоящее, потому что пища разложится до переваривания! (Автор этой удивительной интерпретации путешествия во времени настолько гордился своим «острым умом», что опубликовал записи рабочего дневника с черновиками рассуждений в качестве послесловия к истории.)

Что касается второго основного парадокса, мы находим его в статье Смарта, непосредственно за утверждением о невозможности посещения прошлого на ракете. Он начинает со слов: «Допустим, я согласен, что я не существовал сто лет назад. Предположение, что я могу сделать машину, которая отправит меня на сто лет назад, противоречит логике. Совершенно очевидно, что никакая машина времени не может сделать так, чтобы я и существовал, и не существовал сто лет назад». Мне интересно, о чем думал Сمارт, когда писал этот абсурдный аргумент: первое предложение – просто начальная гипотеза, эквивалентная отрицанию путешествия во времени назад. Откуда он *знает*, что его не было сто лет назад? Почему он так быстро соглашается с этим утверждением? Если путешествие во времени в прошлое на сто лет назад возможно и если его путешествие во времени в прошлое не начнется до следующего года, то совершенно очевидно, что Сمارт делает ошибку, так охотно соглашаясь со своим не-существованием в прошлом. Если его аргумент и доказывает что-то, то именно возможность создания машины времени, ведь он вполне мог существовать сто лет назад! Даже британский философ Джонатан Харрисон, не являющийся сторонником путешествий во времени, признал силу этой позиции.

Вариант некорректного примера Смарта можно найти в известном студенческом учебнике философии Хосперса. Хосперс выступает против логической возможности путешествий во времени, написав: «Мы можем представить себя рожденными в другую эпоху и находящимися внутри египетской пирамиды. Но можем ли мы представить себя сейчас, в XX веке нашей эры, находящимися (не просто в нашем воображении) в 3000 году до нашей эры? Как мы можем быть в XX веке нашей эры и в XXX веке до нашей эры *в одно время?*» Это настолько искажает понятие путешествия во времени в про-

шлое, что я сомневаюсь в способности Хосперса найти много сторонников, которые согласятся с внешним правдоподобием его аргумента. Сократовский диалог – прекрасное учебное пособие, но тот, кто его использует, должен создать хотя бы видимость разумности в своих отвлекающих маневрах!

Затем Хосперс пытается сыграть роль адвоката дьявола и представляет очевидное рациональное возражение против собственного неуклюжего аргумента: «Но, – возразит кто-то, – это не та ситуация, которую мы представляем. То, что мы имеем в виду, – это один день в XX веке, а затем движение назад во времени, так что на следующий день мы находимся в 3000 году до нашей эры, – и в тот день мы уже не в XX веке нашей эры». Конечно, так и есть, но затем Хосперс самым удивительным образом опровергает собственное разумное заявление. В сущности, он утверждает, что если день перед вашим путешествием – 1 января, то следующий день в вашей жизни должен быть 2 января, а уж точно не какой-то день в 3000 году до нашей эры. Как и Смарт, Хосперс обращает свои претензии к путешествию во времени в прошлое, потому что ему больше нечего сказать, кроме того что путешествие во времени невозможно, потому что оно невозможно! Все остальное, утверждает он, является противоречием в терминах и, следовательно, логически невозможно. Это, конечно, не более чем опровержение грамматики путешествия во времени, когда на самом деле нужна математическая физика.

## 4.2. Можно ли изменить прошлое из настоящего? Можно ли уничтожить прошлое?

Хосперс приводит то, что, по его мнению, является окончательным аргументом против путешествия во времени в прошлое:

*За много веков до нашей эры пирамиды были уже построены, и когда все это произошло, вас там не было – вы даже не родились. Все это произошло задолго до вашего рождения, и все это произошло без вашей помощи или даже вашего наблюдения. Это неизменный факт: вы не можете изменить прошлое. Это ключевой момент: прошлое – это то, что произошло, и вы не можете сделать так, чтобы то, что произошло, не произошло. И вся королевская конница, и вся королевская рать не смогут сделать то, что случилось, неслучившимся, потому что это логически невозможно. Когда вы говорите, что для вас (буквально) логически допустимо вернуться к 3000 году до нашей эры и помочь построить пирамиды, вы сталкиваетесь с вопросом: вы помогли египтянам строить пирамиды или нет? В первый раз, когда это произошло, вы этого не сделали: вас там не было, вы еще не родились, все было кончено до того, как вы пришли на сцену. Все, что вы могли бы сказать, – это то, что во второй раз, когда это произошло, вы были там – и была, по крайней мере, разница между первым и вторым разом: первый раз, когда вас не было, и второй раз, когда вы там были.*

Это, как вы уже догадались, является классическим приемом типа «буду повторять это до тех пор, пока все не согласится, что я прав, только чтобы я замолчал».

Один любитель научной фантастики давно подытожил позицию Хосперса в письме редактору *Astounding Stories*: «Говорят, что прошлое нельзя изменить и что любые попытки сделать это будут бесполезны. По моему убеждению, независимо от того, куда или когда человек направляется в прошлое, самим фактом появления там через год или день, который уже прошел, *он меняет прошлое*. Поэтому не остается сомнений: путешествие во времени невозможно. Это никогда не случится». Как Хосперс, так и читатели утверждают, что прошлое невозможно изменить, и с этим никто не спорит. Как говорил Котарбински: «Если бы невозможность можно было измерить, то было бы более невозможным изменить вчерашний полет комара, чем завтра сдвинуть луну с ее обычной орбиты». Но из этого вовсе не следует, как утверждают Хосперс и любители фантастики, что путешествие во времени невозможно как таковое. Каждый допустил одну и ту же логическую ошибку в рассуждениях.

Проблема туризма во времени – это, конечно, просто замаскированный парадокс дедушки. Ошибка Хосперса в его аргументе против путешествий во времени возникает, в частности, именно в том месте, где он заявляет, что полагает, будто 3000 год до нашей эры происходит дважды. На самом деле нет оснований думать, что 3000 год до нашей эры (или любой другой год) происходит больше одного раза. Если вы *будете* возвращаться на 3000 лет назад в прошлое, то вы *были* там; а если вас там *не было*, то вы и *не будете* возвращаться. Вы не помните 3000 год до нашей эры, даже если вы были там (хотя этот год находится в глобальном прошлом), потому что ваше путешествие во времени не в вашем личном прошлом, а скорее в вашем личном будущем. Конечно, все это может показаться странным, но это не нелогично. Действительно, даже в те годы, когда Хосперс написал свою книгу, было понятно, что его рассуждения ошибочны. Конечно, сегодня философский консенсус заключается в том, что идея путешествия во времени в прошлое полностью соответствует четырехмерной блочной вселенной, обсуждаемой во второй главе.

Ошибку философа Хосперса повторяет физик Герберт, утверждающий, что при наличии машины времени «больше не нужно было бы ехать по “дороге без развилки” – мы могли бы просто отправиться в прошлое и принять другое решение. И если этот выбор не удался, мы могли бы вернуться в прошлое и попробовать снова. В обществе путешественников во времени наши действия больше не будут необратимыми». На самом деле ни одно из этих утверждений не является истинным; они ложны именно потому, что, как говорит сам Хосперс, прошлое неизменно.

## ЕСЛИ БЫ ВЫ ЗАСТРЯЛИ ВО ВРЕМЕНИ!

Предположим, какое-то четырехмерное явление катапультирует вас назад во времена Цезаря, причем возможность возвращения в ваш собственный двадцатый век полностью устранена. Обладая элементарным пониманием различных наук, как бы вы могли извлечь выгоду из своих знаний о будущих событиях и открытиях? Могли бы вы, имея фору в две тысячи лет, заработать себе на жизнь? Что бы вы сделали?



**В**ас бы назвали гением, если бы вы «изобрели» простые деревянные часы, чтобы заменить неточные солнечные часы и песочные часы римлян. Тайна их движения – с помощью взвешенных шестеренок – была бы непостижима для римлян, которые ничего не знали о законах механики. Им бы это показалось волшебством.

**С**делав стекло чище, чем у римлян, после небольшого эксперимента можно было бы получить две линзы, необходимые для телескопа. Для них это был бы поистине невероятный инструмент, открывающий кольца Сатурна, многочисленные луны Юпитера и кратеры нашей собственной Луны. Вы могли бы показать римлянам три новые планеты!

**Н**е составило бы большого труда сделать фонограф, используя твердые восковые диски, годные для трех или четырех пробогов. Его тихие звуки поразили бы римлян как замечательное воспроизведение человеческого голоса. Римская ночная жизнь стимулировалась бы «консервированной» музыкой.

Иллюстратор Джек Биндер был автором серии комиксов под названием «ЕСЛИ ...» в *Thrilling Wonder Stories*. В каждом выпуске многоточия заменяли такой фразой, как «вдруг взорвалось солнце!», «случился еще один ледниковый период!» или «вдруг исчезло трение!». Показанный здесь выпуск появился в декабре 1938 года и утверждал, что путешественник во времени может изменить прошлое. Биндер был братом писателей Эрла и Отто, которые под общим псевдонимом «Эандо» написали некоторые из более логичных историй о путешествиях во времени 1930-х и 1940-х годов, такие как «Мошенники времени» 1940 года



**Л**егко сделанное из оливкового масла и древесной золы, мыло (неизвестное римлянам) облегчило бы вам жизнь, как только римляне узнали бы о его великой очищающей силе. Вы могли бы показать их металлургам, как делать такие выдающиеся инструменты, как пилы, ножницы, шпильки, гвозди и шурупы!

**И**мея время и терпение, можно было бы построить ручной печатный станок! Даже самая грубая из таких машин далеко превзошла бы трудоемкую рукописную работу. С помощью этого вы можете ввести арабские цифры и десятичную систему счисления! Вы бы дали римлянам толчок на десять веков вперед!

**М**ожно было бы создать эффективную паровую турбину, которая развила бы больше энергии, чем римляне могли себе представить. Это бы положило начало Римской эпохе в индустриальную эпоху, на семнадцать веков опередившую свое время. Известная история была бы изменена!

Окончание рисунка. Иллюстрация к «ЕСЛИ ... вы застряли во времени!» Джека Биндера, © Better Publications, Inc, 1938 год; перепечатано по договоренности с агентом холдинга Форрестом Дж. Аккерманом

Ранние писатели-фантасты были так же озадачены парадоксом дедушки, как Хосперс и многие его коллеги-философы, но иногда авторы просто открыто признавали существование парадокса. Например, в рассказе «Черный провал» (Рейнольдс и Браун) мы слышим от изобретателя первой машины времени:

«Я разработал метод для путешествий в далекое прошлое. Тут же мне указали на парадокс: а что, если путешественник во времени убьет своего предка или иным образом изменит историю? Я не претендую на то, что могу объяснить, как преодолевается этот очевидный парадокс; все, что я знаю, – это то, что путешествие во времени возможно. Несомненно, лучшие умы, чем мой, однажды разрешат этот парадокс, но до тех пор мы будем продолжать использовать путешествие во времени, парадоксально это или нет». Восхижительная смелость, но теперь, когда мы понимаем, что никакого парадокса здесь нет, это не так рискованно, как кажется. Менее изящно выходит из положения автор рассказа «Плети времени»: герои просто решают не думать о парадоксе «изменяющейся истории», потому что у них кружится голова!

Этот «парадокс» еще долгое время продолжал озадачивать более современных авторов. Возьмем, к примеру, произведение, в котором напрочь игнорируется физика, – роман «Ночь морлока» (Джетер). Герой (воскресший король Артур!) узнает, что он должен победить морлоков, которые убили Путешественника во времени в далеком будущем и воспользовались его машиной времени, чтобы путешествовать во времени, стремясь уничтожить мир. Это справедливо вызывает некоторое недоумение героя. Как он говорит: «Подождите минутку. Здесь что-то не так... Если морлоки возвращаются в свое прошлое и устраивают такой хаос, разве они не подвергают опасности цепь событий, которая ведет к их собственному существованию? Ведь они могут победить, а *затем съест* своих предков! И таким образом уничтожить собственные мерзкие жизни за десятки поколений до их своего рождения!» Это разумное возражение отмечается его компаньоном – конечно же, не кем иным, как Мерлином, – который отвечает: «Я восхищаюсь вашей проницательностью... Не многие могли бы понять это, не говоря уже о том, чтобы додуматься до этого. Действительно, это нарушение естественного порядка Вселенной. Я боюсь, что вся эта затея с путешествиями во времени пронизана космическим богохульством». Мне кажется, что это не слишком хороший ответ, особенно если учесть, что за четыре столетия до нашей эры ответ был ясен Аристотелю, который в своей «Никомаховой этике» процитировал слова греческого поэта Агафона, сказанные столетием ранее: «Ведь только одного и богу не дано: Не бывшим сделать то, что было сделано».

Агафон и Аристотель убедили далеко не всех – некоторые средневековые богословы страстно утверждали, что прошлое может быть изменено (но только Богом). Известным представителем этого радикального взгляда являлся итальянский клерик одиннадцатого века Питер Дамиан (который стал христианским святым). В своей книге «De Omnipotentia Dei» («О Божественном всемогуществе в воссоздании того, что было разрушено, и в отмене



того, что было сделано») Дамиан ясно дал понять, что силе Бога не может противостоять даже прошлое. Красивое стихотворение Ральфа Уолдо Эмерсона «Прошлое» («Мы далеко, нас не догнать, не могут боги прошлое менять») для Дамиана звучало бы богохульно. Следующие слова Дамиана свидетельствуют о глубине его веры в возможность изменить прошлое: «Как мы можем с уверенностью утверждать: “Бог мог решить, что Рим не должен быть основан до того, как он был основан”, ровно с таким же основанием мы можем утверждать: “Бог может сделать так, чтобы Рим, даже после его основания, не был основан”».

Спустя два столетия Аквинский отстаивал противоположное мнение, что изменение прошлого не по силам Богу. В то время как Дамиан считал невозможным отрицать любую способность Бога, Аквинский занял гораздо более умеренную позицию, что часть Божьего закона состоит в том, что в мире не существует противоречий и что Бог, несомненно, будет связан своим собственным законом. Как утверждал Аквинский, «будет правильнее сказать, что невозможно создать противоречие, чем говорить, что Бог не может этого сделать». В «Потерянном рае» Бог Джона Мильтона ограничен еще больше; он свободен действовать или нет, но если он действительно решает действовать, это может быть только «благое действие». Может показаться, что это исключает возникновение противоречий, как при изменении прошлого, но, возможно, и нет. Современник Милтона, Томас Гоббс, заявил, что априорного стандарта «благости» не существует и, следовательно (по мнению Гоббса), нет ограничений для Божьих сил. Таким образом, для Гоббса казалось возможным, что Бог может изменить прошлое.

Теологические изменения прошлого приводят, как и следовало ожидать, к всевозможным ошеломляющим, логическим головоломкам. Из-за подобных загадок богословие, безусловно, будет зависеть от путешествий во времени, но точно так же теологические рассуждения не ответят на вопрос о *возможности* путешествий во времени. Философы, такие как Хосперс, ошибочно утверждающие, что при путешествиях в прошлое неизбежно возникают логические проблемы, просто не смогли понять, что путешествия во времени – это вопрос математической физики, а не теологии или грамматики. Современные философы, понимающие релятивистскую физику, согласны с тем, что прошлое нельзя изменить и что путешествие назад во времени никоим образом не означает, что можно изменить прошлое. Тем не менее, возможно, мы не должны быть слишком критичны по отношению к Хосперсу и его единомышленникам; вспомните из первой главы, что даже человек, который заложил основы серьезного анализа путешествий во времени, – Курт Гёдель – ошибочно полагал, что путешествие во времени назад может изменить прошлое.

Впрочем, один философ – Элизабет Энском – нашла нерелятивистский аргумент о том, почему невозможно изменить прошлое. Представление начинается с, казалось бы, мягких слов: «События пошли определенным путем, который, может быть, возможно изменить, а может быть и нет;

некоторые события невозможно отменить. Но это наводит на мысль, что прошлое нельзя изменить, и когда кто-то говорит: «Прошлое не вернуть», он имеет в виду, что его невозможно изменить». Затем Энском ужесточает свою позицию словами «Но “изменение в прошлом” – это *нонсенс*, вытекающий из того факта, что в случае изменения прошлого мы можем спросить про его дату. Если бы идея изменения в прошлом имела смысл, мы могли спросить: «*когда* случилась битва при Гастингсе в 1066 году?», и это совсем не тот смысл, что во фразе «*когда случилась* битва при Гастингсе в 1066 году». *Идея изменения прошлого включает в себя идею фиксированной даты* [мой курсив – П. Н.]. Наконец, на случай, если смысл ее аргумента ускользает от читателя, она говорит в лоб: «У вас не должно остаться ощущение, что когда кто-то говорит фразу “прошлое не может измениться”, он говорит нечто разумное. Это не так». То есть фраза «изменение прошлого» не обозначает явление, которое может или не может быть возможным, а скорее является просто глупой последовательностью слов, лишенных смысла. Для Энского философы, которые говорят об изменении прошлого, равноценны ветеринарам, всерьез обсуждающим, как лучше всего ставить уколы сказочному единорогу.

Я лично согласен с выводом Элизабет Энской, но, как и следовало ожидать от аргумента, основанного на смысловых нюансах слов, всегда найдется тот, кто интерпретирует слова иначе. Например, рассмотрим возражение Джека Мейланда (сторонника многомерного времени из третьей главы, который использовал эту концепцию, чтобы отстаивать логическую возможность изменения прошлого). Он утверждает, что есть вполне разумный и возможный ответ на пример Энской: «Предположим, что после окончания битвы за Гастингс в ней произошло изменение. Например, допустим, что Гарольд принимал участие в битве, когда она произошла, но после изменения прошлого он больше не был участником этого сражения. В какой-то момент времени Гарольд прекратил принимать участие в битве при Гастингсе. Это означает, что до определенного момента времени, скажем до 20 июля 1955 года, утверждение “Гарольд участвовал в битве при Гастингсе” было верным, а после этой даты предположение является ложным. Таким образом, мы можем датировать изменение в прошлом битвы при Гастингсе: изменение произошло 20 июля 1955 года».

Любопытно, что Мейланд сначала представляет нам то, что, по его мнению, может быть ответом Энской на ее заявление, но затем не может его опровергнуть! То есть Мейланд разрушает свою собственную позицию, и, я мог бы добавить, он довольно успешно справляется с этой задачей. Проблема с *датировкой изменения даты* заключается в том, что, как он сам указывает, «наличие этого метода не означает, что изменения в прошлых событиях могут, даже в принципе, быть датированы, потому что этот метод не является методом, который в принципе может быть использован; мы никогда не смогли бы узнать, что истинное значение утверждения о прошлом событии изменилось; поэтому мы никогда не сможем назначить даты пред-

полагаемых изменений в прошлых событиях». То есть если событие в прошлом изменилось, не может быть никаких сохранившихся свидетельств его предыдущего состояния. Видите ли, если бы такие доказательства были, то как бы мы могли утверждать, что событие *изменилось*?

Мейланд попытался привести пример того, откуда возникают такие очевидные проблемы, используя философскую историю, основанную на версии тезиса Дамиана о том, что Бог может изменить прошлое. Он просит нас представить ситуацию, когда древнеримские развалины однажды внезапно исчезают. Мейланд утверждает, что если человек верит в Бога и не имеет других доступных объяснений, для него будет разумно сделать вывод, что Бог изменил прошлое, и, таким образом, руины больше не играют той роли, которую они когда-то играли в прошлых событиях. Однако эта история ставит вопрос о доказательствах, потому что *если* мы примем маленькую историю Мейланда, то вспомним несуществующие ныне руины, и эта память сама по себе является доказательством, необходимым для назначения даты изменения в прошлом. Но почему наши воспоминания остаются неизменными? Конечно, мы могли бы также спросить, почему они не должны оставаться неизменными.

Проблема в том, что на примере Мейланда мы имеем дело с философской сказкой, а не с физикой. В его рассуждениях о возможности или невозможности изменения прошлого просто отсутствует логика. Возражение Энском о том, что изменения в прошлом должны быть датированы, и пример Мейланда – логические пустышки (если не нелепицы). Изменение прошлого, будь то благодаря Божьему умыслу или смертному путнику, *логически* невозможно во вселенной с единой временной шкалой. Как рассказывает путешественник во времени в рассказе 1954 года «Парадокс Паундстоуна»: «Видите ли, вы не можете создать парадокс во времени, просто потому что все, что вы делали в прошлом, либо должно быть уже сделано, либо вы не смогли этого сделать».

Менее грандиозный пример идеи Мейланда встречается в первых сценах фильма «Следы времени» 1989 года. Там кофейная чашка в лаборатории разбивается как раз перед тем, как машина времени отправится в прошлое. Позже сотрудники лаборатории даже до возвращения путешественника понимают, что эксперимент удался, потому что чашка больше не разбита – путешественник поймал ее до того, как она упала на пол! Прошлое изменилось, но разбитую чашку все еще помнят. Почему? Через год эта ошибка перекочевала в фильм «Зона будущего», в котором путешественник во времени отправляется на тридцать лет назад, чтобы спасти своего отца от гибели (как это произошло «в первый раз»). После того как он нелогично преуспел в этой миссии, первоначальные воспоминания путешественника (о чем?) каким-то образом сохранились.

И наконец, та же ошибка появляется в рассказе «Не в своей эпохе» (Бенфорд), в котором историк использует машину времени, чтобы посетить великих писателей прошлого в их последние часы или даже минуты, прежде

чем история запечатлеет их смерть. Она делает это, чтобы сказать им, что потомки высоко ценят их работы. Однако ее появление настолько ошарашивает писателей, что они продолжают писать, создавая произведения, которые «будущая история» никогда не знала, или спасают рукописи, которые «будущая история» объявила утраченными. Короче говоря, она изменяет прошлое. Особенно ироничное событие происходит в конце рассказа, когда ее саму посещает историк из далекого будущего, который благодарит ее за беспорядки в пространстве-времени, потому что они пошли на пользу истории литературы! Этот рассказ, как бы хорош он ни был, насквозь пропитан логическими парадоксами, и не в последнюю очередь загадкой о том, как будущее узнает, что прошлое изменилось (по сравнению с *чем?*).

Один писатель-философ, Фрейзер, упомянул «порочный круг путешествий во времени» и объяснил свое негативное отношение, используя укороченную версию ошибочного аргумента в стиле упрощенного Хосперса, который подразумевает, что путешествие во времени обязательно меняет прошлое. «Путешествие во времени в прошлое. а) Введите в заблуждение своего дедушку, чтобы он никогда не встретил вашу бабушку. Вы не существуете. (б) Обнаружьте, что невозможно вмешиваться в прошлое. Тогда вы историк, а не путешественник во времени». Доводы Фрейзера далеко не так убедительны, как кажется. Его пункт (а) просто не воспринимается как логичный современными студентами путешествий во времени, потому что вы существуете, и поэтому ваш дедушка действительно встретил вашу бабушку. Утверждать иначе – это все равно, что утверждать, что черное – это белое, и если вы собираетесь это делать, значит, вам больше нечего сказать. Его пункт (б) несколько более интересен, но он представляет общее непонимание того, что означало бы путешествие во времени, недоразумение, которое должно быть прояснено к концу этой главы.

Несмотря на то что сегодня существует единодушное мнение о том, что прошлое нельзя изменить, писатели-фантасты использовали идею изменения прошлого для получения хорошего драматического эффекта. Возьмем, к примеру, отрывок из «Падения Хронополиса» (Бэйли), романа о «войне времени». Сразу после обнаружения темпоральных захватчиков мы читаем: «Они ворвались из будущего на высокой скорости, слишком быстро, чтобы мы успели установить защитные временные блоки, и были обнаружены наземными станциями уже в глубине исторической территории. Если бы их цель состояла в том, чтобы изменить прошлые события – обычная стратегия во время войны, – тогда хронологическая непрерывность империи была бы значительно нарушена». А в рассказе «Час лисы» американские физики сражаются с физиками КГБ в войне путешественников во времени в прошлом, и каждая сторона пытается изменить историю в свою пользу. В этом романе преобразователи истории изолируют себя от всех изменений, происходящих за пределами их Лаборатории времени, и сравнивают свои сохраненные исторические записи с записями внешних библиотек. Это позволяет штатному историку отслеживать каждый новый раунд изме-

нений. Как объясняет историк, вне Лаборатории времени «история может измениться, но здесь [в Лаборатории времени] прошлое не меняется».

В романе о противостоянии людей и андроидов по всей галактике – «Снова и снова» Саймака – использование путешествий во времени для изменения истории занимает центральное место: «Полководец войны во времени может вернуться назад, чтобы выиграть ее битвы. В принципе, он мог бы ударить в моменты времени и пространства, которые даже не знали о войне. По логике вещей, он мог бы вернуться к серебряным рудникам Афин, к коню и колеснице Тутмоса III, к плаванию Колумба... Это изменило бы ткань прошлого». Вопреки утверждению Саймака (и ключевым идеям в романах Бэйли и Костелло), современное мнение состоит в том, что такие действия не логичны. В оставшейся части этой главы будут представлены аргументы в поддержку данного утверждения.

Несмотря на отсутствие поддержки со стороны физики и логики, писатели-фантасты весьма изобретательны в придумывании различных причин для попыток изменить прошлое. Например, в повести Браннера «Жестокий век» сотрудники Службы коррекции времени из 2620 года намеренно изменяют прошлое, заражая наше настоящее страшной болезнью, от которой нет защиты. Причина этого, казалось бы, иррационального поступка, однако, разумна в своей простоте: медицина на протяжении веков одерживала победу над всеми известными болезнями, поэтому, когда инопланетные захватчики заражают человечество новой разновидностью смертоносной чумы, у человечества отсутствует естественный иммунитет<sup>1</sup>. Соответственно, сотрудники Службы коррекции заражают людей в прошлом, чтобы люди успели выработать природные антитела, прежде чем в далеком будущем произойдет вторжение.

Рассмотрим также «Мир Йоны» (Дик), в котором путешественники во времени из проекта «Часы» отправляются в путешествие до того, как атомная война опустошит Землю. Они планируют украсть разработки ученого, который изобрел искусственный мозг, а затем использовать мозг для создания роботов, чтобы помочь восстановить разрушенную поверхность планеты в будущем, из которого они пришли. Однако они случайно убивают ученого и, таким образом, настолько сильно изменяют всю последующую историю, что когда они возвращаются в будущее, это совсем не то, что они помнят. На самом деле это идиллический мир, в котором все жители проводят время за обсуждением философии. В последних строках рассказа один из героев говорит: «Пойдемте, найдем людей. Теперь мы можем спокойно болтать о разных метафизических вещах. Мне всегда нравились метафизические вещи». Только любое реальное обсуждение метафизики путешествий во времени, я думаю, убедило бы его, что прошлое не может быть так изменено. Урок неизменности прошлого болезненно усвоен студентом-

<sup>1</sup> Какая ирония: эти строки переведены во время самоизоляции в разгар пандемии коронавируса. – *Прим. перев.*

историком в «Огненной страже» (Уиллис). Отправленный на сто лет назад, во время бомбардировки Лондона во Второй мировой войне, он становится частью группы пожарных, которая спасает собор Святого Павла от разрушения. Но он знает – как в этой войне нельзя было отменить спасение церкви, так нельзя избежать и более позднего испарения этой же церкви в ядерной войне в начале двадцать первого века. Это пример того, как можно написать хорошее фантастическое произведение, не попирая логику. Другие научно-фантастические произведения, предполагающие изменчивость прошлого, – это (в быстро возрастающем порядке неправдоподобия) «Туннель времени» Ленстера, «Тьма времени» Джейкса и «Прогресс Блейка» Нельсона.

В фильмах часто показывают попытки использовать путешествия во времени, чтобы более или менее успешно изменить прошлое. В фильме 1960 года «За барьером времени» летчик-испытатель преодолевает скорость звука и «временной барьер» и летит в 2024 год в мир после ядерной войны. Позже он возвращается в настоящее, пытаясь предотвратить войну. «Ловцы времени» 1987 года совершенно нереально изменяют прошлое; герой сначала видит, как его семья погибла в автокатастрофе, а затем использует машину времени, чтобы предотвратить аварию. «Полиция времени» 1994 года настолько сильно искажает логику как изменяющегося, так и неизменного прошлого, что кажется, ни один последующий фильм не сможет справиться с путешествием во времени хуже.

Другие фильмы, оставаясь нелогичными, по крайней мере, смогли быть очаровательными в своем невежестве. Например, в оригинальном фильме «Назад в будущее» есть тонко показанная последовательность изменений прошлого, которую легко пропустить. Марти МакФлай отправляется в 1955 год со стоянки в торговом центре «Две сосны», названном так из-за двух сосен, растущих неподалеку. Марти вламывается в прошлое буквально с треском, нечаянно уничтожая одну из (тогда) молодых сосен. Ближе к концу фильма, когда он возвращается в будущее 1985 года, он обнаруживает, что торговый центр теперь называется «Одинокая сосна». Это очаровательно и весело – и действительно умно, но современные исследователи путешествий во времени отвергают это и другие представления об изменении прошлого как логически невозможные. Единственное, что может объяснить путешествие Марти, – так это почему торговый центр *всегда* носил название «Одинокая сосна». Как хладнокровно заявляет леди Макбет после убийства Банко: «Что сделано, того не воротить: теперь в кровать и спать».

### 4.3. Различие между изменением прошлого и влиянием на прошлое

Страх перед путешествиями во времени из-за возможных попыток изменить прошлое заставил некоторых философов (и немало физиков) утверждать, что путешествие во времени невозможно, потому что это означает

невозможное событие, то есть изменение прошлого. (Однако между изменением прошлого и влиянием на прошлое существует важное, но тонкое различие, которое не всегда могут уловить даже опытные философы и ученые. Наиболее наглядно для неподготовленного читателя данное различие можно проиллюстрировать на примере научно-фантастических произведений, поэтому далее автор больше цитирует фантастов, чем ученых. – Прим. перев.)

Многие статьи вызваны ошибочным пониманием взгляда Минковского на пространство-время) Вы не можете попасть куда-либо в прошлое, если уже не были там, и когда вы совершите путешествие, вы будете делать то, что уже сделали там. Вы не могли, как путешественник во времени в рассказе 1990 года «Лазер Бена Франклина», изменить ход истории, раскрыв знания о физике двадцатого века в восемнадцатом веке. Это не означает, что ваше пребывание в прошлом обязательно окажется безрезультатным. Неспособность *изменить* прошлое не равносильна неспособности *повлиять* на то, что произошло в прошлом. Авторы научной фантастики использовали это различие для достижения хорошего литературного эффекта.

Рассмотрим случай с подводной лодкой, путешествующей во времени, в рассказе «Необычное спасение» Бонда. Путешественники во времени возвращаются в библейские времена на подводной лодке, оснащенной машиной времени. Во время плавания в древнем море команда находит тонущего человека и спасает его. Вернувшись в настоящее, они понимают, что человеком, которого они взяли на борт подводной лодки, был библейский Иона – и это объясняет знаменитое сказание про Иону, «проглоченного китом»! Однако способность сыграть определенную роль в истории не лишена ограничений. Вы не можете *предотвратить* ни Черную смерть в Лондоне 1665 года, ни Великий пожар в следующем году, но вполне логично, что вы – неосторожный путешественник во времени – можете *стать причиной* любого из этих событий или, возможно, того и другого.

Весь смысл прекрасного рассказа «День зеленого бархатного плаща» Клиngerмана состоит в том, что поступки, которые современная героиня совершает в настоящем, влияют на события 1877 года. В моем собственном рассказе «Дар Ньютона» это визит путешественника во времени из будущего, в результате которого Ньютон переключился с первоклассной физики на второсортную теологию – трагически неправильное применение таланта, о котором путешественник во времени знал, но не знал причину. Можно также вспомнить рассказ «Хранитель прошлого» (Блох), в котором таинственная машина времени посетителя из тридцатого века ошибочно принимается за секретное советское оружие и тем самым запускает ядерную войну. На самом деле путешественник во времени вернулся в прошлое, чтобы спасти шедевры изобразительного искусства от уничтожения в той самой войне (которая, как он знал из истории, была вызвана каким-то «неизвестным заурядным инцидентом»).

Не все авторы ранней научной фантастики правильно понимали различие между изменением прошлого и влиянием на прошлое. Например, не-

способность понять это различие – камень, о который спотыкается Макги-вен со своим рассказом «След во времени». Это история об изобретателе машины времени, чей ассистент намеревается покончить с ним и украсть устройство. Будучи эмоционально неспособным просто застрелить изобретателя и покончить с этим, ассистент ждет своей первой испытательной поездки на 5000 лет в будущее. Там он сбивает изобретателя с ног, прыгает в машину времени и возвращается один. Ассистент думает, что оставить жертву в одиночестве далеко в будущем – не менее надежное решение, как и убийство. Однако план ассистента получает катастрофическое продолжение. По возвращении в настоящее время он видит и слышит изобретателя – он случайно вернулся за день до начала испытания! Психика ассистента не выдержала потрясения, и, вытащив пистолет, он застрелился: «эхо выстрела прокатилось по лаборатории». Но это не произошло в первоначальном ходе событий того дня (в конце концов, ассистенту было бы трудно не заметить свой собственный труп на полу лаборатории!), и, следовательно, это не могло произойти.

Различие между изменением прошлого и влиянием на прошлое было окончательно понято только относительно недавно. Вспомните, что даже Гёдель споткнулся на этом вопросе, когда писал о том, что путешественник во времени посещал себя в прошлом (что логически возможно, если такое посещение *случалось*), а затем совершал то, что, как он помнит, не происходило (а это нелогично). Чтобы проиллюстрировать взгляд Гёделя под другим углом, рассмотрим рассказ Хантера «Путешествие», в котором мы видим, как тринадцатилетний мальчик переносится во времени из 1935 в 1950 год, чтобы встретиться с самим собой. Это происходит в тот день, когда он прогуливает школу, едет на трамвае по Лос-Анджелесу – и внезапно оказывается в будущем. Возвращаясь из кино, он встречает себя взрослого и узнает, что будет жить в несчастном браке и с несбывшимися надеждами. Именно тогда ему приходит в голову возражение в стиле Гёделя, поэтому он спрашивает старшего себя: «Разве ты не помнишь, как все это происходило с тобой, когда тебе было тринадцать лет?» В ответе, идею которого сам Гёдель, вероятно, упустил из виду, мы слышим: «Я помню, как однажды, когда я был в твоём возрасте, я прогулял школу и поехал на трамвае по Лос-Анджелесу смотреть кино». Он добавляет, что по дороге домой тем вечером он никак не мог вспомнить, что случилось после фильма. Затем, пытаясь изменить свою жизнь, взрослый я сажает свою молодую личность в трамвай (и обратно в прошлое) с предупреждением «Черт возьми, не забывай об этом!». И счастливый – хотя и нелогичный – конец состоит в том, что герой не забывает, и поэтому, вероятно, его будущее изменилось. Айзек Азимов наткнулся на зеркальное отражение той же самой ошибки, когда он написал, что «действия в прошлом изменяют многое, если не все, что последует в будущем». Это не так.

Увлекательная трактовка идеи «встретить себя в прошлом в детстве» с логическим поворотом, позволяющим избежать ошибки изменения прошлого, разворачивается в рассказе «Билет в детство» Виктора Колупаева.



Сорокалетний исследователь-медик, путешествующий во времени, потерял все свои личные воспоминания, за исключением тех, которые были за последние пятнадцать лет, поэтому отправляется на тридцать лет назад, чтобы увидеть десятилетнюю версию себя. Это странная встреча. Старое я – сильный, здоровый человек, а молодое я – больной мальчик, который думает, что умрет молодым. Действительно, так и случилось: в конце рассказа мы узнаем, что он умер в двадцать пять лет, когда находился на старте многообещающей медицинской исследовательской карьеры, в тот самый день, когда старое я потеряло все свои прежние воспоминания. На самом деле старое я – это вовсе не старое я, а скорее искусственное творение молодого человека, созданное для продолжения исследований, после которых у молодого человека не оставалось времени, чтобы заняться собой. Поэтому путешественник во времени существует только потому, что существовал юноша, который, как он думал, был его личностью в молодости, и тем не менее путешественник во времени действительно не имел детства.

Роберт Хайнлайн был одним из писателей-фантастов, который ясно понимал парадоксы путешествий во времени, как то, что они значат, так и то, что они не значат. Например, в его романе «Свободное владение Фарнхема» о семье, которая буквально влетела на двадцать один век в будущее, когда их бомбоубежище испытало прямой удар советской ядерной боеголовки, мы находим следующий диалог между двумя персонажами, которые собираются вернуться в свое время на машине времени.

*– С моей точки зрения, в путешествиях во времени нет ничего парадоксального, и быть не может. Если мы собираемся совершить этот прыжок во времени, то мы его уже сделали; это случилось. И если это не работает, то это потому, что этого не произошло.*

*– Но этого еще не произошло. Раз вы говорите, что этого не произошло, значит, этого не может быть. Вот что я имею в виду.*

*– Нет-нет! Мы не знаем, произошло ли это уже или нет. Если произошло, то так и будет. Если не произошло, то и не произойдет.*

Современные философы, а также многие физики, которые глубоко изучили концепцию путешествия во времени, согласны с этим объяснением персонажа Хайнлайна, и теперь они действительно ссылаются на так называемый *принцип самосогласованности* (обычно его приписывают российскому физическому Игорю Новикову); как сказал Фридман: «Единственными проявлениями законов физики, которые могут возникать локально в реальной Вселенной, являются те, которые глобально самосогласованы». То есть для определения того, что разрешено и запрещено в отношении путешествий во времени, не требуется строгая причинно-следственная связь. Все, что требуется, – это наличие логической согласованности событий, случившихся в разное время.

Интересно, что утверждения, эквивалентные принципу самосогласованности, фигурировали в физической литературе в течение многих десяти-

летий; Драйвер нашел первые упоминания 1903 году! И по крайней мере, интуитивное понимание этого принципа можно найти в столь же давней художественной литературе. Например, в пьесе Лорда Дансени 1928 года «Шутка Хахалабы» человек получает (сверхъестественными средствами) копию завтрашней газеты. В ней он читает свой собственный некролог, который настолько шокирует его, что он тут же умирает от разрыва сердца, объясняя тем самым появление некролога.

Конечно, не все писатели-фантасты понимали необходимость согласованности во времени. Например, в рассказе «Послание» (Уилсон) человек встречает изобретателя машины времени и соглашается использовать ее для путешествий в будущее. Как только он попадает в будущее, которое оказывается довольно мрачным, машина ломается. Затем этот человек находит другую машину, которая хотя и слишком мала для него, но может доставить записку, которую он отправляет себе в прошлое, *до того*, как он отправился в путешествие. Эта записка (которую он не получил «в первый раз»), разумеется, не может быть доставлена изобретателю. Однако он следует собственному совету, поэтому принцип самосогласованности в этой истории нарушается дважды.

Один писатель перевернул принцип самосогласованности с ног на голову и использовал его, чтобы отрицать возможность путешествия во времени. Как пишет Вэлброк: «Замкнутая времениподобная кривая – это машина времени. Путешественник во времени может следовать по этому пути в пространстве-времени и в конце своего путешествия обнаружить самого себя, готового к отправлению. Утверждается, что он может вытащить пистолет и выстрелить в своего более молодого двойника, помешав себе совершать путешествие. Решение этого парадокса заключается в том, что конец путешествия путешественника во времени должен соответствовать его началу. Таким образом, замкнутая времениподобная кривая вводит условие периодичности эволюции времени. Принимая во внимание экспериментальные доказательства против такой периодичности, мы будем придерживаться консервативного мнения, что следует отвергать любые исходные данные, которые приводят к замкнутым времениподобным кривым». Вэлброк, однако, не сообщает нам ни о каких-либо «экспериментальных доказательствах», на которые он ссылается, ни о том, как мы могли бы вообще получить такие доказательства.

Важно понимать, что есть способы воздействовать на прошлое, которые избегают какого-либо чувства путешествия во времени, но на самом деле являются просто игрой слов; Суинберн и другие авторы описывали несколько таких случаев. Например, истинность заявления о прошлом, такого как «атомная бомба, сброшенная на Хиросиму, была первой из двух таких бомб, уничтоживших населенные города», могла быть изменена последующими действиями государственных деятелей и солдат. Истинность того, крестил ли отец Джонс в 1997 году величайшего пианиста XXI века, зависит от дальнейшей карьеры малыша. Это тривиальные примеры, которые не отражают

то, что мы подразумеваем под возможностью (или невозможностью) повлиять на прошлое.

Суинберн говорит, что под невозможностью повлиять на прошлое мы подразумеваем что-то наподобие: «Ничто из того, что можно сделать сейчас, не может привести к тому, чтобы вчера не шел дождь, если на самом деле вчера шел дождь». Этот пример верен, но это не то, что подразумевается под *влиянием* на прошлое; скорее, это пример невозможности *изменить* прошлое. То, что Суинберн должен был написать, – учитывая название его статьи и занимаемое им положение, – это «Ничто из того, что может сделать любой из нас, не может быть причиной того, что вчера не пошел дождь». Если дождь шел, значит, дождь шел, и это окончательно. У нас осталась еще одна философская проблема – так все-таки *когда* возникла причина дождя, до или после дождя?

Особый, исторически интересный случай веры в возможность повлиять на прошлое – *ретроспективная*, или *обратная*, просительная молитва. («Обычная» просительная молитва просит чего-то в настоящем или будущем.) Два примера обратных молитв: пациентка хирургического отделения, которая молится перед взятием пробы клеток, чтобы опухоль была не злокачественная, и жена солдата, которая молится, чтобы ее муж не был убит во вчерашнем сражении. Эти молитвы просят о счастливом исходе события, которое произошло до совершения молитвы. Можно понять обоснованность молитвы о будущем («Пожалуйста, Боже, позволь мне пережить завтрашнюю битву, и я буду хорошо себя вести всю оставшуюся жизнь»), но разумны ли молитвы о прошлом?

В приложении к своей книге о чудесах, озаглавленном «Об особых обстоятельствах», Клайв Льюис отвечает на этот вопрос следующим образом:

*Когда мы молимся о результате, скажем, битвы или медицинской консультации, нам часто приходит в голову мысль, что (если бы мы только могли знать) событие совершилось так или иначе. Я полагаю, что это не является веской причиной для прекращения наших молитв. Событие, безусловно, произошло – в некотором смысле оно случилось «перед всеми мирами». Но одной из вещей, которые принимаются во внимание при принятии решения, и, следовательно, одной из вещей, которая заставляет событие произойти именно так, может стать та самая молитва, которую мы сейчас произносим. Таким образом, как ни шокирующе, это звучит, я делаю вывод, что в полдень мы можем стать частичной причиной события, произошедшего в десять часов утра. (Некоторые ученые принимают эту мысль гораздо легче, чем принято думать.)*

Здесь мы видим, что Льюис, выдающийся богослов-мирянин, доказывает, что настоящее влияет на прошлое, но не меняет его. Какой мы можем сделать из этого вывод? Льюис выступал за обратную причинность? Я думаю, что последнее предложение в этом отрывке помогает понять, что он, возможно, имел это в виду. Эта точка зрения находит широкую поддержку

в интерпретации пространства-времени Минковского в блочной вселенной. Льюис никогда явно не упоминает блочную вселенную, но, очевидно, он верил в идею о том, что Бог способен видеть всю реальность сразу и что Бог знает о молитве перед ее совершением. Или, если выразить это еще точнее, что Бог является не движущимся во времени существом, а скорее «вечным», и поэтому знает все время «сразу». То есть Бог одновременно знает и о молитве, и о событии, исходу которого посвящена молитва.

На протяжении веков были высказаны всевозможные мнения о возможности повлиять на прошлое с помощью обратной просительной молитвы, и многие из них сосредоточились на старой заботе о свободе воли и детерминизме, обсуждавшейся во второй главе. Браун сформулировал хорошее резюме этих мнений. Большинство теологов хотят сохранить свободную волю, как и Льюис, – например, философ Майкл Даммет говорил про концепцию ретроспективной молитвы Льюиса с большой симпатией – и обратная причинность позволяет им делать это, в дополнение к сохранению божественного всеведения. То есть это не предвидение Бога вызывает наши дальнейшие действия и заставляет нас вести себя подобно автоматам. Скорее наоборот, это наши дальнейшие действия вызывают предвидение Бога!

Начало дискуссии современных философов по вопросу о влиянии на прошлое можно найти в совместных работах Даммета и Флю. Даммет, который верил в логическую возможность обратной причинности, к сожалению, представил свои рассуждения в сомнительной форме философских сказок (во второй главе я уже показал, что у этого подхода нет других достоинств, кроме развлекательности). В частности, Даммет просит нас представить человека, который всегда просыпается утром за три минуты до того, как сработает его будильник (если он не забыл завести его, а затем проспал); маг, который устраивает хорошую погоду в Ливерпуле вчера, после того как он сегодня произносит заклинание (предполагаем, что он не знает перед чтением заклинания, какая погода была на самом деле); и человек, который обнаруживает, что если он скажет «клик!» перед открытием конверта, в нем никогда не будет счета на оплату.

Даммет утверждает, что, расширяя наше представление о причине, мы можем удержать такие случаи в логическом поле. Но поскольку нет никаких доказательств этих любопытных событий – они просто являются продуктами творческого ума Даммета, – почему мы должны быть готовы расширить то, что выглядит вполне законченной концепцией причинности? Даммет никогда не предлагает нам ни малейшего физического объяснения или даже намеков на физический механизм своих рассказов. Какой бы ни была правда его выводов, его метод достижения их не имеет убедительной силы убеждать.

Однако в своем ответе, отвергнув Даммета, Энтони Флю тоже не смог убедить читателя в логике *своего* аргумента. Он даже не захотел развлекать читателей логической возможностью обратной причинности, а это все, на что претендовал Даммет. Флю заявил, что «причина должна быть до след-

ствия – это не факт, а истина логики». Это звучит очень похоже на Аристотеля, который мог бы просто сбросить с башни два разных груза, как это сделал Галилей, чтобы *наблюдать* за тем, что на самом деле происходит, но предпочитал спорить «логически» – и ложно, – и с таким подходом Энтони Флю действительно больше нечего сказать.

Конечно, Флю мало кому показался убедительным. Спустя несколько лет Брайер убедительно показал, что Флю упустил суть вопроса, путая изменение прошлого с влиянием на прошлое. В ответе, последовавшем сразу после статьи Брайера, Флю продолжил совершать ту же ошибку и вдобавок написал, что обнаружил различие между этими двумя понятиями «невероятно удивительным». Усугубляя это признание в собственном невежестве, Флю продолжал утверждать, что различие между изменением и влиянием на прошлое является «тем нюансом, с которым любой постоянный читатель философских журналов незнаком».

Узнав о подобном невежестве, Дуайер поставил перед собой цель просветить Флю относительно разницы между изменением и влиянием. Ссылаясь на более раннюю статью Хосперса, Дуайер написал о гёделевском путешественнике во времени, посещающем прошлое в ракете:

*Путешествие во времени, влекущее за собой обратную причинность, не предполагает изменения прошлого. Путешественник во времени не отменяет того, что было сделано, и не делает то, что не было сделано, поскольку его посещение более раннего времени не меняет истинность каких-либо предположений, касающихся событий этого периода. Таким образом, еще до того, как путешественник вошел в свою ракету в 1978 году, чтобы начать свою успешную миссию в 3000 году до нашей эры, точный каталог всех событий, произошедших в Древнем Египте в этом году, включал бы отчет о его явлении с неба, а также отчет о его различных действиях и поведении в этой новой среде. Содержание такого каталога никогда не может быть получено, но это не относится к делу. И все же хотя путешественник во времени, таким образом, не меняет прошлое, когда возвращается к нему (поскольку он не может ничего сделать в 3000 году до нашей эры, что не было сделано в том году), он влияет на прошлое в том, что прибытие ракеты, а также его деятельность по строительству пирамид и т. д. являются членами класса событий, которые характеризуют (уникальный) 3000 год до нашей эры. Мне кажется, что здесь следует провести четкое различие между случаем, когда предполагается, что человек меняет прошлое, что действительно связано с противоречием, и последним случаем, когда предполагается, что человек влияет на прошлое посредством самого факта присутствия в тот период.*

Дуайер заканчивает статью утверждением о том, что «в контексте путешествий во времени легко заметить, что определенная критика теорий обратной причинности, такая как отклик Флю на работу Брайера... основана

на недопонимании». Другим философом, которого Дуайер наверняка обвинил бы в подобных недоразумениях, являлся Дж. Р. Лукас, который в размышлениях о машинах времени писал: «Часто нам предлагают представить себя свидетелями прошлых событий. При условии что мы неактивны и невидимы (напомним, похожий взгляд у Гернсбека), никакого парадокса не возникает. Если мы просто пассивные зрители, мы не изменяем неизменное прошлое; и при условии что никто из участников событий не сможет нас увидеть, услышать или почувствовать, наше присутствие ничего не изменит, а чистота прошлого останется нетронутой». Как и в случае Хосперса, Лукас, похоже, думал, что прошлое случается дважды, первый раз без путешественника во времени, а затем снова с путешественником во времени. Это мнение, которого придерживаются редкие исследователи путешествий во времени.

Конечно, чтобы точка зрения Дуайера была убедительной, мы должны быть готовы принять хотя бы *возможность* путешествия во времени; иначе мы получаем сказки очередного философа, который пытается объяснить одну необычную идею (обратная причинность) с точки зрения другой, еще более необычной (путешествие во времени). Для моей книги важность работы Дуайера заключается в том, что в ней он явно дает нам рациональный механизм: «Для путешествий во времени может найтись объяснение в терминах уравнений поля общей теории относительности вместе с начальными условиями распределения массы-энергии в определенной области пространства-времени».

Разумеется, не все согласны с Дуайером, как я. Например, Спеллман говорил: «Я не намерен вступать в дебаты о том, возможны ли путешествия во времени. Однако я хочу сказать, что нет причин называть пример Дуайера *обратной* причинностью. Дуайер описывает построение пирамиды как “причинное будущее” [путешественника во времени], которое в то же время является частью его “хронологического прошлого”. Но если путешествие во времени возможно, то на каком основании мы говорим, что строительство пирамиды предшествует запуску ракеты? Скорее, с точки зрения путешественника во времени существует совершенно обычная причина – более раннее событие (запуск ракеты) вызывает более позднее (прибытие в пункт назначения)». Логика Спеллмана, безусловно, верна, насколько это возможно, но что увидит не путешествующий во времени наблюдатель, который следит за всем процессом линейно от 3000 года до нашей эры и вплоть до наших дней? Для него процесс, безусловно, включает обратную причинность.

Как мы видели в первой главе, авторы научно-фантастических рассказов готовы пойти на многое, чтобы показать, что путешественники во времени должны быть предельно осторожны в прошлом; в качестве примера можно привести «И грянул гром» Рэя Брэдбери. На другом полюсе находится книга Клиффорда Саймака «Через реку, через лес», в которой говорится о намеренных попытках изменить прошлое. Хотя современные философы могут найти такие рассказы очаровательными, они по праву отвергают их сюжеты как

нелогичные. Эти рассказы нелогичны, потому что они ошибочно сравнивают путешествие во времени в прошлое с обычным путешествием в пространстве. В последнем случае вы действительно можете посещать места, в которых вы никогда не были прежде, и, оказавшись там, вы можете делать то, чего никогда раньше не делали. Однако с путешествием во времени в прошлое это не так. Когда рассказчик в романе «Время вспомнить» (Шапиро) – основа сценария для фильма «Бегущий против времени», снятого в 1990 году, – задается вопросом, может ли он спасти Кеннеди от выстрела Освальда, он спрашивает: «Могу ли я вернуться к 1963 году и остановить вопиющее преступление – разорвать ткань истории и пересмотреть прошлое?», – мы бы ответили ему отрицательно. Вы не можете спасти Жанну д'Арк с помощью огнетушителя или защитить Иисуса с винтовкой, как в «Спасателе» (Поргес), потому что или вас там не было, и вы не можете быть там тогда, или вы там были (будете), и в этом случае мы уже знаем, что вы потерпели неудачу по какой-то причине. Попытки перехватить Джона Уилкса Бута возле Театра Форда и предупредить нацистов о высадке союзных войск в Нормандии одинаково обречены. И в качестве особого личного случая, если когда-нибудь вы обзаведетесь машиной времени, будет также бесполезно пытаться посетить себя в любое время, когда вы знаете, что были одни. Вернитесь к тому времени, когда вокруг было много людей, но не пытайтесь говорить с самим собой, если только вы не вспомните эпизод, когда загадочный, но почему-то знакомый человек подошел к вам с разговором о путешествии во времени!

В романе Пола Андерсона «Коридоры времени» человек двадцатого века, завербованный посетителем из будущего, восклицает: «Что? Погодите-ка, вы имеете в виду, что можно *изменить* прошлое?» Посетитель вполне логично отвечает: «О нет, никогда. Это по своей сути невозможно. Если кто-то попытается, он обнаружит, что все его попытки проваливаются. Что было, то есть. Мы, путешественники во времени, сами являемся частью полотна времени». Если вы чего-то не делали *тогда*, то вы и не сможете это сделать – и с этим просто ничего не поделаешь. Как замечает Перикл Шекспира: «Время – царь людской; Он их родитель, и он их могила. Он дает им что пожелает, а не то, чего они жаждут». В рассказе «За дверями времени» О'Брайена мы знакомимся с историей, которая на первый взгляд неправильно трактует этот момент, но на самом деле вполне логична. Осужденный убийца внезапно исчезает с электрического стула в 1940 году и оказывается в 3000 году. Как объясняет ошеломленному преступнику изобретатель машины времени, устроивший этот поразительный побег, если убийца выполнит «заказное убийство» для изобретателя, то: «Я отправлю тебя назад за год до того, как тебя поймут и приговорят к смертной казни! ... Ты уже видел прошлые события, поэтому не сделаешь шаг, который привел тебя к электрическому стулу!»

Это нелогичное утверждение, на первый взгляд, указывает на примитивную выдумку про изменение прошлого, но буквально несколькими предложениями позже изобретатель утверждает, что время и дата казни убийцы зафиксированы в истории. Вскоре мы обнаруживаем, что хотя убийца –

жестокий человек, он далеко не глуп. До того, как машина времени утратила связь с моментом, когда убийца был оторван от электрического стула, убийца меняется местами с изобретателем. В итоге коварный изобретатель отправлен в прошлое – и это его казнь, а не убийцы зафиксирована в *неизменной* истории человечества.

Различие между изменением прошлого и влиянием на него также дает ответ на «парадокс накопления наблюдателей» в романе Роберта Сильверберга «Вверх по линии». Этот парадокс утверждает, что поскольку путешественники во времени продолжают посещать определенные исторически интересные даты и места, в них будет постоянно увеличиваться число людей. Как сказано в романе: «Доведенный до логического конца парадокс накопления наблюдателей дает нам толпу из миллионов путешественников во времени, скопившихся в прошлом, чтобы наблюдать распятие Христа, заполняющих всю Святую Землю и растекающихся в Турцию, в Аравию, даже в Индию и Иран... Но при оригинальном развитии [этого события] таких орд не было». (Может быть, именно научно-фантастический роман Сильверберга вдохновил Хокинга на наблюдение за «полчищами туристов из будущего», которое он назвал «экспериментальным доказательством» гипотезы о защите хронологии?) А позже в той же работе, более поэтично: «Придет время, когда наше прошлое сожмется в точку. Мы наполним все наши вчерашние дни самими собой и не оставим места предкам».

Конечно, современный взгляд на «парадокс» Сильверберга заключается не в том, что вышеупомянутая абсурдная ситуация означает, будто на Распятии не может быть путешественников во времени, потому что путешествие во времени «очевидно» невозможно, а скорее в том, что путешественники во времени присутствовали (будут присутствовать?) в «оригинальных» толпах – использование Сильвербергом слова «оригинал» неверно, потому что оно повторяет ошибку Хосперса, утверждавшего, что прошлое случается неоднократно.

Рассказ «Кольцо» (Худец) – умное произведение, которое также имеет свой тонкий, но довольно фатальный недостаток, выраженный в неспособности оценить разницу между изменением и влиянием на прошлое. Он также иллюстрирует дублирование объектов, побочный эффект путешествия во времени, который Сильверберг называет частным случаем парадокса накопления наблюдателей. В этой истории нам рассказывают, что путешественник во времени зарабатывает огромные деньги, продавая одно и то же кольцо с бриллиантом 94 раза; то есть он продает 94 разных кольца, но кольца «точно, абсолютно и абсолютно идентичны, вплоть до последнего атома». Здесь нет никакого преступления, нет никакого мошенничества, потому что кольца стоят каждого пенни. Но полицейский инспектор заинтригован и хочет докопаться до истины. Он обнаружил, что путешественник во времени просто возвращался в Амстердам семнадцатого века и раз за разом покупал одно и то же кольцо, каждый раз на час раньше, до тех пор, пока не добрался до момента, когда ювелир сам еще не приобрел кольцо!



Однако, с точки зрения пространства-времени Минковского, когда путешественник во времени появился там впервые (впервые для него, но в последний раз для ювелира), его сочли бы сумасшедшим. «Но, сэр, – воскликнул бы ювелир, – вы уже купили кольцо, о котором говорите!» Кольца просто не окажется в ювелирном магазине после самой отдаленной покупки во времени – на самом деле его отсутствие должно сказать путешественнику во время первого визита лишь то, что он позже пойдет еще дальше в прошлое и купит его.

Возможно, классикой историй о дублировании объектов можно считать невероятно умный, дьявольский рассказ «Имя мне – Легион» (Лестер дель Рей). В этой истории дублирование объекта происходит путем «достижения будущего», а не прошлого. Изобретатель устройства, чьи жена и дети были убиты гитлеровцами, объясняет: «Я вытаскиваю предмет из его будущего, чтобы встать рядом с его настоящим. Я умножаю его в настоящем примерно так же, как вы можете взять прямую струну и согнуть ее в несколько складок или петель, чтобы она неоднократно присутствовала в одном месте». «Струна», безусловно, является метафорой автора для мировой линии объекта. Что придает этой истории особый драматизм, так это то, что дублируемый объект – это Адольф Гитлер, повторенный 7000 раз (по одному на каждые последующие 24 часа в течение следующих 20 лет), причем каждая следующая копия становится несколько более дряхлой, чем предыдущая. (Рассказ был написан в 1942 году, до того, как стало известно о самоубийстве Гитлера в бункере.) Таким образом, разум Гитлера вынужден переживать одни и те же 24 часа 7000 раз. (Повторяя историю 7000 раз с одиночным Гитлером для каждого повторения, дель Рей тем самым избегает ошибки Сильверберга с 7000 копий Гитлера одновременно.) Можно вспомнить и другие истории, в которых путешественники во времени дублируют себя во время путешествия во времени. Среди них «Проблема с прошлым» (Эйзенштейн), «Некролог» (Азимов) и «Мы войдем через окно» (О'Доннелл).

Довольно раннее (1943), но сложное и научно обоснованное пространственно-временное представление основных идей об «изменении прошлого» можно найти в рассказе «Забывтое прошлое» Моррисона. Там один персонаж объясняет другому: «Большинство этих разговоров о путешествиях во времени – бред. Заметьте, что я не говорю “все”, но большая часть из них. Вы не можете путешествовать в прошлое. Прошлое является бесконечной областью в четырехмерном пространственно-временном континууме, природа которого была полностью определена. Все мировые линии, как сказал Минковский, мировые поверхности, мировые объемы полностью известны. Путешествие в прошлое изменило бы их. Это невозможно». Этот аргумент, конечно, теряет свою силу, если занять позицию, которую отстаивает моя книга (то есть если принять идею, что мировые линии путешественника во времени возвращаются в прошлое), поэтому путешествие во времени не меняет прошлое, а встроено в прошлое.

Автор «Хроноклазма» Джон Уиндхэм не в состоянии понять разницу между изменением и влиянием на прошлое, и все его персонажи проявляют ошибочные опасения, что путешествующие во времени историки меняют прошлое, когда на самом деле все причудливые исторические события (такие как Герон, демонстрирующий паровую турбину в Александрии за годы до рождения Христа, Архимед, использующий напалм – «греческий огонь» – во время осады Сиракуз, и парашюты на рисунках да Винчи) *были* в истории. Утечка информации от путешествующих во времени незнакомцев не меняет прошлое, а скорее встраивается в историю. На самом деле даже необходимо, чтобы такая утечка произошла во избежание изменения прошлого в истории, какой мы ее знаем.

Другие авторы проделали хорошую работу по правильному различению влияния на прошлое и изменения прошлого. Например, в рассказе 1940 года «Время обманщиков» (Биндер) друг пытается уговорить двух путешественников во времени немного повеселиться после их успешного пробного путешествия. Незадолго до того, как путешественники отправятся из 1941 года в будущее, он говорит: «Почему бы не принять участие во Всемирной выставке, прежде чем снова уехать? У тебя не будет другого шанса. Ну что, согласен?» (Этот пример демонстрирует риск попыток предсказать будущее для автора. Рассказ опубликован в марте 1940 года, пока Выставка была еще открыта, однако она закрылась всего через несколько месяцев, в октябре, после заявления о банкротстве.) Один из хрононавтов отвечает со смехом: «Сделаем иначе. Будет очень забавно отправиться в будущее, прочитать о том, что Выставка закончилась, а затем вернуться, чтобы побывать на ней!» Друг отвечает ему: «Я не верю в это! Вы не можете этого сделать... Если Выставка закончилась без вас, вы двое в ней не участвовали». Абсолютно правильно.

Еще один рассказ, в котором все происходит правильно, – по сути, это классика жанра – «Проект “Биография”» (Голд) о камере «Биотайм», которая может снимать прошлое (увы, без звука). Используя это устройство, Институт биофильмов отправляет команды биографов для изучения жизни известных личностей прошлого. В частности, старательно изучают жизнь личностей, подверженных невротическим психозам, таких как Марсель Пруст и Исаак Ньютон. И действительно, биокамера делает прекрасные снимки этих людей, когда они начинают демонстрировать все более странное поведение. Например, мы видим, как Ньютон начинает заглядывать в темные углы, разыскивая тех, кто шпионит за ним. Когда он лежит на смертном одре, прикрепленные к нему биографы читают по губам последние слова: «Мой ангел-хранитель, Вы следили за мной всю мою жизнь. Я рад встретиться с вами сейчас». Именно тогда Институт биофильмов осознает, что он натворил. И действительно, за Ньютоном следили – это была камера «Биотайм», которая не изменила прошлое, но повлияла на него. (Это, конечно, просто умозрительное упражнение, поскольку современная медицина утверждает, что причиной странного поведения Ньютона было на самом деле

отравление ртутью в результате его алхимических экспериментов, а не из-за того, что на него смотрела биокамера!) Эта же идея используется в рассказе «Однажды в Александрии» (Фрэнсон), в котором археолог использует устройство просмотра через время, чтобы прочитать потерянные рукописи в древней библиотеке в Александрии до того, как она сгорела. Ученый использует инфракрасный луч – и тепло от этого луча из будущего становится причиной пожара в прошлом.

Идея просмотра времени встречается даже в научно-популярной литературе. Например, Джон Л. Коттер, почетный куратор музея Университета Пенсильвании, был настолько вдохновлен чтением о машине времени на основе червоточины в статье Морриса, Торна и Юртсевера, что высказался так: «Торн и его коллеги ... говорят, что если теоретически возможно путешествие в прошлое, эта возможность будет иметь “глубокие философские последствия”». Это может разорить археологов и поставить перед дилеммой историков и богословов. Представьте себе возможность наблюдать реальную жизнь Моисея, Иисуса, Мухаммеда или Гаутамы Будды, не говоря уже о Лукии, неандертальце, художниках, которые рисовали в пещере Ласко, Саргона и Юлия Цезаря». Затем Коттер высказал опасение, которое, вероятно, в новинку для большинства его читателей, но которое мы знаем как идею биокамеры: «Мы должны подумать о том, что нас могут увидеть те, кто живет на 2000 или более лет в будущем». В рассказе Найта «Я вижу тебя» – предостерегающей истории об истинном значении возможности увидеть прошлое – рассказчик предупреждает нас: «Поймите, что не существует никаких укромных уголков. Кто-то наблюдает за вами из призрачного будущего, за этим наблюдателем следит другой наблюдатель, а за ним следующий, и так до бесконечности». Будьте осторожны, когда в следующий раз делаете что-то такое, из-за чего не хотели бы появляться в докторской диссертации 40-го века о своей жизни – хотя для некоторых из нас может быть уже слишком поздно беспокоиться об этом!

Культовые фильмы «Терминатор» и «Терминатор-2» умело сочетают в себе влияние на прошлое и изменение прошлого. Основная идея, лежащая в основе обоих фильмов, состоит в том, что после того, как мыслящий военный компьютер преднамеренно запустил ядерную катастрофу 1997 года, машины-убийцы вступают в постоянный конфликт с выжившими людьми, которые во главе с харизматическим лидером борются за выживание. В первом «Терминаторе» машины отправляют робота-убийцу в 1984 год, чтобы изменить прошлое, уничтожив будущую мать лидера до его рождения. Чтобы противостоять этому, лидер отправляет друга в прошлое, чтобы предупредить свою мать, – и этот друг становится его отцом. То есть лидер существует в 2029 году, потому что в этом году он сделал то, что влияет на 1984 год: он устраивает встречу своих родителей!

В продолжении 1991 года «Терминатор-2» мы узнаем, как появился мыслящий и сознающий себя военный компьютер. В конце первого фильма робота-убийцу уничтожают до того, как он сможет выполнить свою (логи-

чески невозможную) задачу, но спасается важная компьютерная микросхема из его «мозга»; высокотехнологичные инновации, порожденные секретами этого чипа, приводят к изобретению мыслящего компьютера и, таким образом, к войне 1997 года. Во втором фильме второй робот-убийца снова отправляется в прошлое, теперь чтобы убить самого лидера, когда он был еще ребенком (еще одна логически невозможная задача, да, но в конце концов это Голливуд!), и снова план убийства был сорван, что вполне логично. Машина-убийца погибает, потому что лидер снова отправляет в прошлое воина (на этот раз «хорошего» робота), чтобы защитить себя. Кроме того, хороший робот находит и уничтожает продвинутый компьютерный чип, оставшийся в прошлом 1984 году, прежде чем его можно будет расшифровать; это должно предотвратить разработку мыслящего компьютера, что вполне логично.

Значит ли это, что «Терминатор-2» – это логическая ерунда, после того как он довольно аккуратно обращался с путешествиями во времени вплоть до финальной сцены? Я так не думаю. В финальной сцене сражения сиквела у хорошего робота оторвана рука (как это случилось с «плохим» роботом в конце первого фильма). Таким образом, несмотря на самопожертвование хорошего робота в чане с расплавленной сталью, чтобы уничтожить чип в своем мозге, в настоящем все еще существует технология будущего. Кто знает, что можно найти в этой уцелевшей руке?

Оба фильма «Терминатор» посылают своим зрителям сообщение о том, что будущее можно изменить, изменив прошлое. Сообщение, которое, как сегодня скажут большинство физиков и философов, не имеет смысла. Таким образом, общий вывод заключается в том, что вы не можете изменить прошлое, но вы вполне можете повлиять на него.

Физики, которые беспокоятся о космической катастрофе, если машина времени действительно может быть построена, и те, кто отвергает физические теории просто потому, что они позволяют путешествовать во времени в прошлое, переживают о несуществующей проблеме. Даже если путешествие во времени в прошлое возможно, вы не можете вернуться и убить своего дедушку, пока ваш отец не был зачат, или, что даже «лучше», вы не можете убить себя в прошлом. Но вполне логично, что вы можете быть тем, кто познакомит вашего дедушку с вашей бабушкой.

#### **4.4. Почему путешественник во времени не может убить своего дедушку?**

Даже после подробных рассуждений о невозможности изменить прошлое и даже когда люди, наконец, готовы согласиться с этим, большинство из них никак не могут понять, *почему* путешественник во времени не может убить своего дедушку. В конце концов, путешественник во времени стоит всего в двух шагах от мерзкого молодого поганца (я полагаю, он

противно выглядит, чтобы сделать это неприятное дело наиболее привлекательным). В руке путешественника отлично функционирующий и хорошо смазанный револьвер, взведенный и заряженный мощными новыми патронами, которые даже Грязный Гарри сочтет чрезмерными. Что помешает путешественнику во времени просто поднять руку и выстрелить? Действительно, во вступительной иллюстрации к рассказу 1944 года «Теория путешествий во времени Томпсона» (Вайзингер) подробно изображена эта сцена, в том числе дымящийся пистолет в руке путешественника во времени, который только что выстрелил в дедушку. И если этот способ оставляет отдаленную возможность промахнуться из-за нервозности, то почему путешественник-самоубийца не может просто использовать динамит и взорвать дедушку?

Как вы узнаете дальше, убить собственного дедушку *логически* невозможно. Никто никогда не найдет записку в пустой лаборатории пропавшего путешественника, который, скептически воспринимая парадокс дедушки, написал: «Чтобы доказать ложность парадокса дедушки, я отправлю машину времени на пятьдесят лет назад и убью своего дедушку...» Изобретателю машины времени также не придется беспокоиться о том, что в «Первой машине времени» Фредрика Брауна есть подвох. Там изобретатель машины времени показывает гаджет трем друзьям; один из них украл машину, чтобы вернуться на шестьдесят лет назад и убить своего деда; история заканчивается *почти* повторением вступления, когда изобретатель показывает гаджет *двум* друзьям.

Досадно, что классический парадокс путешествий во времени принимает такую убийственную форму, но так сложилось исторически. Стюарт пишет о том, что «парадокс дедушки» произошел от рассказа Рене Барджавеля «Неудачный вояж». Этот рассказ опубликован в 1944 году, но на самом деле парадокс дедушки уже вовсю обсуждался десятилетием раньше. В письме в редакцию *Astounding stories* (январь 1933 года) читатель пишет: «Зачем вы пристали к деду? Можно подумать, что единственный способ доказать невозможность путешествий во времени – привести пример убийства своего деда. Это регулярное убийство безобидных предков должно прекратиться. Давайте подождем, пока какой-нибудь вдумчивый любитель фантастики не придумает другой способ опровержения теории». По мере продолжения вы увидите, насколько умны некоторые из тех, кто откликнулся на мольбу этого читателя, но даже сегодня парадокс дедушки занимает воображение большинства людей.

Если решение дедушкиной головоломки ускользало от раннего писателя-фантаста, то он, как правило, просто загадочно ссылаясь на нее, а затем поспешно переходил к другим вопросам. Например, в рассказе 1942 года «Зеркало времени» мы находим следующий диалог между типичным молодым героем и блестящим старым ученым:

– Вы имеете в виду, что путешествие во времени действительно возможно? Что люди могут быть перенесены в будущее или прошлое...

Собеседник нетерпеливо взмахнул рукой.

– Да. Путешествие во времени возможно...

– Но профессор! Как такое возможно?! Вы хотите сказать, что я могу вернуться и убить своего деда, что я могу помешать себе родиться...

Старик снова вздохнул.

– Этого я и боялся, – сказал он. – Я знал, что ты не поймешь. – Он замолчал на секунду и продолжил: – В любом случае, поверь мне на слово, что путешествие во времени возможно. Кроме того, я тебя уверяю, что существует множество совершенно обоснованных теоретических и практических причин, почему ты никогда не можешь убить своих бабушку и дедушку.

Нам, однако, не говорят ни слова, каковы могут быть эти причины.

Парадокс дедушки раздражает всех исследователей путешествий во времени. Некоторые из них считают, что парадокс не решен даже сегодня. Например, Шмидт утверждает, что «пока нет общепринятых решений» парадокса дедушки. Как говорит персонаж из рассказа 1950 года «Пишущая машинка из будущего» (Уорт): «Разрешение [парадокса дедушки] – ключ к пониманию времени». И это важно, если не сказать основное свойство времени, как утверждает Уорт. Как менее драматически говорил Горовиц, путешествие во времени и сопутствующая ему обратная причинность – очевидная возможность того, что путешественник во времени сможет покончить и со своим дедом, и с самим собой, – «порождает такие загадки, которые ставят под сомнение саму возможность путешествий во времени».

Горовиц справедливо полагает, что прошлое нельзя изменить, и поэтому насильственного действия путешественника во времени, убившего дедушку или покончившего с собой, просто не может быть. Но затем он продолжает говорить, что неспособность путешественника во времени убить себя или своего дедушку приводит к тому, что мы «сталкиваемся с проблемой объяснения, почему он не может стрелять из оружия или, если он может, почему может стрелять только в определенных направлениях [то есть в тех, которые допустимы]». Горовиц утверждает, что может быть только два возможных ответа: «Либо пистолет не ведет себя как обычный физический объект, каким мы его принимаем, либо понятие добровольного действия неприменимо обычным образом». И вот, наконец, у нас прозвучало явно высказанное беспокойство по поводу проблемы свободной воли. Горовиц не одинок в своем переживании из-за парадокса дедушки; Герберт называл парадокс самым сильным аргументом против путешествий во времени. Оба согласились бы с одним из персонажей рассказа 1944 года «Теория путешествий во времени Томпсона» (Вайзингер), который использует парадокс дедушки, чтобы прийти к выводу, что «истории о путешествиях во времени на сто процентов высосаны из пальца!».

Горовиц застрял в этой логической трясине именно потому, что, как и Хосперс, он думает о прошлом как о случившемся дважды – один раз без путешественника во времени и его оружия, а затем снова уже с путешественником. С этим вторым случаем, утверждает Горовиц, путешественник во времени должен иметь возможность сделать то, что он не сделал в прошлый раз. Так почему он не может? Эта загадка – продукт заблуждений Горовица, потому что она нарушает его собственную фундаментальную веру в неизменную природу прошлого. Если предположить, что путешественник во времени однажды столкнулся с дедом (или с самим собой), он *должен* потерпеть неудачу, потому что он *уже* потерпел неудачу. Требование назвать конкретную «причину невозможности» как условие принятия невозможности столь же неразумно, как поведение автомобилиста, отказывающегося поверить, что его машина не заведется, пока ему не скажут, *почему* она не заведется.

Некоторые авторы научно-фантастических произведений упустили этот момент и призвали внешние силы (мистические и прочие), чтобы защитить хрупкое прошлое от фальсификации в будущем; примером является так называемая «полиция времени». Специальные командос бродят по коридорам времени, разрушая планы тех, кто хочет изменить историю в соответствии со своими личными желаниями. Рассказы про полицейских времени – это заурядные вестерны, детективы, полицейские боевики или прочие банальные вещи, слегка прикрытые тонким камуфляжем, и этот сюжетный подход зачастую становится, как говорил Льюис, «скучной игрой на чужом поле».

Так почему же мы так часто встречаем в художественной литературе различные воплощения полиции времени, такие как Комиссия по безопасности времени в «Звезде над нами» Оливера, которая не позволяет историку-изгою изменить прошлое, чтобы позволить ацтекам победить Кортеса, или оперативники во множестве рассказов Пола Андерсона о Патруле времени? Эти персонажи появились и в фильмах про полицию времени «Трансеры» (1985) и «Полиция времени» (1994). Короткий ответ заключается в том, что авторы таких историй – и многие философы – считают, что это единственный способ путешествовать во времени и иметь свободную волю. Давайте рассмотрим два примера этого предполагаемого конфликта.

Возвращаясь в последний раз к Хосперсу, мы находим следующую историю:

*Наш герой в 1900 году нажимает на кнопку машины времени и оказывается в будущем. Там он встречает девушку, женится на ней и забирает ее с собой на машине времени в 1900 год. Девушка не родилась до 40 000 года нашей эры, но она родила ребенка от путешественника в 1900 году, задолго до собственного рождения. У кого-то возникает соблазн схитрить: что, если он решил в 40 000 году не жениться на ней и не забирать в прошлое? Тогда ее ребенок (родившийся в 1900 году, хотя мать не родилась до*

*40 000 года) также не родился бы; и все же после 1900 года он уже родился. Допустим, этот ребенок мог бы стать премьер-министром Великобритании и повлиять на ход истории таким образом, чтобы в 40 000 году на Земле не было бы никаких людей. Что, если бы в 1990 году произошел ядерный взрыв, который навсегда уничтожил жизнь Земли?*

Все эти вопросы больше говорят о чрезвычайно искаженном понимании Хосперсом того, что представляет собой парадокс, чем о путешествиях во времени. Ссылаться на то, что девушка рождает до ее рождения, – значит задавать вопрос о путешествии во времени как таковом; это просто обратная причинность, которая присуща путешествиям во времени. Вопрос о свободе воли возникает, когда Хосперс задается вопросом «что, если ...» герой не забирает девушку в 1900 год. Ответ прост: сын путешественника во времени не родился бы в 1900 году и не стал бы премьер-министром, ответственным за уничтожение всей жизни в 40 000 году. В самом деле, если цивилизация была уничтожена, то это *Хосперс* должен объяснить нам, почему девушка жива! С другой стороны, если сын родился в 1900 году, то герой *должен* забрать девушку в прошлое – именно это *должно* беспокоить Хосперса, потому что это следует из понятия целостности прошлого.

Таким образом, Хосперс сам себе придумал головоломку, требуя, чтобы все вопросы были решены, так сказать, одновременно. Если в 1990 году произошел ядерный взрыв, уничтоживший всю жизнь, герой просто не нашел бы девушку в 40 000 году. Опять же, Хосперс выдумал головоломку, утверждая, что девушка находится там в 40 000 году, но при этом вся жизнь исчезает в 1990 году. Заявить, что это парадокс, – все равно, что назвать пистолет разряженным без каких-либо оснований, а потом удивляться, выстрелив себе в ногу.

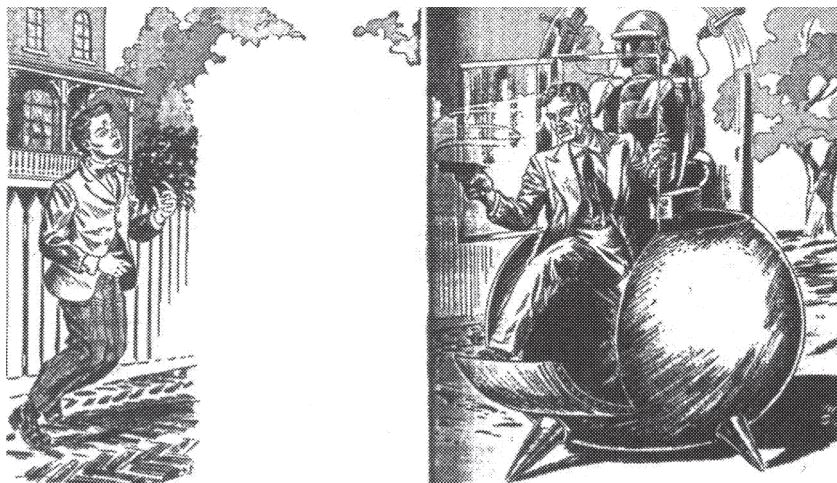
В качестве второго примера можно вспомнить, как Мартин Гарднер приводит те же аргументы и ту же ошибку в своем рассказе о профессоре Брауне, который отправляется на 30 лет в будущее, вырезает свое имя на дубе и затем возвращается к настоящему – где он быстренько срубает дерево! Если Браун срубил дерево, то как, спрашивает Гарднер, он смог вырезать на нем свое имя 30 лет спустя? Ответ прост: если дерево существует в будущем, то профессор просто его не срубил (или не срубил), или, если он срубил дерево, его не будет 30 лет спустя. Гарднер сам усиливает «парадокс», требуя, чтобы дерево там было и в то же время его там не было. Вот что, на мой взгляд, действительно беспокоит Гарднера: если профессор найдет дерево в будущем, то почему он не может срубить его по возвращении? Это, конечно, зеркальное отражение парадокса дедушки. Мы не знаем, почему; мы просто знаем, что профессор этого не сделает (возможно, его топор сломается, или его арестуют за попытку вандализма и так далее).

Как говорил герой романа «Властелин времени» Роберта Форварда, «если машина времени существует, то у любого события, которое грозит нарушить целостность прошлого, будет почти нулевая низкая вероятность». И не будет второго, третьего или четвертого шанса – мировая линия профессора



в пространстве-времени однажды приводит его к дереву, и он однажды (по какой-то причине) не может его срубить.

В романе Райхерта «Неизвестный солдат» безумец в 2058 году планирует уничтожить существующий мир, устроив ядерные взрывы по всей планете. Тем временем его потомки отправятся в прошлое, найдут безумца, когда ему исполнится десять лет, и унесут его в очень далекое будущее, чтобы создать новую реальность. Замените дерево Гарднера на безумца Райхерта, и вы получите тот же парадокс и ту же логическую ошибку. Как думал об этой схеме герой из чтива Райхерта: «Идея казалась полным безумием...» Ну еще бы.



Изобретатель машины времени проводит экспериментальную проверку парадокса дедушки!

Иллюстрация к «Теории путешествий во времени Томпсона» Малколма Смита, © 1944, издательство Ziff-Davis Publishing Co., перепечатано по договоренности с Форрестом Дж. Аккерманом, агентом правообладателя

Одна из немногих научно-фантастических историй, которая действительно раскрывает парадокс дедушки, – это умная «Теория путешествий во времени Томпсона» 1944 года (Вайзингер). Путешественник во времени отправляется из 1943 в 1870 год и стреляет в голову своему тогдашнему четырнадцатилетнему дедушке. Оставив свою жертву лежать на земле с «кровью, заливающей весь лоб юноши», потенциальный убийца возвращается в 1943 год. Однако, вернувшись, он оказывается в странном месте, где узнает от двух собеседников, что немцы уничтожили Нью-Йорк в 1920 году ядовитым газом! Внезапно осознав, что смерть его дедушки, по-видимому, изменила историю (странный недосмотр человека, который достаточно умен, чтобы изобрести машину времени, а затем фактически вызвать «парадокс дедушки»), он решает, что лучше умереть, чем быть от-

резанным от своего бывшего мира. Поэтому он стреляет себе в голову. Когда он лежит мертвым, мы узнаем, что два человека на самом деле являются обитателями бомбоубежища, которые любят подшутить над ничего не подозревающими незнакомцами. Мы также узнаем, что на фотографиях дед путешественника во времени всегда имел «белый неровный шрам на лбу, который мог остаться после зацепившей скользом пули».

В послесловии к своему рассказу «Мертвый город» Мюррей Ленстер заметил: «Вы неоднократно слышали довод, что человек не может переместиться назад во времени, потому что он может убить своего деда. Я удивляюсь, почему никто не утверждал, что человек не может двигаться вперед во времени, потому что он может быть убит своим внуком». Возможно, никто не утверждал этого, потому что здесь нет никакой загадки! Ответ Лейнстера заключается в том, что если к моменту отъезда в будущее путешественник во времени еще не зачал ребенка, то в будущем его просто не ждет внук-убийца. Или если он зачал ребенка до начала путешествия, то может найтись неблагодарный потомок, который убьет его без всякого парадокса.

Последний раз парадокс дедушки был показан в 1993 году в фильме «Филладельфийский эксперимент-2», в котором победитель Второй мировой войны меняется с союзников на нацистов, а затем обратно на союзников. В ходе этого нелогичного фильма герой в прошлом убивает отца злодея до того, как отец зачал своего сына. Изображение плохого парня моргает и исчезает на фоне электрических искр. И хотя в фильме это не показано напрямую, злодей в «Полиции времени» 1994 года угрожает убить предков своих невольных помощников, если они не выполнят его приказ. Спустя полвека после того, как Вайзингер все понял правильно, Голливуд так и не разобрался в парадоксе дедушки.

В попытке проанализировать проблему свободы воли во время путешествий во времени в контексте парадокса дедушки Том представляет интересный грамматический аргумент. Он просит нас представить себе обычную ситуацию: путешественник во времени, будучи взрослым человеком, отправляется в прошлое и встречает мальчика. Может ли путешественник во времени убить мальчика (себя)? Как я уже говорил до этого момента, ответ – да, может, но не сделает, потому что он этого не сделал. Тот факт, что он не сделает (не сделал), не означает, что он не может (не мог). Но Том отрицает это и говорит, что если путешественник во времени *может* это сделать, тогда можно с уверенностью предположить, что если событие произойдет, оно не нарушит логическую целостность. Но, разумеется, путешественник во времени, убивший свое младшее «я», создаст логический парадокс, таким образом, похоже, делая невозможной саму возможность события! Если это так, то что значит – что *может* значить – *возможная* возможность?

Мейланд дал очень меткий ответ на этот «парадоксальный» вопрос. В своей статье он пишет о самоубийстве в путешествии во времени, необычной теме, выдуманной в рассказе 1953 года «Миссия» (Невилл): «Если предпо-

ложить, что путешественник во времени не может убить свою молодую личность, некоторые люди начинают задавать вопросы наподобие таких: «Но как законы логики могут помешать ему убить себя в молодости? Они что, заставят его палец соскользнуть с курка, или пуля развалится в воздухе?»» Смысл подобных вопросов в том, что законы логики не могут предотвратить физические действия. Но это равносильно тому, чтобы спросить: «Как законы логики мешают геометру выполнить трисекцию угла или квадратуру круга? Они что, заставляют линейку соскальзывать в решающий момент каждый раз, когда он пытается это сделать?» Аналогичное замечание было высказано позже Арнтениусом: «Если вы не можете толкнуть другого человека сильнее, чем он толкнет вас, это нельзя называть ограничением “свободы воли”. Подобно тому, как равенство действия и противодействия можно объяснить третьим законом Ньютона, точно так же можно объяснить невозможность создания парадокса, просто ссылаясь на законы, которые подразумевают такую невозможность. Если вас не устраивает подобное объяснение, значит, это проблема во взаимоотношении между законами физики и “свободой воли”, а не проблема конкретного аргумента против парадоксов».

Философский подход отрицания свободы воли одним может показаться ужасным, тогда как другим он поможет списать большую часть вины за прошлые неудачные решения. Это, безусловно, сильно контрастирует с заверениями, сделанными в конце фильма «Назад в будущее-3» 1990 года и совершенно явно адресованными молодежной аудитории фильма, что наше будущее зависит от нас. Этот фильм предполагает точку зрения, высказанную в «Марди» Мелвилла: «Будущее – многогранно». Та же точка зрения представлена в фильме «Терминатор-2» 1991 года, в котором изменяют прошлое, чтобы изменить будущее – в какой-то момент персонаж вырезает на столе слова «Судьбы нет».

Один писатель, который, несомненно, не согласится почти со всем, что я написал в этом разделе, – это Мартин Гарднер, который писал: «Во всех рассказах о путешествиях во времени, когда кто-то входит в прошлое, оно обязательно изменяется. Единственный способ, которым можно устранить логические противоречия, созданные такой предпосылкой, – это принять Вселенную, которая разделяется на отдельные ветви в тот момент, когда кто-то входит в прошлое». Как я уже говорил, я думаю, что Гарднер ошибался, и я думаю, что его заблуждение происходит из-за неспособности правильно провести различие между изменением и влиянием на прошлое. Но его последняя строка интригует. Более того, эта мысль приводит нас к следующему разделу, где вы узнаете, как некоторые физики применяли квантовую механику, а также общую теорию относительности в своих исследованиях путешествий во времени. Современный подход к проблеме состоит в том, что при любом полном анализе машин времени и путешествий во времени не обойтись без квантовой теории.

## 4.5. Квантовая теория и альтернативные вселенные

Одна из ранних научно-фантастических техник, позволяющая путешествовать во времени назад и менять прошлое, избегая при этом парадоксов, – это альтернативные вселенные. Согласно этой идее, если путешественник во времени попадает в прошлое и вносит изменение (на самом деле его путешествие само по себе может быть изменением), то, как заявил Гарднер, реальность распадается на две версии, причем одна ветка представляет результат изменения, а другая ветка является исходной реальностью до изменения. (Для наблюдателя в пятом измерении все мыслимые вилки, все возможные четырехмерные пространства-времена существовали всегда.) Потрясающе, но согласно этой точке зрения вся вселенная в каждый миг своего существования разделяется на ветви вдоль каждого альтернативного пути решения для каждой частицы в космосе! Эту теорию часто называют *теорией альтернативных вселенных с параллельными линиями времени*.

Это несколько фантастическое представление на самом деле имеет научное обоснование в виде так называемой многомировой интерпретации квантовой механики, впервые предложенной Хью Эвереттом в его докторской диссертации в Принстоне в 1957 году. Однако в моей книге основная научная теория путешествий во времени относится к классической (то есть не квантовой) общей теории относительности, и этой теории нечего сказать об альтернативных ветвях времени. Для большинства теоретиков путешествий во времени существует одна линия, а прошлое уникально и нерушимо. Я согласен с великим квантовым физиком Дж. С. Беллом, который в эссе «Квантовая механика для космологов» писал о теории Эверетта, что «если бы к такой теории относились серьезно, вряд ли можно было бы принимать всерьез все остальное». Как указывает в этой статье Белл, в множественной интерпретации вселенной «нет связи конкретного настоящего с каким-либо конкретным прошлым» – причудливая идея, появившаяся в научной фантастике еще в 1954 году в книге «Прошлое мистера Кинкейда» (Пирс). Позднее с Беллом в своих научных статьях согласился Виссер.

Тем не менее для полноты изложения теории я должен признать, что хотя большинство исследователей путешествий во времени раньше основывали свою работу только на классической общей теории относительности, в настоящее время многие физики считают, что сама квантовая механика, независимо от ее интерпретации, также может внести большой вклад. Возможно, она внесет даже абсолютно решающий вклад. Одним из исследователей, который верит в это (наряду с еще более сильной верой в многомерную интерпретацию квантовой механики), является Дэвид Дойч из Математического института Оксфордского университета. Дойч считает, что общая теория относительности не является подходящей теорией, с которой можно изучать физические эффекты замкнутых времениподобных линий. Он уверен, что традиционный математический механизм общей теории относительности скорее затеняет, а не проясняет трудную задачу отделения

просто нелогичного от нефизического. Дойч называет ошибочными традиционные методы пространства-времени, основанные на общей теории относительности и дифференциальной геометрии. Ему также не нравятся технические и концептуальные проблемы червоточин и сингулярностей общей теории относительности. Он говорит, что любая не основанная на квантовой механике дискуссия о «патологиях» путешествий во времени в прошлое не продуктивна. В частности, Дойч разделяет эти патологии на два класса: (1) парадоксальные ограничения, например проблема свободы воли в парадоксе дедушки, и (2) причинно-следственные связи, которые создают информацию из ниоткуда, например математика в юности посещает путешественник во времени из будущего и дает ему доказательство теоремы, которой математик прославится в будущем. (*Откуда тогда возникло доказательство?*)

По мнению Дойча, его исследования квантовой механики показывают, что первый класс патологий просто не существует. Это связано с тем, что прошлое, в которое попадает путешественник во времени, согласно Дойчу является прошлым параллельного мира, а не того мира, который покинул путешественник во времени. Дойч также достиг определенных результатов, которые заставляют его полагать, что патологии второго класса могут быть «предотвратимы». Однако это не общепринятая точка зрения большинства исследователей путешествий во времени (хотя, конечно, это *не* означает, что Дойч ошибается), и общая теория относительности является стандартным инструментом, используемым большинством теоретиков в области исследований времени. Если квантовая механика и входит в расчеты большинства исследователей, то обычно это случается не более одного раза.

Позиция Дойча поднимает очевидный вопрос о том, а что вообще побуждает квантового теоретика изучать замкнутые времениподобные линии, учитывая, что они берут начало в общей теории относительности, а не в квантовой механике? Ответ Дойча заключается в том, что хотя замкнутые времениподобные линии действительно возникли в классической эйнштейновской общей теории относительности, все еще незавершенная теория квантовой гравитации также предсказывает замкнутые времениподобные линии. И это захватывающее явление, потому что, как пишет Дойч, результаты его исследования замкнутых времениподобных линий с квантовой точки зрения показывают, что «вопреки тому, что обычно предполагалось, в фундаментальной физике нет причин, по которым замкнутые подобные времени линии не могут существовать». Эту точку зрения позже поддержал Голдвирт, который после изучения того, как частица могла бы физически согласованно проходить через пространство-время машины времени с позиций квантовой механики, написал, что «нет никакого противоречия между постулатами квантовой механики и возможным существованием нарушения причинности в общей теории относительности».

Ответом на обеспокоенность Дойча по поводу того, как провести различие между просто нелогичным и «совершенно нефизическим» эффектом

путешествия во времени является изучение различных базовых вычислительных схем с отрицательными временными задержками. (Разумеется, все обычные физические системы, которые мы называем *причинно-следственными*, имеют неотрицательные временные задержки.) Схемы Дойча не только имеют циклы обработки информации в пространстве, как это делают обычные сети, но также и циклы, которые простираются назад во времени. Он называет такой временной цикл *связью, нарушающей хронологию*. Этот подход позволяет изучать хорошо известную физическую систему, такую как базовые элементы компьютерной логики, или реализовывать логическую функцию «исключающее ИЛИ» в незнакомой ситуации нарушения хронологии, то есть путешествия во времени.

Используя подобные элементы компьютерной логики, Дойч может построить вычислительные аналоги классических парадоксов путешествий во времени, таких как путешественник во времени, уходящий в прошлое, чтобы взаимодействовать с более ранней версией самого себя. Общий вывод Дойча состоит в том, что если для работы элементов предполагается классическая физика, то требуются определенные логические ограничения – которые он называет парадоксальными, – такие как принцип самосогласованности; но если элементы являются квантовыми устройствами, то они не нуждаются в навязанных извне ограничениях. И конечно же, мир на фундаментальном уровне квантовый, а не классический. Дойч оставляет без ответа один интересный вопрос: как на практике реализовать отрицательную задержку, которая является просто другим названием машины времени? Ханс Моравек, ученый-компьютерщик из университета Карнеги-Меллон, также использовал отрицательные временные задержки и квантовую механику для создания концептуальных систем с логикой машины времени, то есть хронографов. Моравек показал, как с такими компьютерами некоторые известные вычислительные проблемы, такие как головоломка коммивояжера и шахматы, могут быть решены за нулевое время.

Вайдман разработал квантово-механический подход к путешествию во времени, сильно отличающийся от подхода Дойча и Моравека. У него мы читаем о квантовой машине времени, которая «предназначена не для путешествий во времени», а для изменения скорости потока времени в изолированной системе. Таким образом, машина Вайдмана больше напоминает энтропийный кабинет времени Фарли, описанный в третьей главе, чем машину времени Уэллса. Машина Вайдмана может либо ускорять, либо замедлять поток времени, и эта вторая возможность позволяет его машине вернуться в предыдущее квантово-механическое состояние («прошлое»). Вайдман называет это путешествием во времени.

Однако с его машиной есть как минимум три проблемы. Я уже говорил о необходимости изолировать машину Вайдмана от остального мира, что является трудным или даже невыполнимым требованием. Если машина не изолирована, то она возвращается в гипотетическое прошлое – не в свое реальное прошлое, а в прошлое, которое она испытала бы, если бы была

изолирована. Во-вторых, она работает, окружая квантово-механическую систему (например, атом в возбужденном состоянии) массивной сферической оболочкой переменного радиуса; создание такой машины было бы инженерным кошмаром. Но хуже всего случайный характер работы машины; она работает только *иногда*! На самом деле чем она крупнее, тем менее вероятно, что она сработает. Это не свойственно другим машинам времени, и в данном случае квантовая теория разочаровывает тех, кто надеется на теоретическую поддержку путешествий во времени.

На самом деле некоторые исследования квантово-механической основы путешествий во времени, основанные на математической теории Гейзенберга, в свою очередь, берущей начало в статье 1937 года пионера-мастера черных дыр Джона Уилера, ведут к отрицательному результату. Так называемая теория S-матрицы позволяет изучать, как взаимодействующие квантовые поля изменяют состояния из-за их рассеивающего взаимодействия (немецкое название этой теории *Streung* означает «рассеивание»). Из элементов S-матрицы для квантовой системы можно рассчитать условные вероятности перехода данного состояния системы *до* взаимодействия в каждое из возможных состояний *после* взаимодействия. Из условия самосогласованности квантовой системы следует, что сумма этих условных вероятностей должна быть равна единице. Конечно, такая сумма существует для любого из возможных начальных состояний. Это свойство суммирования, которое физики называют *сохранением вероятности*, подразумевает, что S-матрица обладает математическим свойством унитарности. Однако, как показали Фридман и Политцер, унитарность терпит провал в искривленном пространстве-времени, которое содержит замкнутые времениподобные линии, необходимые для путешествий во времени!

Эти две работы тем не менее дают хотя бы небольшую надежду на путешествия во времени, заключая, что сохранение вероятности может быть спасено с помощью знаменитого приема Фейнмана «суммирования по траекториям», то есть интеграла по путям. Почти одновременно с ними Голдвирт и его коллеги пришли к аналогичным выводам, используя интеграл по путям. По иронии судьбы, Голдвирт пришел к выводу, что *если* принять идею о том, что квантовая гравитация позволяет метрике пространства-времени колебаться, «тогда упомянутое нами препятствие [неудача сохранения вероятности] для построения машин времени устраняется». Это иронично, потому что в поддержку своих выводов авторы цитируют статью Хокинга, который отнюдь не являлся сторонником машины времени (вспомните его гипотезу о защите хронологии).

Нарушение унитарности в пространстве-времени машины времени не обязательно подразумевает какое-либо нарушение законов физики, но ведет к тому, что Политцер называет «определенно мистическими последствиями». Как отмечает Политцер, квантовая механика требует определенного обобщения при наличии замкнутых времениподобных линий, и было предложено несколько различных обобщений (каждое логически непроти-

воречиво – как, например, обобщение Дойча). Все они сводятся к стандартной квантовой механике, когда нет замкнутых времениподобных линий, но все делают разные, часто довольно странные предсказания, когда такие явления присутствуют. Например, в формулировке интеграла по путям модифицированная квантовая механика является нелинейной, и эта нелинейность должна иметь обнаружимые последствия *до* создания замкнутых времениподобных линий! То есть, как пишет Политцер, «исходя из подобной механики, надлежащие эксперименты, выполненные до эпохи замкнутых времениподобных кривых, способны показать, что эти линии возникнут в будущем». Как я уже говорил, квантовая механика кажется абсолютно линейной, но, как пишет Политцер, «наблюдаемая линейность квантовой механики, хотя и проверенная в экспериментах с огромной точностью, на практике мало что говорит нам о будущих замкнутых времениподобных кривых, за исключением того, что они не в нашем ближайшем будущем». Но позднее был обнародован эксперимент Стэппа, подразумевающий обратную причинность, которая, как предполагает Стэпп, может быть объяснена нелинейной квантовой механикой. А Хокинг утверждал, что это на самом деле не проблема, потому что в пространстве-времени машины времени S-матрица теряет свою вероятностную интерпретацию.

Спустя несколько лет Розенберг расширил идею Политцера по *сегодняшней* проверке возможных последствий работы *будущей* машины времени. Его идея состояла в том, чтобы рассчитать поперечное сечение рассеяния двух частиц, как с замкнутыми времениподобными кривыми, так и без них в будущем эксперимента. Его выводы заключались в том, что да, эффективное поперечное сечение рассеяния *теперь* действительно зависит от будущей работы «искусственных машин времени достаточного размера, способных пропустить через себя людей», что означает порядка одного метра в пространстве и включает в себя односекундные петли времени (временное разделение между машиной времени и экспериментом связано со скоростью взаимодействующих частиц). Но для рассеяния пучков встречных электронов и для машины времени, находящейся на расстоянии всего одного метра от эксперимента, расчетное изменение поперечного сечения рассеяния по сравнению с поперечным сечением без машины времени было на четыре порядка ниже того, что можно было обнаружить с помощью наилучшей технологии, доступной в настоящее время. Другим замечательным результатом является вывод Розенберга о том, что в пространстве-времени, в котором замкнутые времениподобные кривые проходят через каждую точку, из-за эффекта отмены не будет никаких изменений в сечении рассеяния!

Художественная литература с энтузиазмом восприняла квантовую механику и ее возможную связь с путешествиями во времени. Первой такой историей в научной фантастике была, вероятно, повесть 1935 года «Ветви времени» (Дэниелс), в которой также содержалось разумное предположение, что хотя альтернативные ветви времени могут позволить изменить прошлое в лучшую сторону (чего нельзя сделать, ни лучше, ни хуже, с един-



ственной ветвью времени), в конце концов, любое такое изменение может все еще оставаться бесполезным. Как печально говорит путешественник во времени Дэниелса: «У меня была идея ... вернуться в прошлое, чтобы сделать прошлые века более приятными для жизни. Вы же знаете, в истории происходили ужасные вещи. Но это бесполезно. Подумайте, например, о мучениках и страданиях, которые они перенесли. Я мог бы вернуться и спасти их от печальной участи. И все же ... они бы по-прежнему постоянно знали бы про свои беды и страдания, потому что на этой мировой линии эти вещи произошли. В конце концов, все это невозможно изменить; это просто разворачивается перед нами». Много лет спустя один философ и физик вторил Дэниелсу: «В мире, где я субъективно проживаю, я могу потерпеть жестокий провал, но в другом мире я в равной мере восторжествую. Интерпретация Эверетта может использоваться с целью смягчить горе, но это использование обоюдоострое, поскольку оно подразумевает уравновешенное обретение счастья».

Темой повести Дэниелса является то, что Лем называет *эргодической теорией истории*: почти все возможные истории имеют одинаковые общие характеристики, отличающиеся только деталями. Другим примером эргодической теории Лема является рассказ Картера «Профилактика болезни». Когда последний человек, скрывшийся на Марсе, наблюдает за тем, как Земля сгорает в последней атомной войне, ему предлагают сделку представители передовой марсианской науки. Они отправят его обратно на Землю на миллиард лет назад вместе с устройством для уничтожения всех расщепляющихся элементов. Следовательно, последняя атомная война не случится. Однако, оказавшись в прошлом, он встречается с другой версией самого себя, отосланной марсианами из новой реальности, которую он создаст, чтобы предотвратить последнюю биологическую войну. Эта война разразится из-за бедности и экономических кризисов, вызванных тем, что по какой-то причине все расщепляющиеся материалы исчезли с Земли в древнем прошлом! В этой (нелогичной) истории меняются детали истории, но не общая картина.

Возможно, одна из самых креативных альтернативных историй о ветви времени – рассказ Фармера «Вперед, мой челн!», который впервые опубликовали в 1952 году в журнале *Astounding Stories*. В этой истории мы читаем об альтернативном мире, где радио было изобретено гораздо раньше, чем в нашем мире; один из членов команды Колумба – монах Спаркс, который отстукивает код Морзе на латыни! А рассказ «Клиометрика» Зебровского, рассказывающий читателю про устройство, названное в честь Клио, музыки истории, которое отображает альтернативные миры квантовой механики, фактически открывается цитатой из статьи в научном журнале *Physics Today* о квантовом расщеплении вселенных.

Я закончу эту дискуссию о разделении вселенных поразительной теологической проблемой, поднятой Смитом. Утверждая, что Бог не может разделяться на несколько веток времени, потому что Бог уникален, Смит приходит

к выводу, что Бог существует только в одной из множества ветвей времени. А что, если это не наша ветвь? Следовательно, заключает Смит, метафорическое утверждение Ницше «Бог мертв» для нас может оказаться верным в буквальном смысле! Сам Смит признает, что это «невообразимо», но все же...

#### 4.6. Причинно-следственные петли

Дуайер, предлагая возможную причину, по которой его путешественник во времени возвращается в 3000 год до нашей эры, обсуждает гораздо более глубокий парадокс, чем парадокс дедушки: «Допустим, в нашем произведении о путешествиях во времени недалеко от Каира обнаружены древние исторические документы, в которых содержится дневник человека, совершенно очевидно являющегося путешественником во времени. Наш герой, осознав, что это он сам, немедленно начинает ... конструировать машину времени, чтобы «исполнить свою судьбу»». Другими словами, (1) он строит машину времени и возвращается в прошлое благодаря обнаруженному дневнику, и (2) дневник обнаруживается, потому что он возвращается в прошлое. Каждый из этих пунктов сам по себе логически обоснован, но вместе они образуют невероятную загадочную замкнутую причинно-следственную петлю.

Обнаружение анахронического артефакта (такого как дневник), даже без явного упоминания об аспекте замкнутой петли времени, безусловно, является интригующей идеей. Например, в «Фотографии марафона» (Саймак) обнаружение голографической фотографии Марафонской битвы, 490 года до нашей эры, служит толчком к изучению путешествий во времени. Затем обнаружение другого такого трехмерного изображения, потрясающей фотографии Распятая, заставляет путешественника во времени отправиться назад в прошлое. Но настоящая тайна здесь заключается именно в замыкании петли времени. Саймаку явно понравилась идея замкнутой петли времени, и он использовал ее не раз. В его «Цилиндре» частный колледж, десятилетия назад одаренный щедрым, но таинственным благотворителем, экспериментирует с машиной времени. Внезапно одна из выпускниц колледжа случайно отправляется на сто лет в прошлое, где она становится тем самым благодетелем, благодаря которому существует колледж. По этой причине замкнутые временные петли называются причинно-следственными петлями.

Точно так же в рассказе 1931 года «Шуточки времени» (Болтон) путешественница во времени отправляется на столетие в прошлое, *потому что* находит старую пожелтевшую газетную вырезку, описывающую ее появление. В моем собственном рассказе «Старые друзья на все времена» я использовал старую фотографию, чтобы убедить путешественника во времени, что его ждет путешествие в прошлое – он стоит на групповой фотографии с людьми, которые умерли задолго до того, как он родился. (Как и Саймаку, мне настолько понравилась эта идея, что спустя шесть лет я повторил ее в рассказе «Приглашение».) Герой-физик в рассказе Ленстера «Предмет и копия» понимает, что его ждет что-то странное, когда рассматривает 700-летний

музейный экземпляр книги. Загадка состоит в том, как объяснить сообщение, написанное древними выцветшими чернилами, но современным английским языком и *его почерком*, на обратной стороне одной из недавно отклеившихся страниц! Как объяснить свои отпечатки пальцев на той же странице? Что он должен ответить, когда ему показывают эти артефакты и задают вопрос: «Вы случайно не были в тринадцатом веке?» В конце рассказа петля времени замыкается, когда герой обнаруживает, что пишет то же самое сообщение на *новой* копии книги, которая была отправлена из прошлого (и вскоре возвращается в тринадцатый век через «портал времени»).

Существует почти бесконечное множество подобных причинно-следственных связей, и они продолжают служить основой для самых загадочных историй научной фантастики. Например, в классическом романе Гарри Гаррисона «Фантастическая сага» мы читаем о съемочной группе, которая уходит в прошлое, чтобы снять фильм. В конце истории становится ясно, что их присутствие в прошлом не было незначительным событием, поскольку один персонаж понимает, увидев свидетельство того, как они повлияли (не изменили!) на прошлое: «Если это правда, тогда единственная причина, по которой викинги поселились в Винланде, заключается в том, что мы решили сделать кинофильм, показывающий, как викинги поселились в Винланде». В финальной сцене этого умного романа появляется руководитель киностудии, который взволнован тем, насколько хорошо все складывается при разработке нового проекта. Проект предусматривает еще одно путешествие в прошлое, чтобы снять «абсолютно величайший религиозный кинофильм всех времен», хотя сценарий мало волнует руководителя производства. Он почти наверняка думает о том, как снова можно создать причинно-следственную петлю времени (вспомните очень неприятную петлю в версии Майкла Муркока о происхождении Христа в рассказе «Се человек»).

В рассказе Андерсона «Да будет время» путешествие во времени происходит не посредством машины, а силой воли тех, кто подвергся особой генетической мутации. Мутация вызвана вирусом. Но откуда взялся вирус? От путешественников во времени из далекого будущего, которые отправились в прошлое, чтобы выпустить вирус в человечество, – таким образом, путешественники во времени существуют, потому что они существуют. А в рассказе «Музыка Вилли» мы узнаем историю путешественника из 2078 года, который отправляется на полтора столетия назад, чтобы узнать подробности о короткой карьере известного джазового музыканта и его ранней смерти. Путешественник во времени берет с собой запись самого блестящего выступления музыканта, сделанную в ночь его смерти. Прибыв за восемнадцать месяцев до той ночи, путешественник во времени находит музыканта в крайне удрученном состоянии. Но когда музыкант слышит запись своей пока еще не написанной музыки, его талант пробуждается, чтобы создать великолепную музыку, которая является причиной собственного появления.

У Фулмера философ рассказывает историю о причинно-следственной петле, которая ставит в тупик парадокс дедушки: «Если Джеймс не может решить, жениться на Алисе или на Джейн, он просто отправляется в будущее и узнает, что ему следует выбрать Алису; затем он выбирает ее по этой причине. Вы можете возразить, что решение жениться на Алисе никогда не было принято! Но это не так; решение было принято – в результате осознания того, что это было за решение... Это не тот случай, когда предполагаемый жених мог посетить будущее и сравнить результаты женитьбы на Алисе с результатами женитьбы на Джейн, чтобы выбрать один из двух вариантов. Ибо, если он посетит будущее, он узнает только то, что на самом деле он выбрал Алису, не важно, к лучшему или к худшему!» Точно так же, когда путешественники во времени в рассказе «Мошенники времени» (Биндер) прибывают в сорок шестой век, они обнаруживают, что их ожидают. Встречающий говорит им, почему: «Я ждал вашего прибытия из прошлого. У меня есть письменный отчет о вашем приезде. Видите ли, у меня тоже есть машина времени... Я недавно отправился на год вперед и прочитал письменный отчет, который я сделал (или сделаю) после вашего ухода. Потом я вернулся, ожидая вашего приезда».

В следующей статье Фулмер подробно остановился на этих удивительных «применениях» причинно-следственных петель времени. Он спросил: «Что, если путешествия во времени станут настолько обычным явлением, что мы столкнемся с постоянным воздействием путешественников во времени, возвращающихся из будущего и желающих показать, что они видели?» Сам Фулмер думает, что «причинно-следственная петля, которую мы обсуждали, станет очень распространенной и сыграет заметную роль в человеческих делах», однако отрицает, что такие причинные петли означали бы потерю свободы воли. Как он объясняет свою позицию, если вы знаете о нечестном колесе рулетки, это не помешает вам сделать ставку, если вы захотите, но, возможно, это знание повлияет на ваше свободное принятие решений. Независимо от того, узнаете ли вы о мошенничестве традиционными способами (например, увидите, что под столом установлены магниты) или с помощью путешествий во времени, – это не имеет значения, ведь даже с этими знаниями вы действуете свободно.

Другие философы, однако, настолько озадачены причинно-следственными петлями (помните, как Мюррей Макбит говорил, что они «дурно пахивают»?), что полагают, будто возможность образования таких петель прямо указывает на невозможность путешествий во времени (хочу заметить, что Фулмер и Макбит не входят в эту группу). Например, Меллор относится к школе, которая считает причинно-следственные связи просто невозможными. Некоторые философы, которые не любят причинно-следственные петли так же сильно, как и Меллор, предлагают более сильные аргументы своей позиции. Чапек, например, отвергал путешествие во времени, потому что причинно-следственные петли обязательно имеют диаграммы пространства-времени, которые изгибаются на себя. Объявляя любую идею

о том, что «путешественники во времени посещают свое прошлое или прошлое своих предков» не чем иным, как «уэллсовскими фантазиями», Чапек продолжает: «Возможно, некоторые события, которые, помимо одновременности с самими собой, будут одновременными с другими точками времени! Другими словами, определенное событие, соответствующее одной точке, в которой пересекается соответствующая мировая линия, было бы одновременным с моментом из отдаленного будущего. В таком случае мы оказались бы на грани магии». Здесь Чапек не в состоянии отличить собственное время путешественника от времени остального мира.

Хосперс делает ту же ошибку, когда утверждает, что 3000 год до нашей эры происходит дважды – один раз без путешественника во времени и затем еще раз, когда путешественник во времени прибывает из будущего. На самом деле 3000 год до нашей эры (или *любая* точка в пространстве-времени, где мировая линия замыкается на себя – Чапек совершает очень серьезную, действительно *взрывную* ошибку, когда он воображает, что мировая линия «пересекает себя») случается *однократно*. В случае путешественника во времени, который возвращается, чтобы поговорить со своим младшим «я», конечно, в одном мозгу содержится два набора воспоминаний: один – как «младшее я», а второй – как старшее «я» путешественника во времени. Эта идея часто использовалась в научной фантастике, потому что она предлагает очевидные возможности для написания впечатляющих произведений. В концепции четырехмерной блочной вселенной все мировые линии свободно пролегают в пространстве-времени, поэтому любое столкновение с самим собой происходит в пространстве-времени только один раз. Старая версия говорит те же слова, которые путешественник услышал (даже если он их забыл), когда сформировался его более старый набор воспоминаний. Без этого никак, иначе прошлое изменилось бы.

Примером истории, которая делает ошибку, представляя временную петлю как непрерывный, циклический процесс, с событиями, повторяющимися с каждым проходом вокруг петли (и последующим дублированием путешественника во времени при каждом проходе), может послужить рассказ «Проблема с прошлым» (Эйзенштейн). Эта ошибка связана с еще одной: каждый раз, когда замыкается цикл, прошлое меняется. Процесс продолжается до тех пор, пока дублированные путешественники во времени не поймут, что происходит, и не остановятся после девятого прохода. Это хороший, но нелогичный рассказ.

Еще один довольно интересный, хотя и старый научно-фантастический рассказ, в котором автор делает ошибку замкнутого и бесконечно повторяющегося цикла времени, – это «Найди скульптора» 1946 года (Майнс). Изобретатель первой машины времени отправляется на пятьсот лет в будущее и находит там свою бронзовую статую, которую потомки установили в честь открытия путешествий во времени. Он случайно получает смертельную рану, возвращается в свое настоящее со статуей и умирает. В качестве надгробия статую устанавливают в то самое место, где ее нашел (найдет)

изобретатель. У нас осталась нерешенная загадка, кто сделал статую. Это терпимо, но автор заходит слишком далеко. В конце рассказа лаборант покойного изобретателя задается вопросом, что произойдет пятьсот лет спустя: «Внезапно странная машина выйдет из прошлого, и изобретатель снова будет здесь – хотя он мертв последние пятьсот лет. Он возьмет статую и вернется в прошлое, чтобы умереть. И снова начнется этот сводящий с ума цикл, и будет продолжаться вечно до тех пор, пока время прядет свои нити».

Даже философы, которые сочувствуют путешествиям во времени и причинно-следственным петлям, могут ошибочно думать, что такие петли цикличны. Например, Райхенбах говорит нам, что

*...нет ничего противоречивого в воображаемых замкнутых причинно-следственных цепочках, хотя существование таких цепочек привело бы к довольно своеобразным переживаниям. Например, может случиться так, что человек встретит свое прежнее «я» и заговорит с ним, таким образом замыкая причинную линию с помощью звуковых волн. Когда это происходит в первый раз, он становится младшим эго, а когда то же самое происходит во второй раз, он становится старшим эго. Возможно, старшему эго будет трудно убедить младшего в своей идентичности; но старшее эго вспомнило бы идентичный опыт из прошлого. И когда младшее эго стареет и переживает такое столкновение во второй раз, оно находится на другой стороне и пытается убедить какое-то «третье» эго в своей физической идентичности. Такая ситуация кажется нам парадоксальной; но в ней нет ничего нелогичного.*

Что Райхенбах описал ошибочно, так это начало бесконечной череды встреч вокруг замкнутой причинно-следственной петли.

В такой петле существует только одна встреча в пространстве-времени (но ум путешественника во времени испытывает это дважды, конечно), и то при условии ограничения самосогласованности. Как я говорил ранее, так называемый принцип самосогласованности существовал в физике десятилетиями, безусловно, задолго до того, как в конце 1980-х годов началась серьезная проработка физических вопросов перемещений во времени. Однако российский астрофизик Игорь Новиков стал отождествлять его с машинами времени, вероятно потому, что начал говорить о путешествиях во времени задолго до того, как другие физики набрались смелости заговорить на эту тему. В своей книге «Эволюция Вселенной» (впервые опубликованной на русском языке в 1979 г.) он писал: «Замыкание кривых времени не обязательно подразумевает нарушение причинности, поскольку события вдоль такой замкнутой линии могут быть “саморегулируемыми” – все они влияют друг на друга в замкнутом цикле и последовательно идут друг за другом». Новиков повторил эту точку зрения в одной из первых статей о машинах времени в литературе по физике.

Некоторые физики думают, что множественные прогоны по замкнутым времениподобным кривым (ЗБК) позволят изменить прошлое, поэтому счи-

тают, что необходимо отдельно заявить о запрете такой возможности. Как объясняет Фридман: «То, что принцип самосогласования не является полностью тавтологическим, становится ясным, если рассмотреть следующую ситуацию: законы физики допускают существование ЗВК; и когда возникают ЗВК, они могут породить новые виды локальных физических явлений, с которыми мы ранее не встречались. Например, квантово-механическая система, распространяющаяся вокруг ЗВК, может вернуться туда, где она началась, но со значениями ее волновой функции, которые не соответствуют начальным значениям; и затем она могла бы продолжить размножаться и вернуться снова с третьим набором значений, затем с четвертым, затем с пятым... Принцип самосогласованности по умолчанию запрещает изменять прошлое». Это последнее утверждение, конечно, согласуется с позицией моей книги, позицией, которая обычно принимается большинством философов на протяжении более полувека, но сторонники принципа самосогласованности, похоже, больше мотивированы страхом перед «повторением» прошлого снова и снова. Дэвид Дойч из Оксфорда, с другой стороны, категорически отвергает любую потребность в принципе самосогласованности, называя его просто избыточным.

Философ Принстонского университета Дэвид Льюис уделил большое внимание описанию причинно-следственных связей, особенно тех, которые относятся к передаче информации, таких как путешественник во времени, возвращающийся в прошлое, чтобы рассказать молодому себе, как построить машину времени, чтобы после ее создания он мог вернуться в прошлое и рассказать себе, как это сделать. Эта идея содержится в заметке Николсона, процитированной в начале этой главы, и относится ко второму типу «ненормальности» при путешествиях в прошлое по мнению Дойча. Как высказался по этому поводу Льюис: «Но откуда вообще взялась информация? Почему все это произошло? *На эти вопросы просто нет ответа* [мой курсив]. Части цикла являются объяснимыми, а все вместе – нет. Странно? Да! Но не невозможно и не слишком отличается от необъяснимости, к которой мы уже привыкли. Почти все согласны с тем, что Бог, или Большой взрыв, или все бесконечное прошлое Вселенной, или распад атома трития беспричинны и необъяснимы. И если это так, почему бы нам не принять необъяснимые причинно-следственные связи, возникающие во время путешествий во времени?»

Несколько лет спустя Левин дал аналогичный ответ на парадокс, связанный с причинно-следственной связью. Левин рассказывает о книге, содержащей инструкции о том, как сделать машину времени, о книге, которая путешествует в прошлое на машине, чтобы ее можно было прочитать – чтобы создать машину! В ответ на вопрос «Кто написал книгу о создании машины времени?» Левин говорит, что этот вопрос «ничем не отличается от вопросов о том, откуда произошло *все остальное*. Мы можем спросить о происхождении атомов... их линия времени нам достоверно неизвестна. Атомы либо возвращаются бесконечно, либо, если Вселенная конечна, они просто

возникли. В любом случае вопрос об окончательном происхождении атомов так же неразрешим, как и вопрос о происхождении книги. Единственная разница, которая побуждает нас задавать такие вопросы по поводу петель времени, заключается в том, что вся петля открыта для наблюдения. *Sub specie aeternitatis* (с точки зрения вечности, лат.) эта разница не имеет значения».

Исследователь, который категорически возражает против взглядов Льюиса и Левина на причинно-следственные связи, – это Дэвид Дойч, который, как вы помните из предыдущего раздела, проиллюстрировал свой второй тип ненормальности путешествий во времени причинно-следственной связью. Дойч пишет, что «настоящая проблема с замкнутыми времениподобными линиями в классической физике заключается в том, что они могут быть использованы для генерирования знаний таким образом, который противоречит принципам философии науки, в частности принципу развития». То, на что ссылается Дойч, – это метафизическое утверждение, приписываемое философу Карлу Попперу, о том, что *знание возникает только благодаря развивающимся мыслительным процессам* и что решения проблем не возникают готовыми во вселенной. Можно назвать это физической версией трудовой этики – создание знаний требует тяжелой работы!

Смит в своей статье предложил довольно интересный ответ на озабоченность Дойча. Смит пишет об информации, «появляющейся из ниоткуда», что «эти случаи озадачивают, но они никоим образом не показывают, что рассматриваемые сценарии путешествий во времени невозможны, нелогичны или даже невероятны. Мы считаем очень невероятным, что ... информация может возникать из ниоткуда – но только потому, что это происходит не очень часто. Это иногда случается, например когда вы что-то говорили, а я вас плохо расслышал. Я подумал, что вы сказали что-то очень глубокое – то, о чем никто из нас даже не размышлял. Так откуда возникла моя идея? Если бы подобные вещи начали происходить регулярно (как через причинно-следственные связи), то мы просто приняли бы это без малейшего удивления». Два российских физика, Лосев и Новиков, привели впечатляющий физический пример того, как можно построить информационную петлю времени с использованием червоточины – машины времени; этот пример подробно описан в разделе 6.3. Однако Дойч использует эволюционный принцип, чтобы (например) отвергнуть креационизм, антинаучную теорию, которая «объясняет» окаменелости возрастом в миллионы лет утверждением, что они были созданы в полностью сформированном виде Богом всего несколько тысяч лет назад. В конкретном случае креационизма с позицией Дойча конечно же согласны почти все ученые, но принцип эволюции мало говорит нам о причинно-следственных связях, за исключением того, что объявляет их невозможными, потому что они невозможны.

Идея использования путешествий во времени для получения знаний из будущего получила интересный вымышленный поворот в рассказе «Trespass» (Андерсон и Диксон). В этой истории путешествия во времени, откры-



тые в 2007 году, имеют ограниченную глубину проникновения в будущее – пятьдесят лет. Кроме того, весь технический прогресс останавливается. Причиной ограничения путешествий во времени является то, что в более глубоком будущем действует загадочный закон, запрещающий присутствие путешественников во времени из прошлого; все путешественники во времени до 2057 года и далее немедленно арестовываются и «депортируются» в свое время. Рассказ в конечном итоге объясняет, что закон был принят именно из-за беспокойства Дойча. Как объясняет один из персонажей: «Предположим, что можно путешествовать в будущее более чем на пятьдесят лет. Тогда путешественник во времени из прошлого может подсмотреть новые изобретения, перенести их назад в свое время и отдать ученым... которые отменяют весь длительный период разработки изобретения, что станет нарушением причинности». Потребуется пятьдесят лет, чтобы понять это, но как только закон о путешествиях во времени будет принят, технический прогресс возобновится. Дойч (и Поппер), я полагаю, одобрил(и) бы эту идею. А юристы могут гордиться тем, как умный юрист спасает физику!

Я считаю, что у Льюиса и Левина правильно представлена проблема причинно-следственной связи, но в научной фантастике подобные идеи можно найти значительно раньше, чем появились их статьи. Например, Сильверберг в рассказе «Абсолютно неумолимый» описывает мир 2784 года, в котором уничтожены все болезни; как следствие человечество утратило свой иммунитет даже к самым обычным инфекциям. Таким образом, когда появляются путешественники во времени из прошлого, они сразу же запечатываются в громоздкие скафандры, проверяются на герметичность «абсолютно неумолимым» Малером, а затем помещаются на карантин на Луне. Малер заслужил свое прозвище, потому что был настолько эмоционально невосприимчивым, что никогда не отпускал путешественника во времени. Путешественники во времени не могут быть отправлены обратно домой в прошлое, потому что (как нам говорят) двустороннее путешествие во времени невозможно. По крайней мере, так было до тех пор, пока однажды не появился путешественник во времени, который, как он утверждает, обладает двусторонней машиной времени. Малер не верит ему (как ни странно, путешественник во времени сразу понимает, что спорить бесполезно), и Малер быстренько отправляет его на Луну. Затем любопытствующий Малер пробует устройство и действительно попадает в прошлое. По возвращении, однако, его хватают, запечатывают в скафандр и обрабатывают – он сам, потому что он вернулся не совсем к тому моменту, когда ушел в прошлое. Рассказ заканчивается словами: «Вдруг Малер увидел, что безумный круг замкнулся... Но как начался цикл? Откуда взялась двусторонняя машина? Он ушел в прошлое, чтобы перенести ее в настоящее, чтобы перенести в прошлое, чтобы...» Зная, что спорить с самим собой бесполезно, Малер отправляется на Луну без сопротивления.

Разумеется, вымышленная загадка Малера – это точно такой же вопрос о происхождении знания в петле времени, который задает Льюис. По край-

ней мере, два писателя-фантаста нашли смелый ответ на «проблему происхождения». В «Фантастической саге» Гаррисона один персонаж озадачен листком бумаги с изображенной на нем схемой: «Никто никогда не рисовал эту схему. Она просто путешествует в этом кошельке, и я забрал его себе. Объясни мне, в чем дело». Его друг отвечает:

*– В этом нет необходимости, объяснение замкнуто само на себя. Клочок бумаги состоит из самодостаточной петли во времени. Никто никогда не рисовал схему. Она существует, потому что она есть, и это полное объяснение. Если ты хочешь понять это, я приведу тебе пример. Ты знаешь, что все листы бумаги имеют две стороны, но если ты развернешь конец бумажной полоски на 180 градусов, а затем соединишь концы вместе, полоска станет лентой Мебиуса, которая имеет только одну сторону. Она просто существует. Отрицание этого не может изменить факт. То же самое относится и к твоей схеме; она существует.*

*– Но все же, откуда она взялась?*

*– Если ты так хочешь знать источник, можешь сказать себе, что она пришла из того же места, куда ушла недостающая сторона ленты Мебиуса.*

Аналогичное объяснение мы находим в рассказе Фарли «Человек, который встретил себя». Фарли заставляет камбоджийского монаха-буддиста объяснить герою (и, конечно, нам) тайны причинно-следственных связей:

*– Но вы еще не сказали мне, откуда появилась машина времени!*

*– Вы сами привезли ее сюда из 1935 года.*

*– Но откуда она взялась изначально?*

*– Не было никакого «изначально». Вы перелетели с машиной времени назад во времени из 1935 в 1925 год. И именно поэтому у меня теперь есть машина.*

*– Чтобы снова отправиться в 1925 год?*

*– Нет. Ничего подобного. Нет бесконечного круга событий; нет повторений. Всего один замкнутый цикл. Только одно наложение событий за десять лет... Одна машина времени, найденная в 1935 году и отправленная в 1925 год, – найденная в 1935 году, потому что была отправлена в 1925 год. Вот и все.*

*– Но кто сделал ее в самый первый раз? Ох, ладно, пропустите «в самый первый раз». Просто скажите: кто ее сделал?*

*– Никто. Она никогда не была сделана... Она есть, потому что она есть.*

Причинно-следственные петли, обсуждаемые философами, обычно бывают такими, как петли из настоящего в прошлое и обратно в настоящее, как и у Фарли и Харрисона. Но это не обязательное условие. Одна из научно-фантастических работ, описывающая, как петля может простираться в будущее, – это «Домино» Корнблата. Богатый биржевой спекулянт акциями

отправляется на два года в будущее, чтобы получить преимущество. Находясь там, он быстро узнает из газетных архивов, что всего через несколько часов после начала его путешествия по времени произошел колоссальный обвал на бирже. Затем он возвращается в настоящее и продает все свои активы – и тем самым провоцирует тот самый крах, о котором он читал (будет читать). Изобретатель машины времени, потерявший все свое состояние на падении рынка, душит своего жадного покровителя, тем самым показывая, что поэтическая справедливость может восторжествовать даже в странном мире путешествий во времени и причинно-следственных петель!

Рассказ Лонга «Предмет коллекции» служит примером развернутой в будущее петли, в которой событие, возникающее при изменении другого события в петле, вызывает хаос. Когда в середине двадцать шестого века бесшумно появляется странствующее во времени устройство звукозаписи из середины двадцатого века, оно записывает секрет страшного ядерного взрывного устройства (сумасшедший, который только что придумал взрывное устройство, бормотал себе под нос секретные формулы в тот момент, когда материализовался незаметный гаджет). Оружие настолько мощное, что оно может разрушить сферические щиты силового поля, которые защищали все города Земли в течение шести сотен лет. После того как путешественное во времени устройство звукозаписи возвращается в середину двадцатого века, его изобретатель тоже сходит с ума, и запись случайно попадает в магазин подержанных пластинок. Там ее обнаруживает первооткрыватель силового поля, который после прослушивания записи понимает, что его недавно изобретенные защитные сферы не являются неприступными – поэтому щиты не развернуты! Как пишет автор ближе к концу этой нелогичной истории, «это было похоже на проекцию завтрашнего дня назад во вчерашний день, что сделало это завтра невозможным».

Петля времени, включающая только информацию, сама по себе выглядит достаточно странно. Но когда в петле присутствует физический артефакт, возникает дополнительная загадка, которую почти все авторы, похоже, упустили; я нашел упоминание этой загадки только у Нерлиха и Макбита. Рассмотрим еще раз часы в главной причинно-следственной петле в фильме «Затерянные во времени». Предположим, что часы, полученные человеком в подарок, яркие и блестящие. Затем он забирает часы в прошлое и дарит своей любимой. Часы остаются с ней после его возвращения в настоящее, пока спустя десятилетия она не подарит их этому человеку – яркие и блестящие. Почему они не потускнели? Обладают ли эти часы какими-то особыми свойствами? Наверное, нет. Возможно, она просто отполировала часы, прежде чем подарить.

Для часов это кажется приемлемым объяснением, несмотря на то что оно смахивает на рояль в кустах, но теперь замените часы свежей, новой книгой. Человек получает книгу, забирает в прошлое, оставляет там и получает снова спустя годы – чистую и новую! Почему страницы не стали желтыми, ломкими и темными от миновавших десятилетий и отпечатков пальцев?

Или если они все же желтые, ломкие и темные, то неизменность петли теряется, потому что в «первый» раз книга была чистой и новой. Это гораздо сложнее объяснить, чем блестящие часы.

«Затерянные во времени» содержат две дополнительные, переплетенные и гораздо более тонкие петли времени, чем пример с часами, петли, которые легко пропустить при первом просмотре фильма. В одной из них фильм начинается с того, что герой влюбляется в героиню, когда просматривает ее старую загадочную фотографию – на ней она, кажется, смотрит именно на него. Эта фотография во многом побуждает его совершить путешествие в прошлое. Позже, когда герой оказывается в прошлом, там есть сцена, в которой героиня принаряжается, и когда входит герой, в этот момент делают тот самый фотоснимок; девушка улыбается своей красивой улыбкой, и фактически она смотрит именно на героя.

Во второй петле, в то же время, когда он впервые видит ее фотографию в настоящем, он также находит музыкальную шкатулку, которой она когда-то владела. Он открывает шкатулку и находит в ней свою любимую пьесу Рахманинова. Эта связь также подталкивает его к поискам способа путешествовать во времени. Позже, в прошлом, когда он напевает девушке свою любимую пьесу, он обнаруживает, что она ничего не знает о музыке Рахманинова. После его исчезновения, когда он возвращается в настоящее, она приобретает музыкальную шкатулку на память о своей утраченной любви. В обоих этих петлях артефакты (фотография и музыкальная шкатулка), которые побуждают его отправиться в прошлое, возникают из-за его путешествия в прошлое. Однако, в отличие от часов, здесь нет никаких загадок относительно происхождения артефактов.

Тайна подобных причинно-следственных петель частично объясняет, почему Макбит, невзирая на свою уверенность в логической возможности путешествий во времени, тем не менее с большим подозрением относится к петлям времени. Чрезвычайно умная история, которая правильно обрабатывает причинную петлю, – это рассказ Дика «Полный расчет», у которого есть замыкающий петлю финал, настолько захватывающий, что Макбит наверняка закатил бы глаза, если бы успел прочитать его до своей смерти. Нерлих в отношении причинно-следственных петель придерживается того же мнения, что и Макбит. Он отмечает, что, «несмотря на веские аргументы в пользу логичности историй о путешествиях во времени, сохраняется впечатление, что с ними что-то не так. Я думаю, что это впечатление правильное». Затем он рассказывает нам историю (он приписывает ее одному из своих учеников), которая, по его мнению, подтверждает его точку зрения.

Сказать, что причинно-следственные связи нелогичны, – это лишь намек на их тайну, но это не аргумент против путешествия во времени. Скорее, если путешествие во времени возможно, тогда может оказаться, что нам также придется принять причинно-следственные петли; но если будет как-то доказано, что путешествие во времени невозможно, тогда по той же са-

мой причине (какой бы она ни была) причинно-следственные петли тоже окажутся невозможными. Путешественник во времени в «Великой работе времени» (Кроули), романе, представляющем собой гигантскую причинно-следственную петлю от начала до конца, определенно был прав, когда говорил: «Это очень странно. Мы никуда не денемся от парадокса. Полностью вопреки обычному причинно-следственному мышлению мы не можем по-настоящему перестать делать то, что мы делаем, как бы мы ни старались... Строго говоря, это немислимо. И все же это так».

Я должен добавить, что существует один из возможных способов объяснения причинно-следственных связей: использование параллельных вселенных. Я думаю, что лучший способ проиллюстрировать это – пример старого, но очень умного рассказа 1938 года «Другие пути» (Селл). Чтобы увеличить мощность своей машины времени, изобретателю в этой истории нужны батареи с огромной плотностью энергии, намного выше, чем у батарей в настоящее время. Неспособный отправиться далеко в будущее – если бы он мог получить их там, то, конечно, была бы создана причинная петля (та самая проблема, которую мы хотим избежать) после того, как он доставил бы их обратно в настоящее, – его ассистент сначала отправляется в прошлое, в 1851 год. Там он оставляет записку на столе известного экспериментатора с просьбой посвятить свою жизнь исследованию батарей и оставляет на столе экземпляр справочника по электротехнике 1937 года в качестве доказательства того, что это действительно был визит из будущего! Прежде чем вернуться в свое настоящее время, помощник берет лист новых пятицентовых марок 1847 года со стола экспериментатора.

Когда он возвращается в настоящее, которое теперь изменилось (новая ветка времени, в соответствии с идеей разделяющейся вселенной), мощные батареи легко доступны, потому что экспериментатор поверил в записку. Ассистент покупает несколько таких батарей на деньги, вырученные от продажи нетронутых марок 1847 года коллекционеру, а затем возвращается в немного более раннее время 1851 года, чем в первый раз (до развилки времени!), наблюдает за тем, как он сам появляется и оставляет записку и справочник, а затем незаметно убирает и то, и другое. Вернувшись еще раз в настоящее, он обнаруживает, что все как прежде – за исключением того, что теперь у них есть мощные батареи. Как и раньше, можно спросить, откуда взялись батареи, но, в отличие от предыдущей загадки причинно-следственных связей, создающих информацию, ответ ясен и не покрыт тайной. Они пришли от экспериментатора с *другой ветви времени*. Этот научно-фантастический ответ на самом деле является ответом, который Дэвид Дойч открыл заново спустя десятилетия, в 1994 году.

Перемещение туда и обратно между ветками времени является признаком того, что называется перекрестной историей, устройством, позволяющим избежать парадоксов, но в то же время позволяющим изменить прошлое. Первым примером такого ответвления от жанра путешествий во

времени является рассказ «Боковое время» Мюррея Ленстера, которому настолько понравилась идея, что он вернулся к ней спустя десятилетия своей долгой писательской карьеры. Возьмем, например, его «Бедствие в Корианусе», в котором космический корабль, движущийся со скоростью, превышающей скорость света в одиннадцать сотен раз, прыгает на параллельную дорожку времени после столкновения с дрейфующим космическим мусором. Подобные истории достигли своего апогея в «Другой инаугурации» (Бучер), в которой два профессора «перебрасывают» себя из нашего мира в альтернативный, после того как неправильный кандидат (т. е. не их кандидат) выигрывает президентские выборы в США. Написанная в ответ на истерию маккартизма в начале 1950-х годов, это жуткая история о том, что альтернативы не всегда лучше. Аналогичная идея лежит в основе рассказа «Незначительное изменение» (Ричардс), в котором небольшое изменение в действиях Бута в ночь на 14 апреля 1865 года приводит к миру, гораздо более ужасному, чем тот, который следует за убийством Линкольна (хотя в этом рассказе, в отличие от Бучера, ущерб в итоге отменяется). В романе Мередита «Осколки времени» есть интересная идея о том, как герой путешествует по времени из своего параллельного мира в бесконечные параллельные миры в поисках того, в котором была изобретена *настоящая* машина времени, машина, которая движется вперед и назад по *одной* линии времени.

И наконец, в «Вероятном человеке» (Бестер), изданном давным-давно в выпуске *Astounding Science Fiction* 1941 года, мы находим логическое смешение самосогласованной замкнутой петли времени и разделения ветвей времени. В этой истории каждое путешествие в прошлое заставляет будущее разветвляться в бесконечность новых линий, и поэтому (как утверждает автор) путешественник во времени не может надеяться вернуться в настоящее, которое он знал. Однако каждое такое будущее имеет одно и то же исходное прошлое, как и в истории Селла. Это позволяет рассказу закончиться замыканием петли, когда путешественник во времени возвращается в прошлое, которое он оставил в начале рассказа, но он возвращается слишком далеко и видит собственное отправление в будущее. (В начале рассказа есть тонкий намек на то, что он чувствовал, что кто-то за ним наблюдает!)

Это тот же самый финал, который использовали спустя десятилетия в фильме 1985 года «Назад в будущее». Фильм Спилберга крутой, но Бестер сделал это первым!

## 4.7. Сексуальные парадоксы

Трудно поверить, но есть причинно-следственные петли, даже более странные, чем те, о которых мы уже говорили. Это сексуальные парадоксы, впервые упомянутые в 1931 году в письме Николсона Хьюго Гернсбеку. Как со странным энтузиазмом заявил персонаж романа «За чертой» (Сильверберг): «Вы не жили, пока не вступили в связь с одним из своих предков».

Философы также обнаружили, что эти особенные парадоксы полны драматической привлекательности. Например, в качестве сложной задачи для читателей научного журнала *Analysis* в 1979 году британский философ Джонатан Харрисон представил странную и удивительную ситуацию. Молодая леди Иокаста Джонс однажды обнаруживает древнюю морозильную камеру, в которой находится замороженный молодой человек. Она оттаивает его и узнает, что его зовут Дум и что у него есть книга, в которой рассказано, как сделать морозильник и таймер. Они женятся, и вскоре у них рождается мальчик, которому дают имя Ди.

Спустя годы, прочитав книгу своего отца, Ди изготавливает машину времени. Ди и Дум, взяв книгу с собой, садятся в машину и отправляются в прошлое. Во время долгого путешествия не хватает еды, Ди убивает своего отца и съедает его. Оказавшись в прошлом, Ди уничтожает машину времени, строит морозильник (опять же, используя книгу), входит в него и ... просыпается, чтобы обнаружить, что его разморозила молодая леди по имени Иокаста Джонс. Когда девушка спрашивает, как его зовут, он называет себя Думом и показывает Иокасте свою книгу; они женятся и...

Харрисон завершил эту удивительную историю непростым вопросом для своих читателей: «Совершила ли Иокаста логически возможное преступление?» Эта проблема – только поверхность океана загадок, спрятанных в этой истории! Преступление Иокасты, конечно, заключается в том, что она (пусть невольно) совершила инцест; читатели, которые помнят греческий миф об Эдипе и кем была его мать-жена, поймут, почему Харрисон дал своей героине такое имя<sup>1</sup>. Но какое преступление совершил Ди? Мы знаем, что он съел своего отца! Но, возможно, это и не преступление вовсе, потому что Ди и Дум – одна и та же личность, и разве это преступление – есть себя? По словам Макбита, задача Харрисона является «историей, настолько экстравагантной по своим последствиям, что будет рассматриваться как эффективное доведение до абсурда единственного сомнительного предположения, на котором основывается история: возможности путешествия во времени».

Вызов Харрисона повлек за собой почти дюжину ответов. Наиболее вдумчивым был ответ Левина, который заставляет задуматься о том, что Иокаста не только совершила инцест, но и сделала это с помощью единственного полового акта. Как объяснялось ранее, события в причинно-следственной связи происходят не бесконечно, а только один раз; таким образом, Иокаста размораживает Дума (Ди) всего один раз, она выходит за него замуж только один раз, и оба они совершают свой брак только один раз. Обычно мы думаем, что для совершения инцеста требуется два половых акта, первый из которых приводит к рождению ребенка, а второй – это связь родителя с ребенком, но это не так в причинно-следственной петле. Путешествие во времени – странное дело.

<sup>1</sup> Иокаста (Эпикаста) – в греческой мифологии мать и жена Эдипа. – *Прим. перев.*

И наконец, в другом опубликованном решении проблемы Харрисона Годфри-Смит подчеркивает, что независимо от физики история биологически ошибочна и фатальна. Как он пишет: «Биологическая проблема заключается в следующем. Ди – сын Дума и Иокасты. Таким образом, Ди получил половину своих генов от Дума и половину от Иокасты. Но Дум диахронически идентичен Ди и поэтому генотипически идентичен ему (то есть самому себе). То есть Ди одновременно как генотипически идентичен, так и отличается от Дума, что абсурдно». Харрисон выглядит удивительно невозмутимым перед этим обоснованным возражением, отвергая его как простой «закон природы, а не логики». Если кто-то собирается игнорировать законы природы, тогда зачем беспокоиться о путешествиях во времени (или о чем-то еще) в физике? Закон сохранения импульса также не является законом логики; можем ли мы его игнорировать, когда это нам удобно? Интересно отметить, что биологическое возражение Годфри-Смита было выдвинуто на несколько лет раньше физиком Шульманом (1971) и писателем-фантастом Андерсоном в повести 1955 года «Патруль времени».

Хотя, безусловно, истории Харрисона и Макбита о сексуальном парадоксе являются поучительными, они мешают понять, что концепции, с которыми они имеют дело, уже давно легли в основу научной фантастики и что сексуальные парадоксы получили много критического внимания в этом жанре задолго до того, как их открыли для себя философы или физики. Рассуждения философов умны, но вторичны. Например, возьмем научно-фантастический рассказ 1954 года «Парадокс Паундстоуна» (Ди) – это рассказ о молодом человеке, который отправляется назад во времени на 1250 лет, из 3207-го в 1907 год нашей эры, чтобы стать своим собственным прапрадедом, удаленным на пятьдесят поколений. И даже это скучно по сравнению с сексуальными парадоксами, которые придумывали другие писатели-фантасты до того, как их обсуждали философы.

Например, в рассказе «Дитя Хроноса» (Харнесс), написанном за десятилетия до Харрисона и Макбита, мы встречаемся с молодой женщиной, увязшей в головоломном романе, в котором тайна причинно-следственной связи является наименьшей из ее проблем. В 1957 году родилась девочка, и после двадцати лет напряженных конфликтов со своей матерью (которая обладает сверхъестественной способностью предсказывать будущее) она отправляется в прошлое, в 1977 год, за несколько месяцев до своего рождения. Там она беременеет от мужчины, который, как становится известно в будущем, ее отец! И рождает девочку. Новая мать, разумеется, знает обо всем, что произойдет в течение следующих двадцати лет, включая тот факт, что она будет усиленно воспитывать свою мятежную дочь...

Идея сексуального парадокса продолжает очаровывать писателей-фантастов и по сей день. Впрочем, секс-путешествия во времени интригуют даже без парадоксов. Например, в романе «Повелитель времени» Роберта Форварда герой однажды проводит ночь со своей женой и двумя версиями



себя из будущего. Он, конечно, переживет эту ночь еще два раза! Позже он расстраивается, когда его жена убегает с одной из старых версий, но быстро успокаивается, когда понимает, что, в конце концов, он станет более старой версией. Теперь добавьте к сексу еще и парадокс, и это блюдо становится слишком большим, чтобы его переварить.

Вспомним красиво написанную повесть физика и писателя Грегори Бенфорда «Вниз по реке», в которой рассказано о молодом человеке, охотящемся на отца, который за много лет до этого бросил его в горящем доме. Смерть матери молодого человека в огне подтолкнула его к десятилетнему поиску мести вверх и вниз буквально по реке времени, где путешествие в одном направлении («вверх по течению») означает уход в прошлое, тогда как движение «вниз по течению» ведет к будущему (и к легендарному водопаду в конце вечности). В конце концов, он загоняет отца в угол и, несмотря на мольбу, убивает его. Только позже, после изучения документов, которые он находит в кармане своего отца, юноша понимает, что он убил свое будущее я (физик Бенфорд знает ловушки путешествий во времени, и здесь нет парадокса дедушки, как видите!). Повесть Бенфорда напоминает Гека Финна на Миссисипи, а также чехословацкий фильм 1954 года «Путешествие в начало времени», в котором четыре мальчика плывут по реке времени в доисторическое прошлое. В истории Бенфорда время чудовищно запутано, и окончание намекает на объяснение более ранней, загадочной встречи мальчика со старшим «я» в тщетной попытке предотвратить его (тогда) будущее убийство (самоубийство?). Благодаря тому что молодой человек убил себя в будущем, эта история привнесла хитроумный поворот в *перевернутый* парадокс дедушки.

Все истории, обсуждаемые в этом разделе, написаны «серьезным» тоном, но в сексуальных парадоксах, конечно, есть изрядная доля абсурда. Писатели-фантасты не упустили и этот момент. «Генетическая кода» (Диш), например, является очень забавной пародией на идею быть собственным отцом; хотя Диш ясно дает понять, что он понимает генетические препятствия против саморождения, ничто не мешает ему хорошо позабавиться с этой идеей. Единственный известный мне фильм, в котором явно используется идея о том, что путешественник во времени является собственным (отдаленным) предком, – это «По дорогам времени» 1989 года. Тем не менее этот фильм настаивает на нелогичной возможности изменения прошлого (и в одной сцене это действительно происходит).

## 4.8. Вопросы для самостоятельных размышлений

В послесловии к своему рассказу «Мертвый город» Мюррей Лейнстер размышляет: «Вы слышали, наверное, такой старый аргумент, что человек не может путешествовать назад во времени, потому что он тогда может убить своего собственного деда. Я удивляюсь тому, почему никто не утверждает, что человек не может путешествовать во времени, потому что его может убить его собственный внук». Один из возможных ответов Лейнстеру таков: если в тот момент, когда путешественник во времени отправляется в путь, он еще не произвел на свет ребенка, то в будущем его просто не будет ждать внук-убийца. Возможно, однако, что Лейнстер имел в виду несколько более сложный сценарий: после того как путешественник во времени прибывает в будущее, он подвергается нападению таинственного незнакомца, но выживает, а потом возвращается в настоящее. Затем он производит на свет ребенка, который станет родителем этого таинственного незнакомца. (Насколько я знаю, эта сюжетная линия не появилась в научно-фантастическом рассказе.) Вопреки мнению Лейнстера, объясните, почему возможность быть убитым внуком не является причиной для запрета возможности путешествия во времени (в любом направлении).

В своей работе о классической петле времени философ из Университета Делавэра Ричард Хэнли заявляет, что «физики пытались избежать проблем со свободной волей, игнорируя причинные петли, включающие интенциональное действие», и частично иллюстрирует это утверждение парадоксом автоинфантицида, описывая попытку путешественника во времени убить свое молодое «я» как неизбежную неудачу, потому что прошлое, по-видимому, вызвано несвободной волей. Считаете ли вы заявление Хэнли достаточно обоснованным? Если вы интересуетесь генетикой и астрономией, а также путешествиями во времени, то дополнительно прокомментируйте утверждение Хэнли, что «можно извлечь информацию о моей ДНК из... моей астрологической карты».

Вымышленное убийство Гитлера было представлено в печати еще до Второй мировой войны в напряженном романе Джеффри Хаусхолда 1939 года «Одинокий волк» (экранизированном в фильме 1941 года «Охота на человека»). Поэтому неудивительно, что одной из популярных тем в научной фантастике является история путешественника во времени, убивающего фюрера. (Эта идея, как ни странно, появилась в дебатах, предшествовавших американским президентским выборам 2016 года, когда один из кандидатов, чтобы показать твердость своего характера – даже несмотря на то, что он выступал против аборт, – заявил, что «черт возьми, да, я бы убил Гитлера-ребенка! Ты должен сделать шаг вперед, чувак». Этот кандидат немного уточнил, сказав, что может быть некоторый риск, связанный с вмешательством в прошлое. Истории в таком жанре включают в себя следующие: Э. Норден (E. Norden), «The Primal Solution» (Magazine of Fantasy & Science Fiction, June 1977), У. Р. Томпсон (W. R. Thompson), «the Plot to Save Hitler» (Analog, September 1993), Л. дель Рей (L. del Rey), «My Name Is Legion» (Astounding Science Fiction, June 1942) и Р. М. Фарли (R. M. Farley), «I Killed Hitler» (Weird Tales, July 1941). Прочтите некоторые из этих историй и сравните различные последствия, которые предвидели авторы после убийства Гитлера путешественником во времени.

После нашего обсуждения шедевра Хайнлайна о путешествиях во времени «Все вы зомби» вы можете подумать, что невозможно написать новую историю, которая превосходит ее по сложности. Это вполне может быть правдой, но современный шедевр Теда Чанга, безусловно, дает еще один неплохой твист в подобном сюжете. «The Merchant and the Alchemist's Gate» (Magazine of Fantasy & Science Fiction, сентябрь 2007 года) использует «червоточину», которая соединяет настоящее с будущим через 20 лет, и она заполнена переплетенными причинными петлями и информационными смещениями. Прочитайте его и проследите за всеми подобными случаями. Сколько их вы нашли? Последняя строка рассказа ясно выражает мнение о том, что прошлое не может быть изменено: «Ничто не стирает прошлого. Есть покаяние, есть искупление, и есть прощение. Это все, но и этого достаточно». Всегда ли история верна такому взгляду на путешествия во времени?

В своей статье о совпадениях путешествий во времени философ из Квинслендского университета Фил Доу пишет: «Действительно, отдаленные путешествия во времени [в очень далекое прошлое] не допускают причинных петель». Так ли это? Посмотрим, что вы будете думать об этом, прочитав рассказ «Стрела времени» Артура Кларка. В этой сказке геологи только что обнаружили в отдаленной пустыне окаменелые следы чудовищного существа, обнаруженные 50 млн лет назад, – следы, указывающие на то, что зверь преследовал убегающую добычу. Прежде чем геологи раскапывают весь набор следов, чтобы увидеть, было ли преследование успешно завершено, их посещает физик, который просто случайно проводит эксперименты во времени. (Эта близость объясняется тем, что нет лучшего места для проведения экспериментов по путешествиям во времени, основанных на атомной энергии, чем отдаленная пустыня?) В какой-то момент во время визита после рассказа о сцене древней погони, замороженной в скале, физик размышляет: «Это избавило бы вас от многих неприятностей, не так ли, если бы вы действительно могли видеть, что происходило в прошлом, не делая выводов этими трудоемкими и неопределенными [геологическими] методами». Данное замечание привело к тому, что главный геолог нанес визит в лабораторию физика. После поездки на автомобиле, оснащенный шинами, имеющими «странный зигзагообразный рисунок в протекторе», некая случайная авария внезапно отправляет всю лабораторию в прошлое. Вскоре после этого другие геологи раскопали остальные окаменелые следы и узнали, что это была за добыча, когда они увидели зигзагообразный узор в скалах; следы, которые показывают, что «большая рептилия собиралась сделать последний прыжок на свою отчаянно убегающую добычу». Вы можете понять, как изменить эту историю так, чтобы получилась захватывающая причинная петля, включающая очень далекое прошлое? (Возможно, для еще большего вдохновения на размышления о причинных петлях стоит посмотреть фильм 1980 года «Последний отсчет». В ней конструктор современного военного корабля, который временно перемещается назад во времени в Перл-Харбор 6 декабря 1941 года, оказывается членом экипажа, случайно оставленным в прошлом. В прошлом он сможет спроектировать корабль, потому что уже знает, как он был спроектирован – им самим!)

Прокомментируйте приведенную ниже карикатуру. Имеет ли она логический смысл?



В рассказе Джерри Олтиона «Salvation» (Analog, декабрь 2007) физик обращается к Вселенской церкви Божественного Откровения за деньгами, чтобы построить машину времени. Он прямо говорит: «Вы могли бы вернуться назад во времени и встретиться с Иисусом. Если предположить, что он существует». Это заявление вызывает (оно, по замыслу автора, не должно вызывать удивления) просто некоторое столпотворение, но тем не менее влиятельный епископ решает предоставить финансирование. Почему? Потому что позже, когда он сидел в своем кабинете и разговаривал с физиком, лист бумаги внезапно появился в воздухе над столом руководителя, а затем полетел вниз, чтобы приземлиться прямо на телефон.

Взяв бумагу, епископ видит, что это лист его собственного именного бланка, на котором написано его собственным угловатым, четким почерком: «Это работает. Отдай ему деньги. Ты чуть не назвал собаку Соломоном».

(Окончание далее)

Это убеждает епископа, потому что, как нам говорят, «бумага, появляющаяся из ниоткуда, была хорошим трюком, но это может быть просто трюком. Дублировать его фирменный бланк и почерк тоже не составит особого труда. [С другой стороны] знание имени, которое [епископ] рассматривал, но отверг для своей немецкой овчарки по кличке Шепард 15 лет назад, было совершенно другим уровнем трюкачества». Физик, кажется, тоже удивлен появлением бумаги и спрашивает: «Можно мне посмотреть?» Его реакция убеждает лидера, что это не было инсценировкой: «Ну, будь я проклят», – отвечает физик. Как только машина времени находится в стадии строительства, двое мужчин понимают, что они должны отправить загадочное сообщение назад во времени, чтобы завершить цикл. Когда они готовятся к этому, лидер задает любопытный вопрос. Взяв со стола таинственный листок бумаги, он говорит физику: «Должен ли я послать оригинал [тот, который он держит в руке], или я должен написать другой?» Физик отвечает: «Напишите новую. Если мы отправим оригинал, мы поместим его в замкнутый цикл и никогда не получим обратно. Мы не хотим потерять первый объект путешествия во времени. Когда-нибудь мы захотим оставить его для Смитсоновского института». Разве это имеет смысл? Кроме того, прокомментируйте, является ли имя собаки причинно-следственной петлей.

Озадачивающий маленький парадокс путешествия во времени, который, я думаю, научная фантастика еще не рассматривала (и я почти уверен, что физики тоже ничего не говорили об этом), был придуман английским философом Робинем Ле Пойдевином в его книге 2003 года «Travels in Four Dimensions: the enigmas of Space and Time» (Oxford, p. 180–181). Там он пишет: «Питер и Джейн, обоим по 20 лет, однажды вышли на прогулку в 1999 году, когда внезапно перед ними появилась машина времени. Из нее выходит странно знакомый персонаж, который говорит Джейн, что у него есть для нее важная миссия. Она должна войти в машину и отправиться в 2019 год, делая записи в дневнике, который незнакомец протягивает ей. В этом дневнике она должна сделать запись о своем путешествии.

Она послушно делает то, о чем ее просят, и по прибытии встречает Питера, которому сейчас 40 лет. Она говорит Питеру, чтобы он вернулся в 1999 год, взяв с собой дневник, который она сейчас вручает ему, и записывал в него свое путешествие.

(Окончание далее)

По прибытии в 1999 году он встречает двух 20-летних ребят по имени Питер и Джейн, вышедших на прогулку, и говорит Джейн, что у него есть для нее важная миссия. Далее Ле Пойдевен пишет: «По-настоящему сложный вопрос заключается в следующем: сколько записей существует в дневнике, когда Джейн впервые входит в машину? Мы представляем его пустым. Но это тот же самый дневник, что Джейн вручает 40-летнему Питеру, в котором затем содержится ее запись. И к тому времени, когда Питер вернется в 1999 году, в нем будет содержаться и его запись. Но тогда, если дневник уже содержал две записи, когда Джейн вручили дневник, он будет содержать три записи, когда она передаст его Питеру, который затем добавит еще одну, так что дневник будет содержать четыре записи, когда он был впервые вручен Джейн, и т. д. Если проблема не сразу бросается в глаза, то это потому, что мы представляем себе неопределенное количество поездок, а на самом деле их всего две: поездка Джейн в 2019 год и поездка Питера в 1999 год. Таким образом, должен быть логически обоснованный ответ на вопрос, сколько записей есть в дневнике. Однако, как мы уже видели, такого ответа на этот вопрос не существует». Другой философ вскоре заявил, что у него есть ответ. Прочитайте его статью (Erik Carlson, «A New Time Travel Paradox Resolved», *Philosophia*, декабрь 2005, стр. 263–273) и либо объясните, почему вы согласны с рассуждениями Карлсона, либо обоснованно опровергните их.

Как и в «Изменяющем время», в других произведениях фигурируют гаджеты, которые просто просматривают прошлое, а не посещают его, как это сделала бы машина времени. Это делается в попытке избежать парадоксов – но так ли это? Две истории, которые иллюстрируют, как даже просто просмотр прошлого рискует повлиять на прошлое так же, как путешествие во времени, – это «The Biography Project» Горация Голда (*Galaxy Science Fiction*, сентябрь 1951 года) и «One Time in Alexandria» Дональда Франсона (*Analog*, июнь 1980 года). В первом рассказе камера Biotime, принадлежащая Институту биозаписей, позволяет группам биографов снимать (увы, без звука!) и изучать жизни выдающихся личностей прошлого.

Особый интерес представляют жизни тех, у кого развились невротические психозы, например Исаака Ньютона. И действительно, камера Biotime передает изображение Ньютона, когда он начинает демонстрировать все более нарушенное поведение.

(Окончание далее)

Мы видим, например, как Ньютон начинает заглядывать в темные углы, высматривая тех, кто пришел шпионить за ним. На его смертном одре команда биографов, назначенная ему, читает по губам его последние слова: «Мой ангел-хранитель. Ты присматривал за мной всю мою жизнь. Я рад встретиться с тобой сейчас». Именно тогда Институт биозаписей осознает, что именно произошло. За Ньютоном действительно следили – с помощью камеры биовремени, которая не изменила прошлое, но, несомненно, повлияла на него. Во второй повести археолог использует наблюдатель времени, чтобы прочитать потерянные рукописи в древней библиотеке в Александрии, прежде чем она была бы полностью уничтожена пожаром. Устройство использует инфракрасный луч – и именно тепло от этого луча из будущего оказывается источником огня в прошлом. Опять же, прошлое было затронуто, но не изменено просмотром времени. Верно ли, однако, утверждение, что такие устройства для просмотра не могут быть источником других парадоксов, таких как причинные петли или информационные перемещения? Если вы считаете, что это неверное утверждение, приведите встречный пример.

В рассказе Фрэнсиса Флэгга и Уивера Райта (псевдоним, используемый Форрестом Дж. Акерманом) «Time Twister» (Thrilling Wonder Stories, октябрь 1947 года) мы можем прочитать следующий обмен мнениями между изобретателем машины времени и его не слишком умным помощником: «Вы хотите сказать, – недоверчиво спросил он, – что я могу вернуться на 100 лет назад?» – «Если бы у тебя была бы подходящая машина для путешествия, то да». – «Но это вернет меня к тому времени, когда я еще не родился». Профессор снисходительно улыбнулся: «Посмотри на эту диаграмму, Хэнк. Эта линия – временной континуум. Он также включает в себя все пространство. [Авторы на самом деле не печатали диаграмму с рассказом, но, конечно, профессор использует диаграмму пространства-времени Минковского.] Эта точка – ты. Не имеет значения, когда ты родился или когда умрешь. Ты существуешь прямо сейчас, это факт. Путешествие в прошлое или будущее не заставит тебя стать моложе или старше. Такая мысль наивна. Позволь мне продемонстрировать его механику.

(Окончание далее)



Если... мы вычисляем с помощью неевклидовой математики...» – “Это звучит неразумно”, – возразил помощник. “Я знаю, – вмешался Профессор, – если ты вернешься, то встретишь своего отца молодым человеком, и ты будешь старше его, или, может быть, он и твоя мать даже будут детьми, идущими в школу”». Ха-ха-ха! Было бы смешно, если бы это реально экранизировали... Какой-нибудь известный фильм, снятый почти 40 лет спустя, напоминает вам конец разговора? Подсказка: «конденсатор потока».

Как уже упоминалось в тексте, известным научно-фантастическим примером влияния (но не изменения) на прошлое является «Се человек» Майкла Муркока, рассказ о путешественнике во времени, который прибывает в древние времена в те самые годы существования Иисуса, о которых и сообщается в Библии. Когда он обнаруживает, что на самом деле такого человека нет, путешественник во времени сам берет на себя эту роль и переживает события, описанные в Евангелиях, включая распятие. Это мощная история, но она уже была выполнена более чем за 15 лет до этого Филипом К. Диком в его рассказе «Череп» (If, сентябрь 1952). В своем рассказе Дик рассказывает о человеке из двадцать второго века, посланном правительственной властью обратно в середину двадцатого века, чтобы убить основателя религиозного движения, которое «теперь», 200 лет спустя, угрожает тем же самым правительственным властям. История говорит, что основатель произнес вдохновенную речь непосредственно перед тем, как его арестовали и казнили, – речь, которая положила начало религиозному движению, и поэтому путешественнику во времени убийце велят убить основателя, прежде чем он сможет произнести эту речь. (Параллель между Иисусом и основателем должна быть очевидной.) Прочитайте эти два рассказа и сравните, как Муркок и Дик справлялись с парадоксами путешествий во времени. Прокомментируйте, в частности, отношения между убийцей и основателем. Рассказ Муркока можно легко найти, а рассказ Дика доступен в виде бесплатного pdf-файла (он также находится в антологии The Best of Philip K. Dick, Halcyon Classics 2010).

В оригинальном фильме «Назад в будущее» появляется тонкая последовательность изменений прошлого, которую легко пропустить. Когда герой, Марти Макфлай, возвращается в 1955 год на машине времени, он уезжает со стоянки торгового центра Twin Pines (Две сосны), названного так из-за двух сосен, которые стоят рядом. Прибыв в прошлое буквально с треском, машина времени случайно ломает одну из (тогда) еще молодых сосен. Ближе к концу фильма, когда Марти возвращается в будущее (1985), он обнаруживает, что торговый центр теперь называется Lone Pine Mall (У одинокой сосны). Это очаровательно и весело, и действительно умно, но современные исследователи путешествий во времени отвергают это и другие утверждения об изменении прошлого как нелогичные. (Шекспир понял этот момент, когда Леди Макбет заявила по поводу убийства Банко: «Что сделано, того не отменить: в постель, в постель, в постель»). Поездка Марти объяснила бы лишь, почему торговый центр всегда назывался Lone Pine Mall. Посмотрите фильм и скажите, сколько других эпизодов с попытками «изменить прошлое» вы сможете найти.



## ГЛАВА 5

### Связь с прошлым



*Что касается путешествия в прошлое или передачи сигналов о нем, вам придется превысить скорость света, что немедленно влечет за собой потребность в более чем бесконечном источнике энергии.*

– Хаскелл ванн Мандерпуц

#### 5.1. Обратные во времени миры

Философы и авторы философских художественных произведений были первыми, кто задался вопросом, на что может быть похож мир, где асимметрия времени обращена вспять, – мир, где само время «бежит вспять». Действительно, идея обращения времени родилась тысячи лет назад, задолго до научной фантастики: ее можно найти в диалоге Платона «Государственный деятель», написанном (скорее всего) за пятнадцать лет до смерти Платона. Вопрос обратного времени настолько увлек Финдли, что спустя несколько лет он поставил эту проблему перед читателями журнала *Analysis*. Затем он опубликовал статью, в которой изложил как свою собственную отрицательную точку зрения на миры с обратным временем, так и лучший отклик от МакГичи на поставленную проблему.

Финдли проявил замечательную открытость, присвоив звание «лучшего» аргументу, опровергающему его собственную позицию. Финдли, однако, не был убежден в концепции миров обращенного времени, заявив, что «я продолжаю чувствовать, что полное обращение моего опыта – ужасающая возможность». И любой, кто смотрел фильм или видеозапись, сыгранные задом наперед, почти наверняка согласится с Финдли; возьмем, например, рассказ Бэнкса «Наоборот» про путаницу во времени, которая может быть вызвана показом фильма в обратном направлении.

Несмотря на «агрессию» Финдли, однако, сегодня преобладает мнение, что для обитателей обращенного времени (или того, что иногда называют *противовременем*) ничто не будет выглядеть странно! Это довольно новая идея, и даже сравнительно недавняя философская литература иногда выдает неверное пояснение того, почему мир, обращенный во времени, может

показаться нормальным его обитателям. Современная идея о том, что измененный во времени мир может показаться нормальным для тех, кто живет в нем, кажется, была явно высказана сначала Смартом, но я не считаю его аргументы убедительными. Со мной согласен Уитроу, который называет рассуждения Смартта «ошибочными или, в лучшем случае, тривиальными».

Физики Нарликар и Стэннард предложили более убедительную концепцию вселенной, созданной из материи, в которой существование каждой частицы происходит в обратном времени. Например, нейтрон не распадается на протон, электрон и антинейтрино, а наоборот – *возникает* в результате столкновения этих частиц. Как указывает Стэннард, пространственно-временные диаграммы (см. раздел 3.10) таких взаимодействий являются просто диаграммами «нашего мира» с перевернутой осью времени; он называет такие взаимодействия материи *фаустианскими* (из пьесы Гете «Фауст», в которой постоянно нарушается нормальное течение времени) и выдвигает гипотезу о том, что взаимодействие между нормальной (нашей) и фаустианской материей невозможно. Действительно, многие считают, что материя с обратным течением времени – это антиматерия для нашего мира, и такое взаимодействие было бы впечатляющим! (Это возражение против путешествий во времени несколько раз упоминается в романе Роберта Сильверберга «Ворнан-19».) Гипотеза Стеннарда является своего рода принципом цензуры, и, если она справедлива, это устраняет беспокойство Брэдли о жизни в обращенном мире.

Философ Дж. Р. Лукас утверждал, что даже если бы существа из двух таких противоположно направленных миров встретились, они все равно не смогли бы общаться. «Если два существа намерены коммуницировать друг с другом, они оба должны иметь одинаковое направление времени. Это логическое и причинное условие». Замечу, что этот вопрос требует хорошего понимания, потому что он тесно связан с путешествиями во времени. На первый взгляд слова Лукаса кажутся почти очевидными, а после недолгого размышления кажутся абсолютно неопровержимыми. Философ Мюррей Макбит, однако, отыскал исключение.

Макбит придумал рассказ о Джиме и Мижд, демонстрирующий, что убедительная сила позиции Лукаса является лишь поверхностной. В этой истории Джим – один из нас, тогда как Мижд – фаустианская антагонистка Джима во времени – та, кого философ Ротман называет «ретродругом». В своих выкладках Макбит использует прописные слова и символы для обратной во времени Мижд и строчные буквы для Джима, как показано на рис. 5.1. Как объясняет Макбит: «Пока Джим и Мижд вместе, разговор с глазу на глаз вряд ли сможет стронуться с места. Чтобы прояснить это, давайте скажем, что они вместе от  $t_0$  до  $t_{10}$  по шкале времени Джима и от  $T_0$  до  $T_{10}$  по шкале времени Мижд; тогда  $t_0$  – это тот же временной момент, что и  $T_{10}$ , и, как правило,  $t_n = T_{10-n}$ . Если Джим в момент  $T_2$  задает вопрос Мижд, а Мижд слышит вопрос в  $T_8$ , она отвечает в  $T_9$ , и Джим услышит ответ на свой вопрос, прежде чем он задаст его. Более того, если Джим плохо разбирает обратные звуки

и в момент  $t_4$  просит Мижд повторить свой ответ, она услышит эту просьбу в момент  $T_6$ , ДО того, как он услышит исходный вопрос; и ее озадаченный ответ в  $T_7$  будет снова услышан Джимом прежде, чем он произнес вопрос».

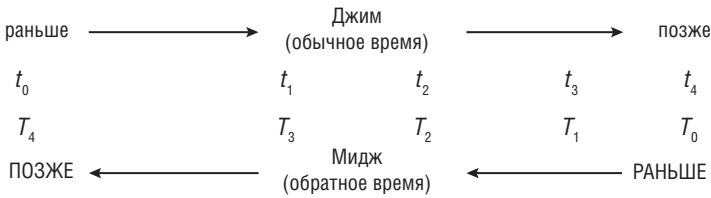


Рис. 5.1. Противоположные направления времени в мирах, идущих против часовой стрелки

Конечно, это беспорядок во времени, и Лукас, похоже, находится в безопасности, отрицая возможность общения между Джимом и Мижд. Макбит, однако, показал, как опровергнуть все аргументы Лукаса, если Мижд и Джиму позволено умнее распоряжаться отправкой сообщений туда и обратно, то есть если мы отказываемся от некоторых наших обычных представлений о том, на что похож разговор. Рассуждения Макбита слишком длинны и детализованы, чтобы представлять их здесь, но мы обсудим упрощенную схему, предложенную им самим.

Мы представим, что Джим и Мижд на самом деле не будут разговаривать, и поэтому им не нужно будет расшифровывать разговорную речь. Они будут обмениваться сообщениями с помощью рукописных записок или компьютерного текста, отображаемого на экранах мониторов. Фактически мы можем представить, что Джим и Мижд разделены окном, которое не пропускает ничего, кроме света. Природа этого окна – нетривиальный вопрос: если мы примем антиматериальную природу мира Мижд, то необходимо держать ее и Джима врозь! С этой целью Макбит представил себе, что окно это с двойными стеклами, а между ними – абсолютный вакуум. Обмен фотонами между двумя мирами не должен представлять никаких проблем, потому что фотоны – это античастицы по отношению к самим себе<sup>1</sup>.

Теперь, в момент  $t_0$ , Джим поворачивает монитор к окну. Он запрограммировал его ждать четыре дня, до момента  $t_4$ , а затем вывести на экран следующее сообщение: «Это сообщение от Джима, который переживает время в противоположном вам смысле. Пожалуйста, прочитайте следующие вопросы и покажите свои ответы на экране компьютера через три дня». Сообщение Джима заканчивается списком вопросов.

Поскольку все это произошло в момент  $t_4$ , Мижд видит послание Джима и вопросы в момент, который мы будем называть  $T_0$ . Отвечая на обраще-

<sup>1</sup> Ни в том, ни в другом мире нет разницы во временном смысле фотонов, потому что поток собственного времени для фотона, движущегося со скоростью света, по определению равен нулю.

ние, она подносит свой компьютер к окну, вводит ответы на вопросы Джима и программирует компьютер так, чтобы ответы отобразились на экране компьютера после трехдневной задержки. Таким образом, в момент  $T_3$ , который является моментом  $t_1$  Джима, он видит, как на экране компьютера Мижд загорается текст «Привет, Джим. Это Мижд. Ответы на ваши вопросы находятся в конце этого сообщения. Теперь у меня есть несколько вопросов для вас. Пожалуйста, покажите ответы через два дня». Послание Мижд заканчивается ответами на вопросы Джима и ее списком вопросов.

Джим видит сообщение Мижд на экране в момент  $t_1$ , вводит ответы на ее вопросы и заставляет свой компьютер ответить после двухдневной задержки, в момент  $t_3$ , который равен моменту  $T_1$  Мижд, – и теперь вы поняли, как идет процесс. Конечно, это громоздко, но работает. Или, по крайней мере, должно сработать, если все будут следовать правилам. Что, если они этого не сделают? Макбит рассмотрел и более тонкие проблемы, которые могут возникнуть при этом способе обмена сообщениями. Я назову здесь только две из них, которые имеют прямые аналоги с тем, что мы обычно называем «путешествием во времени».

Что касается первой проблемы, рассмотрим исходное сообщение Джима, созданное в момент  $t_0$ , для отправки в момент  $t_4$ . Он получает ответ Мижд, как описано выше, в момент  $t_1$ , прежде чем его сообщение отобразится через окно. Как вы думаете, что произойдет, если в момент  $t_2$  Джим отменит сообщение и оно не отобразится? Он уже получил ответ Мижд, но как это могло произойти, если он не отправит свое сообщение? Это, конечно же, парадокс – мы обсуждали его в четвертой главе, когда рассматривали парадоксы времени в целом.

Вторая любопытная проблема – это возможность создания причинной петли сообщений. Например, допустим, что в момент  $t_0$  Джим неожиданно решает отправить сообщение через окно. (Его причина этого внезапного побуждения будет объяснена через несколько строк.) Он всю ночь думает о том, что написать, и, наконец, в момент  $t_1$  останавливается на следующем: «Приветствую людей с другой стороны окна. Это сообщение отправлено Джимом, который надеется, что вы ответите». Мижд тут же видит сообщение Джима через окно (в его время  $T_3$ ) и поэтому внезапно загорается желанием ответить. Она всю ночь думает о том, что отправить, и, надеясь быть остроумной, она наконец решает (в момент времени  $T_4$ ) отправить следующее эхо сообщения Джима: «Приветствую людей с другой стороны окна. Это сообщение отправлено Мижд, которая надеется, что вы ответите». Джим сразу видит это сообщение через окно (в его время это момент  $t_0$ ), и теперь мы знаем, почему он решил отправить свое оригинальное сообщение!

И Джим *отправит* свое оригинальное сообщение – он должен это сделать, потому что Мижд ответила на него (на данный момент забудьте о первой парадоксальной проблеме). Причинно-следственные петли – очень странные вещи, в которых события происходят в настоящем из-за событий в будущем, которые, в свою очередь, вызваны событиями в насто-

ящем. В отличие от парадокса дедушки, который, по мнению большинства философов, теперь «решен», причинно-следственные петли еще не получили удовлетворительного объяснения. Макбит не любит подобные петли, признавая, что хотя он считает их концептуально возможными, он также полагает, что заикленные причинно-следственные связи настолько «дурно пахнут», что он избегает думать о них. В четвертой главе *мы* рассуждали о них и, что неудивительно, обнаружили что некоторые из самых загадочных и занимательных историй путешествий во времени основаны на причинно-следственных связях. В другой работе Макбит называет такие рассказы «loopy<sup>1</sup> stories»!

Теперь должно быть ясно, что живущий против часовой стрелки фаустовский мир действительно показался бы нам довольно странным, потому что его жители помнят то, что мы называем будущим. Но, конечно, наш мир показался бы им таким же странным, потому что наше прошлое – это их будущее. Как отмечает Стандарт, «эта довольно странная ситуация, как мы помним, имеет тесную параллель в специальной теории относительности, когда два наблюдателя в относительном движении одинаково убеждены в том, что часы другого работают медленно» [см. раздел 3.9]. Эта довольно странная (для нас) особенность обратного времени, конечно, заинтриговала авторов художественной литературы. Например, когда волшебник Мерлин впервые появляется в шедевре Теренса Уайта «Король Былого и Грядущего» («Король Артур»), он объясняет, откуда он знает будущее других: «Обычные люди рождаются во времени, идущем вперед, если вы понимаете, о чем я, и почти все в мире тоже идет вперед... Но я, к сожалению, родился с неправильного конца времени, и мне приходится жить задом наперед, в то время как многие люди живут спереди назад. Некоторые называют это вторым зрением».

Сегодня мы можем только предполагать, откуда в голове Уайта взялась идея для его обращенного во времени мага, но я допускаю, что он мог прочитать опубликованную на десять лет раньше книгу такого же англичанина. Я имею в виду книгу Эддингтона «Природа физического мира», где можно найти такой отрывок: «В “Истории Платтнера” Герберт Уэллс рассказывает, как человек попал в четвертое измерение и вернулся зеркально перевернутым влево и вправо... Само по себе изменение настолько тривиальное, что даже мистер Уэллс не может сотворить из этого роман. Но если бы у вернувшегося человека поменялись местами прошлое и будущее, тогда действительно ситуация была бы трагичной».

Вне зависимости от того, повлияли ли эти слова на английское фэнтези, они определенно повлияли на американскую научную фантастику. В своих мемуарах 1979 года «Как случилось будущее» редактор палп-фикшн Фредерик Пол пишет, что книга Эддингтона (которую Пол ошибочно приписывает сэру Джеймсу Джинсу) дала ему идею для рассказа с использованием разворота

<sup>1</sup> Игра слов. На английском языке «loopy» имеет два значения – «замкнутый в петлю» и «слабый». – *Прим. перев.*

времени. Но прежде чем Пол успел опубликовать его, еще лучшее произведение написал (по мнению Пола) Малкольм Джеймсон. Он тоже прочитал книгу Эддингтона, и в результате появилась повесть «Зыбучие пески молодости», которую Пол опубликовал в *Astounding Stories*. Однако, к сожалению, повесть Джеймсона весьма ужасна и лишена какой-либо связи с идеей Эддингтона. Возникает вопрос: возможно, в повести были воспоминания о будущем, и Пол сам их вычеркнул? К сожалению, Пол говорит, что не может вспомнить!

Воспоминания о будущем действительно существуют в «Назад, о время!» (Найт), где все знают, что произойдет (поскольку они живут задом наперед), читая «книги предсказаний». Что отличает эту повесть от многих других по той же теме, так это интересная беседа студента с профессором философии о том, как все будет, если время пойдет другим путем, как в *нашем* мире.

*– Откуда нам знать? Обратная последовательность причинной связи событий может оказаться не менее обоснованной, чем переживаемая нами. В конце концов, понятия причины и следствия достаточно произвольны.*

*– Весьма фантастичное предположение.*

*– Нам сложно себе такое представить просто потому, что мы к этому не привыкли. Все дело лишь в точке зрения. Вода потекла бы под гору, а не наоборот. И так далее. Совсем по-другому распределялась бы энергия – от предельной концентрации к максимальной дисперсии. Почему бы и нет?*

Студент, однако, не убежден, и когда он пытается визуализировать такой странный мир (*наш* мир, не забывайте!), это вызывает «у него неприятную дрожь». Представь, каково это, думает он с удивлением, никогда не зная даты своей собственной смерти!

В рецензии на статью Рейхенбаха Хилари Патнэм возвращается к проблеме перевернутого во времени мира с провокационным вопросом: «Откуда вы знаете, что будущее одного человека не является прошлым другого человека?» Он начинает с интересного замечания, что для того, чтобы мы могли хотя бы наблюдать «обратную» вселенную, мы должны использовать наш собственный нормальный источник излучения, потому что «обратные» звезды *всасывают* излучение, а не излучают его. (Этот образ заставляет меня вспомнить «обратные лучи» в романе Дэвида Линдсея «Путешествие к Арктуру» 1920 года, которые описываются как «свет, возвращающийся к своему источнику», – «объяснение», следующее за вопросом: «если бы свет не выталкивался, а поглощался, как бы цветы умудрились поворачивать свои головки за солнцем?») Патнэм завершает свои комментарии о перевернутом времени осторожным предупреждением: «Трудно говорить о таких чрезвычайно странных ситуациях, не отступая от обычного идиоматического использования английского языка. Но эту трудность не следует принимать за доказательство того, что эти ситуации не могут возникнуть». Этот вызов объясняет, почему так много деятелей искусства вне научной



фантастики и фэнтези взялись за вопрос о том, что было бы, если бы время бежало вспять. Например, немецко-американский композитор середины двадцатого столетия Пол Хиндемит увлекся музыкальными палиндромами и доказал, что идея обращения времени уместна не только в прозе и физике. Его одноактная музыкальная пародия «Hin und Zuruck» («Туда и обратно») заставляет ангела появиться в середине пьесы, чтобы повернуть вспять время, а затем сама музыка меняет направление.

В художественной литературе рассказчик («профессор астрономии и высшей математики») из рассказа Эдварда Беллами 1886 года «Мир слепцов» внезапно оказывается на Марсе. Там он встречается с существ, которые знают будущее вплоть до своей смерти и чьи воспоминания о прошлом «едва ли больше, чем утерянный навык». Вся история протекает в форме беседы между профессором и одним из таких существ, который весьма убедительно доказывает достоинства своего «обратного» существования по сравнению с землянами (марсианское название Земли послужило названием рассказа). Беллами понял, что его история подразумевает фаталистическую блочную вселенную. «Никто не может предвидеть... не осознавая, что будущее так же невозможно изменить, как и прошлое», – написал он.

Мы находим первую слабую попытку объяснить обратное время при помощи «запредельных часов» в романе «Сильвия и Бруно» Льюиса Кэрролла; из-за «колышка разворота» некоторые вещи в этой истории идут наоборот – например, люди идут назад, – но другие вещи, такие как человеческая речь, все еще направлены вперед. Марк Твен в главе 32 своего последнего, посмертно изданного романа «№ 44, Таинственный незнакомец» решил, что ему придется выйти за пределы рациональности, используя обратное время. В этом романе сверхъестественное существо № 44, обращает вспять мировое время, и рассказчик говорит нам, что «повсюду утомленные люди выворачивали предыдущие разговоры задом наперед... там, где шла война, переигрывались вчерашние битвы, в первую очередь неудачно завершённые; ранее убитых снова убивали... мы видели, как Генри I собирает обратно свой расколотый череп...»

Однако этот драматический посыл логически ошибочен, потому что другие описания мира обращенного времени заставляют людей «молиться в страхе... пристально глядя в тоске» на Солнце, движущееся по небу в обратном направлении. Конечно, в действительно обращенном во времени мире никто не совершал бы таких прямых действий, если бы он ранее не совершал «обратный испуг и молитву» на Солнце, движущемся в правильном направлении. Аналогичная ошибка сделана в «Человеке, который никогда не жил» (Уондри). Механизм путешествий во времени в этой истории, впервые опубликованной в 1934 году в *Astounding Stories*, является мистическим фокусом «ментального монизма», который возвращает профессора философии «до начала времени». Профессору каким-то образом удается отправить описание того, что он видит, когда он движется назад во времени, другу (рассказчику) в настоящем. Но некоторые из этих описаний относятся

к действиям в будущем: «Повсюду разрываются снаряды, и люди гибнут тысячами во взрывах и вспышках пламени».

Такие известные писатели первой половины двадцатого века, как Фрэнсис Скотт Фицджеральд и кубинский писатель Алехо Карпентье, также внесли изрядный творческий вклад в общее дело перевернутого времени. Знаменитый рассказ Фицджеральда 1922 года «Загадочная история Бенджамина Баттона» несколько необычен своим уникальным образом: перевернутый во времени Бенджамин Баттон появляется не из могилы, а из чрева его матери! (То, как он появился, выглядит очевидным физическим просчетом, не говоря уже о логической ошибке.) Прекрасная история Карпентье «Путешествие к семени», которая рассказывает об умирающем человеке, внезапно обращающем вспять свое чувство времени, не так явно ошибочна, как у Фицджеральда, но она страдает от еще одного логического недостатка, также присутствующего в истории Фицджеральда: почему эти люди, живущие в перевернутом во времени мире, являются единственными, кто делает это, и почему они оба могут понимать остальных людей и быть понятыми?

Писатель-фантаст Нельсон Бонд тоже попробовал свои силы в фантастической версии обратного времени. В его рассказе 1941 года «Фонтан» о старике, который находит «Фонтан молодости» Понсе де Леона, исследуются проблемы человека, который постоянно забывает, что он живет в обратном времени; то есть в год  $x + 1$  он моложе, чем он был в год  $x$ . Многие читатели поймут, что идея этого сюжета была частично предвосхищена в рассказе Натаниэля Хоторна «Эксперимент доктора Хайдеггера», – но постоянная потеря памяти – оригинальное изобретение Бонда. Еще более любопытным является «Человек, который жил задом наперед» (Росс), роман 1950 года о человеке, который живет назад способом, отличным от придуманного Бондом. Родившийся в 1940 году мужчина просыпается каждое утро, проживает обычный день вперед, ночью ложится спать и просыпается вчера! Этот процесс продолжается до тех пор, пока он не умирает в 1865 году, в тщетной попытке спасти Линкольна (о судьбе которого он узнал из учебников по истории). Автор никак не объясняет происхождение удивительной способности главного героя, но детально проработал проблемы, которые возникают в такой жизни.

На самом деле, конечно, нет ничего удивительного в том, чтобы найти писателей-фантастов, размышляющих над проблемой обратного времени. Например, рассказ Холла «Человек, который жил наоборот» содержит выдающуюся трактовку логических нюансов перевернутого времени, в котором люди говорят задом наперед, и есть удивительная сцена мытья рук в ванной комнате. Рассказ повествует о молодом учителе физики, который «втянут в обратный поток времени» электрическим разрядом. Живя в обратном времени, он наблюдает, как все вокруг него бегут задом наперед, но еще более удивительным является то, что они приобрели «ужасную гранитоподобную твердость». Вскоре нам говорят, почему:

*Какое-то время он не мог понять непроницаемую твердость внешних объектов, которые он трогал; казалось, что они скорее должны быть нематериально мимолетными, почти как сон, поскольку он пересматривал прошлое. Но минутное размышление принесло ему логичный ответ. Прошлое является определенным, сформированным, совершенно неизменным, как ничто иное в Творении. Следовательно, утверждать, что он мог перемещать или изменять любой объект здесь [в прошлом], означало утверждать, что он может изменить всю историю мира или космоса. Все, что он видел в нем, уже произошло и никак не могло быть изменено. С другой стороны, он был подвижным, гибким, изменчивым, поскольку его будущее все еще лежало перед ним, даже если оно было полностью перевернуто; он был нарушителем, аномалией. В любом столкновении с Прошлым оно каждый раз оказывалось непреодолимым.*

Я считаю, что это уникальное изображение неизменности прошлого. Однако остается без ответа, почему молодой учитель Холла мог вытеснить молекулы воздуха прошлого.

Еще одно раннее упоминание об обращенных во времени мирах появляется в романе «Бомба времени» Уилсона Такера. Там мы находим интригующую идею политического убийства бомбами замедленного действия, фактически *путешествующими во времени* к их целям. Полицейский начинает подозревать, что происходит, когда становится очевидным, что один из взрывов был на самом деле схлопыванием: «Бомба замедленного действия ... появлялась из ниоткуда и несла с собой силу взрыва. Взрыва внутрь. В прошлое. Он нахмурился, подумав об этом. Обратный взрыв? Взрыв, который противоречил нормальному течению времени, нормальному способу жизни? ... Как мог бы выглядеть взрыв для человека, если бы взрыв произошел в обратном направлении? Если он начал взрываться сейчас, в этот момент, но продолжился назад, а не вперед? Это было бы схлопывание?»

Роман Филипа Дика 1967 года «Против часовой стрелки» – это, пожалуй, шедевр описания ужасов обратного времени. Мир Дика когда-то был нашим миром, но затем, как и в рассказе Платона, время внезапно начинает идти назад. Люди, живые до сих пор, изменяют направление своего старения (но все еще думают, ходят и разговаривают в прямом времени), а умершие и похороненные люди оживают и выходят из кладбищ, когда священник произносит «Таинство чудесного перерождения»; все живут обратно в материнское чрево, как в рассказе Платона 1600 годами ранее. Такие образы – мощная штука, но роман ужасно ошибочен на логическом уровне.

Дик ничего не говорит, например, о том, что происходит с кремированными людьми, чей пепел рассеян, и ничего о миссионерах, которых пожарили каннибалы. И он, конечно, не создал целостное описание. Он с удовольствием описывает персонажей, которые извергают еду, когда они «едят», но избегает очевидных (хотя и не деликатных) рассуждений о том, что происходит на другом конце человека. Конечно, сдержанное отношение Дика к этим двум

процессам, которые называются «инкрецией» и «ввержением» в рассказе «Назад, о время» Найта, понятно с точки зрения издателя, и, возможно, мы должны быть действительно благодарны Дику за его сдержанность! Действительно, Патнэм описал человека, живущего в обратном времени, как «вовсе не человека, а человеческое тело, переживающее довольно тошнотворную последовательность физических состояний». Тем не менее для логического ума молчание Дика по этому поводу является тревожным упущением.

Дик заставляет мужчин наклеивать щетинки на усы каждое утро и медленно впитывать их, но я тщетно искал очевидные сцены в ванной комнате, где люди чистили зубы, когда зубная паста появляется на щетке, а затем плавно возвращается в тубик. Очевидно, хотя это никогда не указывалось, во времени обращены только биологические процессы. Дик также любит придумывать новые оскорбления наподобие «ты лошадиная морда» и «ты куча еды». «Еда» – новое универсальное ругательство. Первое время это весело (пока не начинает повторяться), и какое-то время забавно, когда люди говорят «привет» при расставании и «до свидания» при встрече (хотя персонажам, которые постоянно молодеют, нет смысла так говорить). Тот же логический недостаток проявляется и в рассказах о молодении людей, живущих вспять во времени, – «Жертвы времени» (Рао) и «Человек, который никогда не старел» (Лейбер).

Одна вещь, которую часто и с большим эффектом делает нелогичный роман Дика, – это обсуждение теологической стороны обращенного времени. Например, после того как некогда мертвый, ныне воскрешенный персонаж признается, что не помнит ничего из того, что осталось за могилой, ему говорят: «Думаю, это опровергает Бога и загробную жизнь». На что современный Лазарь вполне логично отвечает: «Не более, чем отсутствие предутробных воспоминаний опровергает буддизм». Другой писатель-фантаст также использовал обратное время для вдумчивого изучения религиозной темы. В «Очень медленной машине времени» (Уотсон) мы читаем про Очень Медленную Машину Времени (ОММВ), которая однажды внезапно появляется в Национальной физической лаборатории, к понятному изумлению всех присутствующих. Вскоре становится очевидным, что ОММВ на самом деле движется назад во времени, и ее прибытие в действительности было ее уходом. Это запутанное положение вещей постепенно объясняется по мере развития сюжета, и, насколько я могу судить, все описания Уотсона имеют логический смысл, *если* принять возможность путешествия во времени – по общему признанию, очень большое *если*!

В рассказе Уотсона предвосхищены некоторые из идей Макбита о невозможности коммуникации (вспомните Мижд и Джима); путешественник во времени, сидящий в ОММВ, общается с нашим миром посредством рукописных сообщений с соответствующим временем, отображаемых через окно, прямо как Джим и Мижд. Идея рассказа заключается в том, что молодой человек из 2020 года хочет явиться в 2055 году как Мессия. Чтобы продвинуться вперед на 35 лет, необходимо – согласно предполагаемым «законам путешествия во времени» Уотсона – предварительно переместиться

на столько же лет назад. Эта начальная часть пути напоминает медленное взведение пружины арбалета, выполненное в обратном направлении со скоростью минус одна секунда внешнего времени в секунду внутреннего машинного времени. Отсюда и название ОММВ.

Переход в будущее, с другой стороны, выполняется мгновенно, точно так же, как стрела из арбалета вылетает в цель. Долгое и одинокое подготовительное путешествие в прошлое сводит с ума потенциального святого, однако это происходит в обратном порядке, так что при его первом появлении в лаборатории (что на самом деле является моментом отъезда, поэтому путешественник во времени оказался в машине), после 35 лет одиночества, внешним наблюдателям он кажется безумным. После этого наблюдатели видят, что он постепенно становится менее сумасшедшим (не ради придрки, но замечу, что путешественник движется *назад* во времени в течение первой части своего путешествия). Когда эта удивительная история заканчивается, рассказчик задается вопросом о появлении ОММВ в 2055 году: «А что, если восставший из могилы времени Бог тоже будет безумен?»

Другая история, которая столь же аккуратно обращается с логикой, – рассказ «Хронокинез Джонатана Халла» (Бучер). Там нам дается рациональное объяснение всему, что происходит, объяснение, в котором участвует злополучный экспериментатор Джонатан Халл, разрабатывающий машину для достижения ощущения перевернутого времени. Здесь нет ни одного из мертвецов Дика, которые бы оживали и вылезали из сырой могилы, и остальной мир не только движется задом наперед с точки зрения Халла (как и должно быть), но и говорит в обратном направлении. Эта история на самом деле является чрезвычайно гениальным исследованием реальных физических эффектов обращенного времени, включая детали того, как выжить в мире, который движется в противоположном направлении времени.

Кинорежиссерам обратное время кажется слишком странным. Единственный пример, который я знаю в кинематографе, – это старый чехословацкий фильм «Счастливый конец». Фильм начинается с головы в гробу. Когда камера отодвигается, мы видим, что тела нет. Это конец (или начало) жизни человека, который только что был (или будет?) гильотинирован, и остальная часть фильма показывает нам в обратном порядке, почему это произошло. Создатели этой картины, конечно же, не воспринимали свое творение всерьез, используя музыку эпохи Мак-Сеннета в качестве фона. Когда журнал «Тайм» обратил внимание на фильм, остроумный рецензент отметил, что он слишком затянут: «...фильм был бы восхитительным, будь он короче. Слишком много часов тянулись эти 73 минуты».

## 5.2. Многомерное время

Может ли существовать более чем одно направление стрелы времени в каждый момент? Сначала это кажется абсурдной идеей, чем-то похожим на человека, вскакивающего на лошадь и едущего в разных направлениях одно-

временно. Но философы, и в некоторой степени физики, начали серьезно поглядывать на концепцию многомерного времени.

Один физик, например, показал, как (при определенных начальных условиях при Большом взрыве) существует возможное решение уравнений гравитационного поля, дающего осциллирующую вселенную, которая движется назад в момент фазы сжатия. Этот философ утверждал, что направление времени локально, а не глобально (точно так же, как специальная теория относительности представляет скорость времени) и что стрела времени может указывать в разные стороны в разных местах. Какими бы странными ни казались подобные идеи, это всего лишь дальнейшее развитие и обобщение идеи обращенного времени. Эта идея о том, что у стрелы времени может быть много возможных направлений, а не только два. Однако, как и в случае других радикальных концепций, связанных с путешествиями во времени, писатели-фантасты имели дело с многомерным временем задолго до того, как оно стало уважаемой темой в научных философских и физических журналах.

Например, в рассказе «Однажды» Хайнлайна, впервые опубликованном в сентябрьском выпуске *Astounding Science Fiction* 1941 года, мы находим профессора, который задает своим изрядно озадаченным студентам метафизический вопрос: «Почему бы времени не быть еще и пятым измерением, а не только четвертым?» В ответ на общую скептическую реакцию профессор продолжает: «Я верю в существование двумерного времени... Обычно большинство людей думают о времени как о прямом пути, по которому они движутся от рождения до смерти... Думайте об этом пути как о траектории, по которой мы следуем на *поверхности времени*, как об извилистой дорожке [это образ, который дает профессору *два* измерения времени]... Время от времени другая дорожка пересекает ее под прямым углом. Ни ее прошлое, ни ее будущее не имеют никакой связи с миром, который мы знаем». (В этом рассказе есть особенно забавная сцена, когда один из студентов профессора случайно «прыгает по дорожкам времени» и встает на новую дорожку со своей стрелой времени, указывающей назад.)

Годом ранее в том же журнале был опубликован еще рассказ Найта «Бомбардировка наоборот», который вышел далеко за рамки двух временных измерений. Нам рассказывают о двух странах на чужой планете, воюющих в далеком будущем. Война зашла в тупик до тех пор, пока одна сторона не начала стрелять по своему врагу всего в двух милях от цели в центре вражеской территории – и с середины следующей недели! Снаряды работают, как настоящие «бомбы замедленного действия». Однако это не обычное путешествие во времени по своей временной дорожке, а многомерный эффект. Используя фотографию пушки во время работы, чтобы подтвердить свое удивительное открытие, агент обстреливаемой стороны сообщает своему командиру, что «пушка и персонал существуют вдоль другой оси времени под прямым углом к направлению нашего «обычного времени», так что, с нашей точки зрения, они существуют вечно в одном мгновении».

Это объясняет, почему бригада орудий может (будет?) действовать без помех в будущем на следующей неделе, поскольку они находятся во времени своего противника только на тот неуловимый момент, когда эти два временных пути пересекаются. Шпион использовал ту же самую уловку, чтобы тайно получить свою фотографию: «Я расположил фотоаппарат по направлению еще одной оси времени под прямым углом к оси орудия и приблизился к ней как мгновенная, невидимая сущность». В конце рассказа обе стороны используют этот прием, уклоняясь друг от друга «туда-сюда во все возрастающей сложности взаимно перпендикулярных временных осей». Фактически они добираются до 75 временных осей, поэтому двумерное время Хайнлайна выглядит сравнительно скудным.

Разумеется, 75 направлений времени – это научная фантастика, и физики не так очарованы многомерным временем, как писатели-фантасты. Например, Эддингтон давно написал, что он считает идею двумерного времени «не укладывающейся в голове». Зато Дорлинг подошел к этой идее более серьезно. Он показал, что экстремальное свойство времени-подобной геометрии (см. раздел 3.10) не работает для многомерного времени, которое он затем связывает со стабильностью материи. Кроме того, он устанавливает связь между многомерным временем и провалом причинности. С другой стороны, некоторые физики, например Ишэм, писали о вероятности того, что окончательная теория квантовой гравитации поддерживает наличие множественных временных измерений. Это может произойти, если топология пространства-времени с размерами, меньшими, чем длина Планка, изменится с гладкого, по существу плоского внешнего вида, присущего макроскопическому пространству, на так называемую «квантовую пену» (см. раздел 6.3). Однако, рассуждая о последствиях двумерного времени, Ишэм вторит Эддингтону: «Физика в пространстве-времени ... двух временных измерений действительно была бы очень странной...» Вероятно, большинство физиков в наши дни именно так и думают о многомерном времени.

С ними соглашается современный философ Зейликович, называющий идею о многомерном времени «довольно дикой возможностью», а затем «сказкой». Но не все философы столь скучны, и многие на самом деле очарованы возможностями многомерного времени. Почему их интересуют вещи, которые разительно отличаются от всего, что мы на самом деле испытываем? Что ими движет? Какая польза от многомерного времени? Я думаю, что ответ заключается в том, что многомерное время согласуется с теоретической моделью, на которую опираются философы, утверждающие, что прошлое можно изменить.

Конечно, в определенном тривиальном смысле прошлое всегда меняется. Для каждого из нас прошлое – это набор всех произошедших событий, выстроенных в порядке до/после, и этот набор непрерывно увеличивается, то есть изменяется. Однако большинство людей подразумевают под из-

менчивым прошлым совсем другое. На самом деле они думают, что можно изменить порядок событий, добавить событие, которого не было, или удалить событие, которое было. Двумерное время предлагает возможности, которые недоступны одномерному времени. Чтобы увидеть, как это работает, давайте завершим главу беглым знакомством с идеей Мейланда, который аргументированно утверждал, что разговоры об изменении прошлого не лишены смысла.

Мейланд понимал, что некоторые могут счесть его модель надуманной, даже «невероятно странной» (по его собственным словам), но он оправдывал свои усилия, предлагая свежий не юмианский взгляд на то, что он считает правильной реакцией на встречу с людьми, именующими себя путешественниками во времени: «Если бы появились необычные машины со странными людьми в футуристических одеждах, говорящими на странных языках (или, возможно, использующими телепатию вместо речи) и уверяющими, что они из будущего, мы наверняка начали бы искать теорию времени, которая объясняет их заявления». На рис. 5.2 показано, как Мейланд попытался найти такое объяснение. Пунктирная диагональная линия, отмеченная точками  $t_1, t_2, \dots$ , представляет наше обычное одномерное изображение времени. Горизонтальные линии  $P_1t_1, P_2t_2, \dots$  (которые мы можем для краткости назвать  $P_1, P_2, \dots$ ) – это прошлое для моментов настоящего  $t_1, t_2, \dots$ . То есть  $P_1$  – это прошлое относительно настоящего  $t_1$ ,  $P_2$  – это прошлое относительно настоящего  $t_2$  и так далее. Пунктирные вертикальные линии позволяют нам найти любой момент в прошлом. Например, точка пересечения  $A$  линии  $P_4$  с линией  $Pt_1$  является местоположением  $t_1$  в прошлом относительно настоящего  $t_4$ .

С помощью этой модели Мейланд детально исследует несколько интересных особых случаев. Предположим, что  $t_1$  и  $t_2$  разнесены на один год и что существуют одинаковые интервалы времени между всеми соседними моментами, отмеченными на этой диагонали. Предположим далее, что путешественник во времени из момента  $t_4$  отправляется назад на три года к  $t_1$ ; затем он прибудет в точку  $A$ . Предположим, он остается в прошлом два года – тогда его местоположения во времени лежат вдоль пунктирной диагональной линии  $ABC$ ; то есть в точке  $B$  он три года в прошлом относительно  $t_5$ , а в точке  $C$  он на три года в прошлом относительно  $t_6$ . Таким образом, глядя на диаграмму, мы можем представить, как путешественник во времени садится в свою машину времени в момент  $t_4$ : «Через год относительно *сейчас* я буду на расстоянии двух лет от *сейчас*». Это довольно удивительное утверждение имеет смысл, когда мы присмотримся к диаграмме и увидим, что  $B$  (один год от  $A$ ) – это два года в прошлом по отношению к  $t_4$ . Противник путешествий во времени Уильямс объясняет свое неприятие абсурдностью (по его мнению) подобных заявлений. Одной из общепризнанных причин, по которым Мейланд разработал свою двумерную модель времени, была возможность ответить Уильямсу.



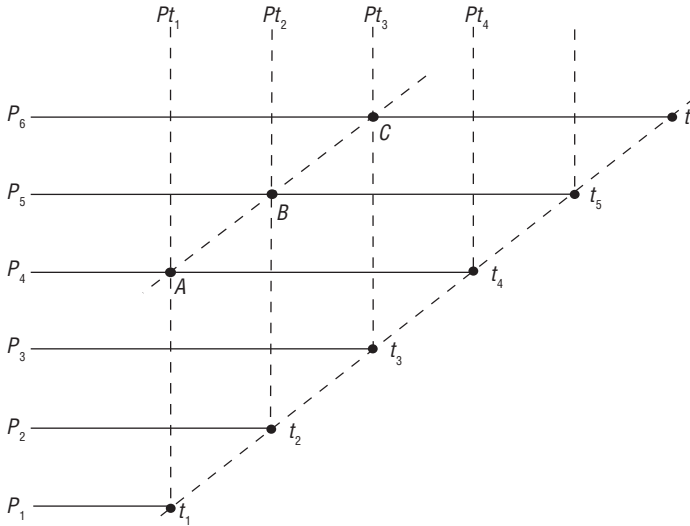


Рис. 5.2. Многомерное время в модели Мейланда

В качестве последнего примера применения своей модели Мейланд кратко поясняет, как она помогает покончить с парадоксом дедушки. Он не «объясняет» парадокс, а утверждает, что парадокса просто не существует. Возьмите крайний случай этого парадокса, самоубийство в путешествии во времени: в момент времени  $t_4$  путешественник во времени отправляется на три года назад к точке  $A$ , убивает свое младшее «я», а затем продвигается вперед на три года после момента  $t_4$ . На диагональной линии времени путешественник исчезает в момент времени  $t_4$ , а затем почти сразу же появляется снова. В прошлом человек исчезает в точке  $A$ . Однако одномерный парадокс не возникает, потому что путешественник посетил не  $t_1$ , а локацию  $t_1$  в точке  $A$  в прошлом из  $t_4$ ; существование путешественника вдоль сплошной диагональной линии времени не прерывается, кроме как на время его очень короткого путешествия в прошлое.

Модель времени Мейланда бесспорно выглядит привлекательно, но, насколько я знаю, не имеет никакого теоретического обоснования. Нет никакой необходимости привлекать двумерное время, чтобы объяснить «странные машины, доставляющие людей в футуристической одежде» из будущего; это можно сделать с одномерным временем в четырехмерном пространстве-времени. Парадоксы дедушки и самоубийства тоже разрешимы без двумерного времени.

### 5.3. Уравнения Максвелла и опережающие эффекты

Каждый физик и инженер-электрик знает, что математическое описание электромагнитного поля дано в уравнениях Максвелла. В частности, ра-

диоинженеры знают, что волны энергии, которые их антенны излучают в космос, следуют предсказаниям этих уравнений с удивительной точностью. Когда Эйнштейн завершил работу над теорией относительности, выяснилось, что уравнения Максвелла автоматически удовлетворяют относительности, потому что магнитные эффекты являются релятивистскими эффектами; другими словами, относительность встроена в уравнения Максвелла. Хотя в законы динамики Ньютона пришлось внести изменения, уравнения Максвелла не были затронуты открытием специальной теории относительности (о некоторых нюансах сказано в конце примечания 39).

Каково же было удивление физиков, когда они обнаружили, что тщательное изучение, казалось бы, совершенных уравнений Максвелла применительно к антеннам, по-видимому, приводит к предсказанию нарушения причинности. По сути, уравнения Максвелла допускают два решения. Одно, как и ожидалось, содержит функцию задержки; то есть создание электромагнитного возмущения в антенне *сейчас* вызывает обнаруживаемый эффект в отдаленной точке пространства *потом*. Это так называемое *запаздывающее решение*, и его разумная физическая интерпретация заключается в том, что волны энергии уходят от антенны и при этом движутся в будущее. Шок состоял в том, что уравнения Максвелла также допускают *опережающее решение*: волны энергии, *прибывающие* на антенну из бесконечного пространства.

Пол Ренно Хейл опубликовал, пожалуй, самое раннее научное исследование, в котором рассмотрены опережающие эффекты, в своей докторской диссертации 1897 года в Пенсильванском университете с провокационным названием «Теория света в гипотезе четвертого измерения». Хейл сослался на гуру четвертого измерения Хинтона как на вдохновителя этой работы. Ситуация, описанная Хейлом, напоминает ситуацию, когда ребенок стоит на краю пруда. Он бросает камень в середину пруда и смотрит, как рябь разбегается от места падения камня. Внезапно он видит, что рябь появляется по всему краю пруда, а затем волны движутся внутрь к центру – где они сходятся в одной точке. Всплеск воды вырывается с поверхности пруда при столкновении движущихся обратно волн, а затем оттуда вылетает камень, чтобы приземлиться обратно в руку. Конечно же, ребенок замирает с открытым от изумления ртом! Что за абсурд, подумаете вы, читая эти строки, и кто вас в этом упрекнет? Только не я!

Занимаясь математикой волнового движения в четвертом измерении, Хейл писал: «Мы пришли к любопытному выводу, что в эфире Хинтона природа центрального возмущения *после* определенного момента может влиять на форму эфира *до* этого момента. Другими словами, эфир, похоже, наделен сверхъестественной способностью предвидения». Мы можем избежать такого нелогичного следствия опережающих эффектов, но только ценой того, что многие физики и философы считают одинаково непри-

емлемым, – информацией, распространяющейся из будущего в прошлое. Мы все еще можем думать об опережающем решении как о представлении электромагнитных волн, распространяющихся *вдаль* от передающей антенны, то есть как о вещании наподобие запаздывающего решения, а не как о приеме, *если* мы также согласимся с тем, что волны распространяются назад во времени.

Таким образом, опережающее решение уравнений Максвелла дает возможность отправлять сообщения в прошлое, своего рода путешествие во времени для бедняков. Однако может показаться, что мы просто обменяли одну проблему на другую, потому что даже простая отправка *информации* в прошлое может вызвать многие из тех же парадоксальных, разрушающих причинность ситуаций, которые, как утверждается, вызывают физические путешествия во времени. Еще до начала столетия самопровозглашенный человек-проблема викторианской литературы и науки Сэмюэль Батлер (1835–1902) догадывался, какую суматоху могут вызывать такие передачи в прошлое. В разделе «Воображаемые миры» в «Записках Сэмюэля Батлера» он писал: «Общение с миром, точно, до мельчайших деталей копирующим наш собственный, но на двадцать тысяч лет впереди нас, может разрушить человеческую расу так же эффективно, как если бы мы упали на солнце».

Известные космологи Хойл и Нарликар разделяют мнение Батлера о том, что обратное общение сквозь время может вызвать проблемы. Что касается уравнений Максвелла, они написали в своей книге 1974 года «Действия на расстоянии в физике и космологии», что «эти уравнения дают нам как опережающие, так и запаздывающие решения (и, в силу их линейности, любую их линейную комбинацию) ... теоретически возможно множество решений, почему природа всегда выбирает запаздывающее? То, что на этот вопрос нельзя ответить в рамках теории Максвелла, следует рассматривать как одну из ее внутренних слабостей».

Я думаю, что Хойл и Нарликар называли теорию Максвелла имеющей «внутреннюю слабость» из-за ее предсказания опережающего решения, что было необоснованным. На самом деле Швобель (1970) и Стивенсон (1978) показали, что опережающее решение может иметь совершенно разумную физическую интерпретацию в контексте теории Максвелла. Стивенсон, в частности, описывает передающую антенну, посылающую электромагнитные волны на идентичную приемную антенну. В любой точке пространства между двумя антеннами имеются электрические и магнитные поля. Уравнения Максвелла позволяют нам рассчитывать поля, создаваемые переменными токами в двух антеннах. Когда мы проводим анализ взаимосвязи между током передающей антенны и полями, мы используем запаздывающее решение, потому что ток является причиной, а поля – следствием. Но при анализе взаимосвязи между полями и током приемной антенны ситуация меняется на противоположную, и поля являются причиной, а ток – следствием. То есть опережающее решение – это просто математика, связывающая ток в приемной антенне *сейчас* с полями *в прошлом*.

На то, чтобы смириться с существованием двух решений уравнений Максвелла в физической литературе, ушло три четверти века. Как писал физик из Йельского университета Лей Пейдж в 1924 году, «хотя опережающие потенциалы, а также запаздывающие потенциалы удовлетворяют электромагнитным уравнениям, первые, как правило, отбрасываются по той причине, что научный здравый смысл склонен утверждать, что настоящее определяется прошлым ходом событий, а не будущим. Однако если принято считать, что текущее состояние однозначно определяется любым прошлым состоянием, из этого следует, что будущее тоже определяется подобным образом, и, следовательно, использование будущего состояния, равно как и прошлого состояния, при определении текущего состояния не приводит к отклонению от наших привычных методов описания...». И действительно, сам Хойл говорил, что он изменил свое мнение об опережающих полевых эффектах.

Однако по-прежнему остается искушение отклонить опережающее решение как простую аномалию математики – отказаться от него по физическим соображениям. Это традиционный подход, применяемый физиками, когда они сталкиваются с непричинными решениями в любой физической теории, и именно так поступил швейцарский физик Вальтер Ритц с опережающим решением уравнений Максвелла. Этот подход вовлек Ритца в его последний год жизни в спор с Эйнштейном. Ритц отказался воспринимать всерьез перемену мест причины и следствия. И отношение Ритца понятно; используя его подход, мы могли бы просто навязать уравнениям Максвелла причинно-следственную связь, условие, которое они явно не содержат, априори отвергая все опережающие решения.

Разумеется, инженеры-электрики все время применяют подобный подход, например когда решение квадратного уравнения для пассивного (рассеивающего энергию) резистора дает как положительное значение (которое «имеет смысл»), так и отрицательное значение, которое «не имеет смысла» и поэтому просто игнорируется. Полвека назад, однако, выдающийся физик Джулиус Адамс Страттон повторил предупреждение Ли Пейджа против соблазна применять такой подход без тщательного рассмотрения. Он писал о вызывающем беспокойство опережающем решении: «Таким образом, знакомая цепочка причин и следствий перевернута, и это альтернативное решение может быть отброшено как логически невысказанное. Однако применение «логических» принципов причинности предлагает очень небезопасную основу в таких вопросах, и мы сделаем все возможное, чтобы ограничить теорию Максвелла отстающими действиями исключительно на том основании, что только это единственное решение соответствует *нынешним* [мой курсив – П. Н.] данным». А в известной статье, которую мы обсудим позже в этой главе, Уилер и Фейнман заявили: «Мы пришли к заключению, что опережающие и запаздывающие взаимодействия дают описание природы, логически столь же приемлемое и физически столь же детерминированное, как ньютоновская схема механики. В обеих фор-

мах динамики различие между причиной и следствием не имеет смысла. С помощью детерминистических уравнений для описания события можно одинаково справедливо сказать: камень падает на землю, потому что он упал с высоты; или же: камень упал с высоты, потому что он собирался упасть на землю». Для Уилера и Фейнмана устранение причин и следствий, присущих обратной причинности и путешествию во времени в прошлое, не представляло концептуальных трудностей.

Отказ от обращения к причинности или «странности» опережающих волн в обосновании естественности запаздывающего решения уравнений Максвелла впервые встречается у Айхельбурга и Бейге. Единственным вспомогательным условием, применяемым к уравнениям, было просто требование конечной начальной энергии поля. И действительно, до сегодняшнего дня нет экспериментальных доказательств физической реальности опережающего решения. Время от времени встречаются рассуждения о том, что опережающие волны чего-то, идущего назад к нам из будущего, могут объяснить так называемый талант предвидения, но это лишь умо-зрительные упражнения.

Еще до Уилера и Фейнмана опережающие волны обсуждались в научной фантастике. Например, одна история, в которой напрямую упоминается опережающее решение уравнений Максвелла, – это рассказ Пирса «Предвидение», в котором прибор, использующий то, что автор назвал «ожидаемыми потенциалами», может показывать ближайшее будущее на экране наподобие телевизионного. (Автор с гордостью перечислил свои академические достижения, включая степень магистра, и на тот момент Джон Пирс был аспирантом в области электротехники в Калифорнийском технологическом институте. Он получил докторскую степень всего через несколько месяцев после публикации рассказа, а затем сделал отличную карьеру в Bell Telephone Laboratories и в Лаборатории реактивного движения NASA. Пирс, конечно же, знал все об уравнениях Максвелла и даже открыл свой рассказ цитатой из статьи Пейджа об опережающем решении. Много ли вы знаете фантастических произведений, включающих в себя цитаты из *The Physical Review*?)

И наверняка нам не обойтись без чего-то наподобие опережающих волн, чтобы объяснить забавные вещи в «Анахронической оптике» Шере, истории о человеке из попавшей в аварию машины времени. Почти все его тело оказалось на четыре года в будущем – но только *почти* все, потому что его глаза остаются в настоящем! Как говорит один из озадаченных наблюдателей этого невероятного события: «Странно, что его глаза могут передать сообщение его мозгу через четыре года, и его мозг велит глазным мышцам двигать глазами яблоками, которые отстают от мозга на четыре года». Эта идея о раздельном существовании тела и разума в двух разных временах позднее была использована Филиппом Диком в его мощном политическом романе 1956 года, замаскированном под научную фантастику, «Мир, который построил Джонс». Роман рассказывает

нам о пророке, который может заглянуть в будущее на год вперед. Как он говорит: «Для меня это прошлое». Позже нам поясняют: «Он был человеком с глазами в настоящем (будущее нашего мира) и телом в прошлом (настоящее нашего мира)». Интересно, знал ли Дик об опережающих волнах в теории Максвелла?

### 5.4. Парадокс Уилера–Фейнмана

В 1941 году на встрече Американского физического общества физик Принстонского университета Джон Уилер и его ученик Ричард Фейнман обсудили, казалось бы, возмутительную идею, которая дала возможную подсказку о том, как может функционировать радио Дирака. Идея заключалась в том, что опережающие волновые решения уравнений Максвелла представляют собой не просто математические курьезы, а наоборот, имеют глубокое физическое значение. В то время их выступление заслужило лишь небольшую тематическую заметку в журнале *Physical Review*, но после Второй мировой войны они описали все это в замечательной статье.

Их основной целью было объяснение происхождения противодействующей силы излучения, о которой говорил Лоренц в начале века. Эта противодействующая сила является причиной потери энергии, вызванной ускорением заряженной частицы. Лоренц, который считал, что заряженные частицы имеют конечный размер, приписал эту силу запаздывающей (на время, необходимое свету для пересечения ширины заряженной частицы) кулоновской силе отталкивания одной стороны заряженной частицы от противоположной стороны. Этот подход, однако, приводит к различным концептуальным и математическим проблемам, включая неопределенность предположения о том, как заряд распределяется по конечному объему и через него, а также к проблемам бесконечных самовзаимодействий и вопросу о том, что удерживает заряд от разрывания самого себя по причине внутреннего кулоновского отталкивания.

Теория Уилера и Фейнмана, с другой стороны, избежала этих проблем, постулируя точечные заряды, потому что точечные заряды не могут отталкиваться. Но откуда возникает сила противодействия, если нет отталкивания? Их революционное объяснение состояло в том, чтобы сначала представить ускоренный точечный заряд как замедленное излучение наружу, которое в конечном итоге будет поглощено удаленной материей. Эта отдаленная материя, которая сама состоит из точечных зарядов, ускоряемых принимаемым излучением, затем излучает *назад во времени*, возвращая излучение к первоначальному заряду, который запустил цепь событий. Это обратное во времени, или *опережающее*, излучение приходит в прошлое от первоначального заряда и является причиной наблюдаемой противодействующей силы. Фактически Уилер и Фейнман предположили, что ускоренный заряд не будет излучать, если не произойдет поглощения в каком-то другом отдаленном месте и в будущем времени.

*Будущее* поведение удаленного поглотителя определяет прошедшее событие излучения; не существует такой вещи, как просто излучение в пустое пространство. Вся пространственная и временная вселенная – это очень «связанное» место!

Удивительно, что этот не причинный взгляд на пространство-время существовал в физике как минимум за двадцать лет до выступления Уилера и Фейнмана. Они независимо разработали свои взгляды, но после их выступления в 1941 году Эйнштейн (который, возможно, вспомнил свои дебаты 1909 года об опережающих эффектах с Ритцем) разыскал статью Уго Тетроде 1922 года. В этой статье Тетроде писал, что «Солнце не излучало бы, если бы оно было единственным телом в космосе, и никакие другие тела не могли бы поглотить его излучение... Если, например, вчера вечером я наблюдал через свой телескоп звезду, расположенную на расстоянии 100 световых лет, то не только я знал, что свет, который достиг моего глаза, был испущен 100 лет назад, но также звезда или отдельные ее атомы знали 100 лет назад, что я, которого тогда даже не существовало, увижу его вчера вечером в то самое время». Разумеется, это совершенно не очевидно! Как Беренд написал в учебнике, изданном всего через два года после публикации Уилера и Фейнмана в 1945 году: «Любая физическая теория, которая всерьез предполагает, что события в будущем могут быть эффективной причиной событий в прошлом, может рассматриваться – по крайней мере, на первый взгляд – как довольно революционная доктрина». Конечно!

Чтобы убедиться, что вы хорошо поняли «доктрину», позвольте мне повторить то, что имели в виду Тетроде, а затем Уилер и Фейнман. Представьте, что у нас есть электрический заряд, который мы механически встряхиваем, то есть ускоряем. Это позволяет нам определить причину ускорения заряда, что, конечно, создает излучение. Это излучение распространяется наружу в космос в виде наблюдаемых отстающих полей, пока они в конечном итоге не будут поглощены удаленной материей. Заряды в этом далеком веществе, таким образом, ускоряются, и поэтому они излучают. По словам Уилера и Фейнмана, это индуцированное излучение снова состоит из запаздывающих и опережающих полей. Опережающие поля излучаются вовне, но *назад во времени* к первоначальному заряду, коллапсируя на нем в тот самый момент, когда мы произвели ускорение, и создавая тем самым противодействующую силу. В любой момент времени в любой точке пространства наблюдаемое поле представляет собой сумму запаздывающего поля, уходящего от источника в будущее, и опережающего поля, перемещающегося к источнику в прошлом.

Но, как утверждали Уилер и Фейнман, есть еще одна последняя точка, которая оставалась за кадром, – это также опережающее поле (уходящее от источника и назад во времени) из-за первоначального механического ускорения заряда источника. Эквивалентно, поле, перемещающееся *вперед* во времени, придет к источнику, потому что мы *будем* ускорять его. Уилер и Фейнман показали, что перед механическим ускорением, которое запус-

кает весь этот процесс, опережающее поле излучения источника и опережающие поля излучения поглотителей точно компенсируют друг друга в каждой точке пространства и в каждый момент времени (если происходит полное поглощение в будущем), что объясняет экспериментальный факт нулевого поля до того, как происходит ускорение.

Уилер и Фейнман показали, что если мы примем эти идеи, то все, что мы на самом деле наблюдаем, предсказуемо: противодействие излучения, направление электромагнитной стрелки от прошлого к будущему (только запаздывающие эффекты) и отсутствие бесконечных самовзаимодействий. То есть мы получим эти награды, если смиримся с обратным путешествием во времени – шаг слишком большой для многих ученых как в 1945 году, так и сегодня. Многим физикам трудно принять эту формулировку взаимодействия частиц, поскольку она приводит к очевидным парадоксам. По той же причине более ранние работы Тетроде также остались практически незамеченными в течение двух десятилетий, предшествовавших Уилеру и Фейнману.

Тетроде публиковался в немецком журнале, но идеи Уилера и Фейнмана были ожидаемы даже в Америке. Еще в 1926 году Г. Н. Льюис заявил, что он «собирается сделать ... предположение, что атом никогда не испускает свет, если нет другого атома, и намерен утверждать, что столь же абсурдно думать о свете, испускаемом одним атомом, в отсутствие поглощающего атома, как если бы вы думали об атоме, поглощающем свет в отсутствие излучателя света». Уилер и Фейнман знали о работах Льюиса к 1945 году (но нет никаких доказательств того, что Льюис когда-либо знал о Тетроде). Конечно, Уилер и Фейнман были заинтригованы парадоксом Льюиса: «Я не буду пытаться скрыть конфликт между этими взглядами и здравым смыслом. Свет, исходящий от далекой звезды, поглощается, скажем, молекулой хлорофилла, которая недавно образовалась в живом растении. Мы говорим, что свет от звезды направлялся к нам тысячу лет назад. Какая связь может быть между источником излучения и этой новой молекулой хлорофилла?»

Парадокс возникает, когда мы задаем вопрос, что произойдет, если в какое-то промежуточное время и в определенном месте свет звезды будет заблокирован, что воспрепятствует его поглощению хлорофиллом. Повлияет ли невозможность взглянуть на звезду *сейчас* на излучение звезды в *прошлом*? Льюис явно подразумевал обратную причинно-следственную связь, когда излагал свой парадокс. Его следующие слова показывают, что он предвидел вероятную реакцию своих читателей: «Такая идея отвратительна для всех наших представлений о причинности и временной последовательности». Как и работа Тетроде, идеи Льюиса намного опередили время.

Удивительные загадки Тетроде и Льюиса на самом деле противны не всем. Фактически подобные загадки были источником вдохновения для Уилера и Фейнмана и почти наверняка побудили их создать свой собствен-



ный знаменитый парадокс, который они представили в статье 1949 года. Они начали изложение своего парадокса следующим образом: «Если на текущее движение  $a$  влияет будущее движение  $b$ , то наблюдение  $a$  придает определенную неизбежность движению  $b$ . Разве этот вывод не противоречит нашей осознанной способности влиять на будущее движение  $b$ ?» Здесь снова возникает конфликт между свободной волей и детерминизмом, и чтобы обойти это чисто человеческое беспокойство, Уилер и Фейнман построили «парадоксальную машину», которая работает полностью автоматически и которая в последующих публикациях стала забавно называться «логически ущербным самовыключателем»!

В своем описании парадоксальной машины Уилер и Фейнман просят нас представить две заряженные частицы,  $a$  и  $b$ , расположенные на расстоянии пяти световых часов друг от друга. Как показано на рис. 5.2, частица  $a$  прикреплена к рычагу поворотного затвора, к которому с изначально большого расстояния движется шарик. Теперь, как правило, мы думаем о том, что будет дальше в терминах только запаздывающих полей. То есть шарик попадает в рычаг, сбивает его с места и тем самым ускоряет заряд  $a$ ; это ускорение заряда  $a$  создает поле запаздывающего излучения, которое достигает заряда  $b$  через пять часов и тем самым ускоряет заряд  $b$ ; это ускорение заряда  $b$  создает запаздывающее поле излучения, которое возвращается на заряд через пять часов (через десять часов после того, как шарик ударил по рычагу).

Однако Уилер и Фейнман, как я уже говорил ранее, утверждают, что это описание не учитывает половину истории – *опережающие* поля. В частности, предположим, что шарик ударит по рычагу и ускорит заряд  $a$  в 6 часов вечера. Тогда заряд  $b$  испытает воздействие не только через пять часов, в 11 вечера, но также *раньше*, в 1 час. Это опережающее ускорение  $b$ , в свою очередь, отправляет опережающее поле, которое достигает  $a$  в 8 часов утра. Теперь можно легко увидеть парадокс. Когда Уилер и Фейнман описывали события, мы видели, что заряд  $a$  испытал воздействие-предтечу в 8 часов утра. Увидев это движение утром, мы заключаем, что шарик *ударит* по рычагу вечером. Затем мы можем вернуться к машине за несколько секунд до 6 вечера и заблокировать действие шарика на заряд  $a$ , – эту задачу автоматически выполняет затвор в машине Уилера и Фейнмана. Но тогда мы сталкиваемся с загадкой объяснения, почему заряд  $a$  испытал ускорение утром.

Уилер и Фейнман утверждали, что они решили свой парадокс, наблюдая, что прерывающие силы (в более общем смысле, *сигналы*) никогда не встречаются в природе. Они пришли к выводу, что затвор не полностью блокирует шарик, а скорее подвергается «скользящему удару». То есть очень слабый опережающий сигнал принимается зарядом  $a$ , который перемещает затвор ровно настолько, чтобы вызвать «скользящий удар», и именно это частичное взаимодействие приводит к ослаблению сигнала «на первом месте». Это то же самое объяснение, которое было вновь открыто десятилетия спустя,

чтобы разрешить похожие парадоксы, включающие в себя самовзаимодействующие бильярдные шары, проходящие через машины времени в виде червоточины, – см. раздел 6.3.

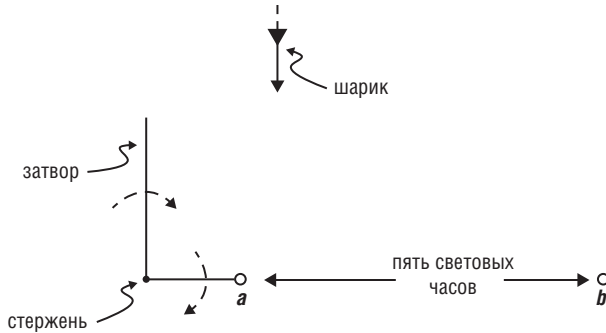


Рис. 5.2. Парадоксальная машина Уилера и Фейнмана

## 5.5. Теория поглощения и сигнал в прошлом

Аргумент Уилера и Фейнмана логически и физически обоснован; это просто раннее изложение принципа самосогласованности. Тем не менее удивительно, что лишь немногие физики бросили вызов Уилеру и Фейнману. Однако за физиков это сделала философ Мэри Хессе, и я думаю, что ее выкладки являются правильными, так как она делает вывод, что «с точки зрения классической физики у этого парадокса нет решения», хотя Хессе и говорит о решении с точки зрения квантовой механики. Много лет спустя Фейнман написал в своей автобиографической книге «Конечно, вы шутите, мистер Фейнман», что однажды он и Уилер подумали, что не составит труда разработать квантовую версию их теории. Но сначала потерпел неудачу Уилер, а затем Фейнман долго пробовал свои силы и заявил: «Я тоже никогда не решил эту задачу – не создал квантовую теорию полуопережающих-полузапаздывающих потенциалов, – хоть я работал над ней годами». Их парадокс (если это действительно парадокс; если опережающие поля на самом деле не существуют, то и проблемы нет) остается неразрешенным.

Годы спустя Уилер сам подвел итоги, когда написал: «Взаимосвязи движутся вперед и назад во времени в таких количествах, что получается невероятный лабиринт. Переплетение прошлого и будущего выглядит противоречащим любой нормальной идее причинности. Однако когда количество частиц достаточно велико, чтобы полностью поглотить сигнал, исходящий из любого источника, эта бесчисленная совокупность парных взаимодействий приводит к простому результату: знакомые запаздывающие действия повседневного опыта плюс знакомая противодействующая сила излучения с ее знакомым знаком».

Верен ли взгляд Уилера и Фейнмана на природу? Некоторые физики просто предположили, что опережающее поле действительно существует, и исследовали, где это предположение может быть уместным. Например, в работе Шилда показано, что релятивистское движение двух точечных зарядов (на концентрических круговых орбитах в одной плоскости), взаимодействующих через симметричные по времени поля, согласуется с неподвижными (т. е. периодическими) решениями. А у Драйвера одномерное движение вдоль бесконечной оси  $x$  двух точечных зарядов, взаимодействующих через симметричные по времени поля, показано уникальным *при условии*, что заряды изначально «достаточно далеко», при этом «достаточно далеко» не должно быть на самом деле очень далеко: порядка 4600 классических электронных радиусов. Как правильно заметил Драйвер, таким симметричным по времени взаимодействиям уделяется мало внимания.

Можем ли мы использовать опережающие волны для отправки сигналов в прошлое? Райт довольно убедительно (пусть не всегда последовательно) утверждает, что это возможно. Или, если для этого требуются некоторые еще не разработанные технологические прорывы в передатчиках и если проще конструировать приемники, можем ли мы по крайней мере прислушиваться к будущему (поскольку мы являемся прошлым будущего)? И если бы мы смогли это сделать, может ли будущее прислать нам подробности о прорывной конструкции передатчика (таким образом создавая причинно-следственную информационную петлю во времени)?

Джон Крамер из Вашингтонского университета предложил интересную принципиальную идею того, как использовать такие сигналы, хотя он сохраняет консервативный скептицизм в отношении опережающих полей, учитывая отсутствие каких-либо экспериментальных доказательств. Отмечая, что для запаздывающих волн существует приблизительно 2,5-секундная задержка при передаче радиолокационного сигнала на Луну и последующем получении эха, Крамер распространяет это наблюдение на опережающие волны; эхо для случая опережающей волны будет получено за 2,5 секунды до передачи. Используя множественные отражения опережающей волны между Землей и Луной, можно в принципе продлить эхо так далеко в прошлое, как хотелось бы. Трудно сказать, хорошо ли это с точки зрения Крамера, который написал, вопреки аргументам, представленным ранее в этой главе, что «если бы опережающие волны [можно было бы использовать], то наша власть над реальностью стала бы менее надежной. Прошлое никогда не могло бы быть зафиксировано окончательно, потому что любой обладатель подходящего оборудования мог бы отправлять сообщения в прошлое и изменять то, что уже произошло». Эта точка зрения, конечно, не является точкой зрения, которую я выразил ранее в данной главе, и не является точкой зрения большинства физиков и философов, которые считают, что на прошлое можно повлиять, но нельзя изменить.

Предложение о проведении экспериментальной проверки теории поглощения было выдвинуто Льюисом еще до работы Уилера и Фейнмана –

предложение, которое вдохновило Толмена и Смита на быстрое (но сочувственное) опровержение. Первой попыткой поиска опережающих волн, похоже, был эксперимент, описанный Партриджем в 1973 году. Недостатки в этом процессе поиска год спустя побудили Херона и Пегга предложить эксперимент, разработанный для обнаружения опережающих волн (если они существуют). Как эти два автора написали с большим преуменьшением, захватывающая возможность положительного результата «имела бы такие далеко идущие последствия для наших представлений об односторонности времени и причинности, что ... эксперимент оправдывает любые усилия, даже если в течение многих лет не будет получен окончательный результат».

Все поиски опережающих волн до сих пор дали отрицательные результаты, и мир все еще ждет первую радиостанцию Дирака. Тем не менее ученые предпринимают попытки обосновать умозрительное объяснение Уилера и Фейнмана с помощью исследования различных парадоксов, вызванных отправкой сообщений в прошлое через гипотетические частицы, называемые тахионами, или при помощи самовзаимодействующих бильярдных шаров, путешествующих во времени через червоточину, описанную в разделе 6.3. Новиков заменил бильярдные шары зарядами взрывчатки – идея, которая дает нам уникальную «бомбу замедленного действия»!

На протяжении долгих лет взгляд Уилера и Фейнмана на устройство мира также служил объектом многочисленных теоретических возражений. Хогарт, например, справедливо упрекал, что Уилер и Фейнман предположили статическое, симметричное по времени пространство-время для Вселенной, в котором свойства всех прошлых и будущих поглотителей идентичны. Это явно не так в расширяющейся (или сжимающейся) вселенной, и, как писал Хогарт, «современная космология не уместается в статическую вселенную». Еще одна претензия Хогарта состоит в том, что Уилер и Фейнман взяли симметричную по времени теорию наполовину отстающих, наполовину опережающих волн в симметричной по времени вселенной и пришли к несимметричному по времени решению! Как удачно выразился Прайс, Уилер и Фейнман «вытащили асимметричного кролика из симметричной шляпы». Они выполнили этот трюк, предположив, что хотя вселенная статична, она возникла с асимметричными начальными условиями низкой энтропии. Таким образом, для Уилера и Фейнмана односторонняя термодинамическая стрела времени является первичным указателем, а электромагнитная стрела – ее следствием. (Каким образом возникло начальное космологическое условие с низкой энтропией, осталось без объяснений.) Этот порядок приоритетов стрел времени совпадает с позицией, занятой Эйнштейном в его дебатах в 1909 году с Ритцем, а также позицией, которую занимал Стивен Хокинг.

Много лет спустя Уилер снова объяснил свою и Фейнмана точку зрения: «Частицы поглотителя находятся в состоянии покоя или в случайном движении до ускорения источника. После этого ускорения они соотносятся

с ним по скорости. Таким образом, излучение и противодействие излучения понимаются не с точки зрения чистой электродинамики, а с точки зрения статистической механики». Хогарт возражал против этого объяснения, которое он считал ненужным, полагая вместо этого, что расширение нашей фактически нестатической вселенной обеспечило требуемую асимметрию. По мнению Хогарта, именно космологическая стрела является первичной, а электромагнитная стрела – ее следствие.

Уилер и Фейнман показали, что как опережающие, так и запаздывающие решения являются самосогласованными в статической вселенной; Хогарт интересовался тем, будет ли наблюдаемое отстающее решение самосогласованным само по себе в расширяющейся вселенной. Его вывод? Это зависит от свойств расширения! В 1964 году Хойл и Нарликар развили исследование Хогарта и заявили, что только запаздывающее решение является самосогласованным, *если* устойчивое расширение достигается благодаря непрерывному созданию материи. Дело в том, что при наличии только запаздывающих эффектов каждому излучателю необходимо большое количество поглотителей (таких как ионизированный межгалактический газ) в своем световом конусе будущего, чтобы обеспечить полное поглощение. Это, в свою очередь, требует, чтобы плотность вещества не уменьшалась «слишком быстро» с расширением. То есть будущая вселенная не должна быть «слишком прозрачной».

Этот вывод был с энтузиазмом воспринят Хойлом, британским космологом, чье имя издавна ассоциируется с идеей непрерывного создания материи. С тех пор, однако, космологическая теория непрерывного создания материи впала в немилость, потому что всего через год после публикации работы Хойла и Нарликара было открыто космическое микроволновое фоновое излучение. Это излучение считается очень веским доказательством существования Большого взрыва, который начал расширение вселенной, и не менее сильным поводом для отказа от стационарной вселенной. Однако это не для Хойла, который почти фанатично предан космологическим теориям без Большого взрыва и предлагает собственные объяснения микроволнового фонового излучения. В 1998 году Готт и Ли показали, что вселенная с замкнутыми времениподобными кривыми стабильна и самосогласованна, если разрешено только запаздывающее решение.

Однако настоящая загадка Вселенной Большого взрыва заключается в том, что она расширяется из плотного непрозрачного прошлого в менее плотное, все более прозрачное будущее, причем каждый излучатель имеет большое количество поглотителей в своем световом конусе прошлого. Это должно привести, отметили Хойл и Нарликар, к наблюдаемому опережающему решению и, следовательно, к развороту электромагнитной стрелы, которая позволила бы общаться с прошлым. Тот факт, что мы еще не обнаружили, как общаться с прошлым, может означать, что опережающие волны Уилера и Фейнмана не что иное, как красивая математика, лишенная связи с физической реальностью. Конечно, одно из возможных опроверже-

ний этого состоит в том, что выводы Хогарта, Хойла и Нарликара просто ошибочны, как утверждал Дэвис.

Но у исследования Дэвиса тоже есть свои проблемы. Он показал, что все стандартные расширяющиеся релятивистские космологические модели Вселенной слишком прозрачны в будущем, чтобы объяснить наблюдаемые запаздывающие волны в терминах теории поглотителей Уилера и Фейнмана. Позднее этот вывод получил интересную интерпретацию. Одним из удивительных результатов работы космического телескопа «Хаббл» стало то, что самые старые звезды, кажется, примерно в два раза старше самой вселенной. Это кажется парадоксальным (если не сказать больше!), но, как заметил Хокзима, по мере расширения Вселенной вещество в ней истончается, и поэтому звездам становится все труднее «находить» поглотители для испускаемого ими излучения. То есть в прошлом звездам было легче излучать. Это означает, что в прошлом звезды старели быстрее, чем сейчас; поскольку мы неявно предполагаем по существу постоянный процесс старения (с такой скоростью, которую мы наблюдаем сегодня), неудивительно, что мы переоцениваем возраст более старых звезд. Делая некоторые разумные предположения о физике звезд и релятивистском пространстве-времени, Хокзима показал, что видимый возраст самых старых звезд кажется нам в два раза больше (в настоящее время считается, что реальной причиной являются ошибки измерений).

Есть и еще одна проблема с теорией поглотителей Уилера и Фейнмана: загадка поглощения нейтрино. Нейтрино – это частицы, которые настолько слабо взаимодействуют с веществом, что для существенного ослабления нейтринного пучка он должен пройти через слой свинца толщиной во много сотен световых лет. Как такие частицы могут найти достаточно будущих поглотителей, чтобы сделать возможным их наблюдаемые путешествия в будущее расширяющейся вселенной? Чтобы объяснить запаздывающие нейтрино, Нарликар заявил, что непрерывно создаваемая вселенная «просто» вбирает их в себя» (опять же, обнаружение космического микроволнового фона в 1965 году, который считается признаком происхождения Вселенной из Большого взрыва, нанесло смертельный удар этой теории).

Есть ли доказательства опережающих волн за пределами теоретической физики? Как насчет предвидения? Боб Брайер, философ, специализирующийся на парапсихологии, делит предмет исследований на три категории: «экстрасенсорное восприятие», то есть знание окружающей среды, полученное не посредством пяти обычных чувств, подразделяется на ясновидение, телепатию и предвидение. Первое – восприятие психических состояний в настоящем, а третье – восприятие физических объектов или событий в будущем. Как указывает Брайер, именно предвидение ставит интересные философские вопросы, тогда как другие два «таланта» могут иметь физические объяснения в терминах обычных мозговых волн (он признает, что такие волны чрезвычайно слабы, но, по крайней мере, они существуют, не нарушая любые известные законы физики).

Брайер понимает, что предвидение также может быть включено в гипотезу излучения мозговых волн, если мозговые волны могут перемещаться во времени не только вперед, но и назад в прошлое. Эта точка зрения, поддерживающая обратную причинность, обсуждается философами так же горячо, как и физиками; например, Мандл отвергает предвидение именно потому, что оно требует наличия обратной причинности. Однако причина, по которой Мандл отвергает причинно-следственную связь, банальна, потому что он *определяет* причину как необходимость возникновения какого-либо из ее последствий, что просто напрашивается на вопросы. Брайер также испытывает трудности с излучением, перемещающимся во времени, как особым агентом предвидения, хотя саму идею обратной причинности он считает логически обоснованной. Как он пишет: «Нам трудно, если не невозможно, представить себе волны, которые уходят в будущее и *возвращаются в настоящее* [мой курсив – П. Н.] с информацией о том, где (и когда) они были».

Для такой захватывающей идеи, как общение с прошлым, мне удалось найти лишь несколько вариантов использования опережающих радиоволн в научной фантастике. В рассказе Пола Андерсона «Землянин, берегись», впервые опубликованном в 1951 году в журнале *Super Science Stories*, есть намеки на подобные волны с так называемым «ультраволновым эффектом»: «Если гравитационные эффекты возникали от наличия материи, то ультраволновые эффекты ... не появлялись, если где-то не было правильно настроенного приемника. Они как-то “знали” о слушателе еще до того, как появились [то есть знали о будущем поглотителе, по терминологии Уилера и Фейнмана]». А злой научный гений Лекс Лютор, заклятый враг Супермена, изобрел такое радио, когда находился в тюрьме в 1961 году. Он сконструировал его из обычных радиодеталей от бытового радиоприемника и использовал, чтобы позвать на помощь и получать сообщения от организации с интересным названием «Легион суперзлодеев» из тридцатого века!

Более современное произведение «Трижды по времени» (Хоган) – это длинное описание потенциального парадокса, вызванного отправкой сообщений назад во времени. Представленные там головоломки, несомненно, увлекательны, но ответ Хогана на них заключается в том, чтобы позволить изменить прошлое. Название происходит от сюжета, в котором при помощи сообщений дважды меняли прошлое, чтобы спасти мир от ужасных бедствий. (Одно из них – рой микроскопических черных дыр, жужжащих в недрах планеты!) Поэтому мы трижды читаем про один и тот же период времени, прежде чем доберемся до конца романа. Как говорит один персонаж: «Мы можем отслеживать реальные последствия наших решений и действий и изменять их до тех пор, пока они не принесут желаемые плоды! Боже мой ... это ошеломляет!» Еще бы не ошеломляло!

Гораздо менее глубокомысленным является рассказ «Сорокаминутная война», в котором террористы устраивают катастрофу с ядерной бомбой в Вашингтоне и провоцируют обмен ядерными ударами между Советским Союзом и Соединенными Штатами. В конце концов, однако, книга целиком теряет

связь с реальностью, потому что герой посылает изменяющую историю сообщение агентам ЦРУ в прошлом, которые «затем» уничтожают террористов, прежде чем они успевают устроить катастрофу. Передача сообщения не основана ни на одной физической теории, и в современных исследованиях машин времени нет ничего, что поддерживало бы такую концепцию (или Хогана).

Возможно, наиболее интересное использование научно обоснованной передачи сигналов в прошлое – это рассказ «Би-и-ип» (Блиш). Там описывается «дираковское радио» для мгновенной передачи, и мы узнаем, что в начале каждого принятого сообщения всегда есть раздражающий звуковой сигнал (отсюда и название), который, по-видимому, является бесполезным свойством таинственного устройства. Его единственной очевидной характеристикой является непрерывный частотный спектр от 30 Гц до почти 18 000 Гц. Только в конце истории главный герой понимает, что этот спектр является «одновременным приемом каждого из сообщений Дирака, которые когда-либо были отправлены или будут отправлены». В рассказе не упоминаются опережающие волны, но, очевидно, Блиш знал, что мгновенные (с бесконечной скоростью) сигналы уходят в прошлое. В рассказе мастерски изображено прослушивание будущего. В какой-то момент персонажи XXI века слышат, как командир путешествующего во времени «мирового крейсера» передает отчаянный призыв о помощи на расстоянии 11 000 000 световых лет и на 65 лет в будущем. Однако наиболее интересным является упоминание Блиша о технической проблеме, которую я раньше не поднимал, хотя рассказ Бенфорда «Кембридж, 1:58 утра», предшественник классического романа Бенфорда «Панорама времен», намекает на нее: если сигналы поступают на приемник одновременно из всех будущих времен, как их можно разделить? Для ответа на этот вопрос Блиш прибегает к какой-то наукоподобной болтовне, но я считаю, что загадка осталась без решения.

## 5.6. Тахионные сигналы, пугающие действия и антителефон Белла

Авторы научной фантастики часто использовали движение со сверхсветовой скоростью, чтобы обратить вспять время. Рассказ Вайнбаума «Под знаком “Если”» упоминает этот сюжетный прием в одном предложении в лекции о путешествиях во времени от ворчливого, но милого старого профессора физики по имени Хаскель ван Мандерпоотц: «А что касается прошлого, то прежде всего вам придется превзойти скорость света, что немедленно влечет за собой потребность в более чем бесконечном количестве энергии». Это второе объяснение, помимо обращения причины и следствия, почему многие физики отвергают обратное путешествие во времени с помощью сверхсветовой скорости, независимо от логических парадоксов. Конечно, движение быстрее света подразумевает путешествие во времени в прошлое, но в соответствии со специальной теорией относительности такое движение



невозможно из-за бесконечной энергии, нужной только для того, чтобы достичь скорости света, не говоря уже о том, чтобы превысить ее. Поэтому, поскольку вы не можете преодолеть «световой барьер», путешествие во времени в прошлое тоже должно быть невозможным – так выглядит этот аргумент.

Идея профессора хороша – она исходит прямо от профессора Эйнштейна, см. вступительную цитату к разделу 6.1, – но, возможно, есть способ обойти это ограничение. Ключ к возможному опровержению зависит от существования сверхсветовых частиц, ныне хорошо известных *тахионов*. Название частицы придумал американский физик Джеральд Фейнберг, взяв за основу греческое слово «тахис» (быстрый). (Фейнберг однажды признался, что его интерес к таким вопросам был изначально вызван рассказом Блиша «Би-и-ип».) Идея тахиона на самом деле очень старая, на нее даже намекают в работе греческого поэта и философа Лукреция (умершего за двадцать лет до рождения Христа). В описании зрительных картин в Книге 4 его гигантской (более 7400 строк) научной поэмы *De Rerum Natura* мы находим следующие слова о частицах материи, вырывающихся из глубины Солнца: «Представляете ли вы, насколько быстрее и дальше они должны путешествовать, как они должны пробегать через пространство, за многократно меньшее время, чем необходимо для распространения солнечного света по небу?»

Первая попытка применить теорию относительности к сверхсветовым частицам в литературе по физике случилась только спустя две тысячи лет. Авторы статьи отметили, что специальная теория относительности не нарушается при движении со сверхсветовой скоростью. Теория относительности действительно исключает ускорение обладающей массой частицы до скорости света, но позволяет частице без массы, такой как фотон, существовать только во время движения со скоростью света. Фотоны испускаются во время различных физических процессов, и с момента своего создания они движутся со скоростью света; единственный способ замедлить фотон – это уничтожить его поглощением. Странники возможности существования тахионов приводят аналогичный аргумент, когда спрашивают, не могут ли существовать частицы, испускаемые во время различных (пока неизвестных) физических процессов, которые движутся с момента своего создания со скоростью, большей скорости света?

Утвердительный ответ позволит избежать проблемы «преодоления светового барьера», но тогда возникают другие проблемы. Например, такие сверхсветовые частицы должны иметь мнимую массу покоя – см. раздел 6.1, – если они должны нести реальную энергию и импульс, и что может означать *мнимая масса*? На этот вопрос убедительно отвечают сторонники тахионов, которые говорят, что масса покоя сверхсветовой частицы будет ненаблюдаемой, потому что нет субсветовой системы отсчета, в которой частица могла бы находиться в покое. То есть не существует системы отсчета, в которой можно измерить таинственную воображаемую массу покоя, и только наблюдаемые изменения реальной энергии и импульса характеризуют взаимодействия частиц.

Более серьезная проблема для тахионов, по мнению тех, кому не нравятся идеи обратной причинности и путешествий во времени, заключается в том, что в некоторых системах отсчёта сверхсветовая частица может иметь отрицательную энергию. Файнберг объяснил, в чем проблема: «Согласно принципу относительности, любое состояние, которое возможно для одного наблюдателя, должно быть возможным для всех наблюдателей, и, следовательно, сверхсветовые частицы могут существовать в состояниях отрицательной энергии для всех наблюдателей... Наука всегда отрицала возникновение состояний с отрицательной энергией частиц на том основании, что никакая другая система не может быть устойчивой к излучению этих частиц с отрицательной энергией, что является совершенно нефизическим поведением».

В самом начале истории тахионов, еще до того, как они получили это название, аналогичное возражение против сверхсветовых частиц высказали Биланюк и его коллеги. Они предложили так называемый *принцип реинтерпретации*, который я буду сокращенно называть ПР. Чтобы понять, как работает ПР, обратимся к рис. 5.3, на котором источник  $S_1$  в точке  $x_1$  испускает сверхсветовую частицу в момент времени  $t_1$ . Затем эта частица движется к поглотителю  $S_2$  в точке  $x_2$ , попадая туда в более позднее время  $t_2$ .  $S_1$  и  $S_2$  находятся в одной и той же системе отсчета, и для наблюдателя в этой системе отсчета энергия  $E$  положительна. Тем не менее всегда можно найти другого наблюдателя в относительно движущейся системе отсчета, для которого этот процесс будет выглядеть так, как если бы  $t_2$  было меньше (то есть раньше), чем  $t_1$  с  $E < 0$ . Другими словами, для движущегося наблюдателя частица будет выглядеть как частица с отрицательной энергией, движущаяся назад во времени (см. раздел 6.1, где показано, что скорость частиц должна быть не просто сверхсветовой, а еще более высокой ультрасветовой).

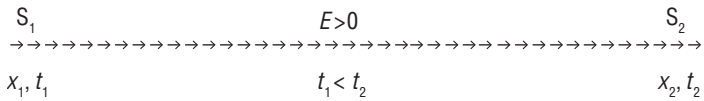


Рис. 5.3. Испускание частицы с положительной энергией с последующим поглощением

Отметим, что для движущегося наблюдателя излучение источником  $S_1$  отрицательной энергии *увеличивает* энергию  $S_1$ , а поглощение отрицательной энергии поглотителем  $S_2$  уменьшает энергию  $S_2$ . Уменьшение энергии  $S_2$  (с точки зрения движущегося наблюдателя) происходит до увеличения энергии  $S_1$ , потому что, как мы уже отмечали, для движущегося наблюдателя  $t_2 < t_1$ . Движущийся наблюдатель естественно интерпретирует этот процесс как излучение положительной энергии  $S_2$ , поэтому кажется, что эта реинтерпретация сохраняет нашу здравую идею о причинности, а также избегает любых упоминаний о путешествии во времени в прошлое. Похоже, что ПР обходит эти проблемы просто путем переопределения того, какой

источник передает, а какой получает тахион. Действительно, Файнберг утверждал, что ПР избегает создания причинно-следственных связей и связанных с ними парадоксов – утверждение, повторенное Италиано (1986), который использовал ПР, чтобы избавиться от парадоксов путешествия во времени во вращающейся вселенной Гёделя.

Несмотря на исследования Фейнберга, Ньютон утверждал, что польза от ПР по части предотвращения причинных петель является «иллюзорной» и «неактуальной», в то время как другие ученые пришли к выводу, что причинные парадоксы фактически исключают возможность тахионов взаимодействовать с обычной материей, что является просто вежливым вариантом утверждения, что тахионы не более реальны, чем единороги! В разделе 6.1 дано пояснение, что физики имели в виду под своей критикой ПР, приводя пример того, как посредством обмена сверхсветовыми сигналами можно создать парадоксальный временной цикл, который ПР не только не помогает обойти; наоборот, ПР играет решающую роль в *создании* парадокса! Это не значит, что петля не может существовать логически – мы говорим только о том, что причинно-следственная связь и путешествие во времени являются странным делом. И наконец, как показали исследования, любая так называемая  $S$ -матрица, или матрица *рассеяния*, которая описывает, как тахионы взаимодействуют с обычной материей, обязательно нарушает унитарность, если она соответствует условию ПР. То есть ПР-обусловленная  $S$ -матрица нарушает сохранение вероятности, что характерно для пространственно-временных интервалов, содержащих замкнутые времениподобные кривые, – закон, от которого большинство физиков крайне неохотно отказываются.

Стремление ПР поменять ролями передатчик и приемник также вызвало недовольство физиков. Некоторые исследователи отмечают, что если кто-то может модулировать сверхсветовой сигнал, чтобы отправить сообщение в прошлое, то, безусловно, можно *подписать* это сообщение. Поскольку ПР не может изменить сигнатуру, сигнал может быть получен только в неизменном состоянии. По этому поводу Бенфорд привел замечательный пример, процитированный в статье Бука и Ньюкомба: «Если Шекспир напечатает “Гамлет” на своем тахионном передатчике, Бэкон получит текст раньше, чем он будет написан. Но никакие манипуляции не сделают Бэкона автором “Гамлета”. Именно Шекспир, а не Бэкон, контролирует содержание сообщения». Последняя строка цитаты имеет важнейшее значение. Авторы подчеркивают это, сразу замечая, что подпись является релятивистски инвариантной и что она по сути определяет причинный порядок, совершенно независимый от любого временного порядка. Как выразились Фицджеральд и Крейг, в таких случаях ПР «пренебрежительно насмехается над нами» и «звучит просто как одобрение того, что можно назвать лишь фантастическим заблуждением».

Существуют и более сложные, чем у Бенфорда, сценарии, которые демонстрируют, как обратная причинность возникает вследствие использования сверхсветовых сигналов, безотносительно к ПР. Один из таких примеров включает в себя замкнутую цепочку передач сигналов в одном простран-

ственном измерении среди четырех наблюдателей; последним получателем сигнала является его первый отправитель. Брайс Девитт, который придумал этот пример – он называется «гамбит Девитта», – показал, как выстроить геометрию пространства-времени участников цепочки так, чтобы на каждом этапе не возникало споров о том, кто отправитель и кто получатель, и, следовательно, ПР априори не возникает. И все же, когда сигнал достигает последнего (первого) наблюдателя, это происходит до того, как он начал (начинает) процесс! Конечно, это создает потенциальный парадокс: что, если «сейчас» первый наблюдатель решит не посылать сигнал? По сути, это версия знаменитых зрительных парадоксов Эшера<sup>1</sup> «Восхождение и спуск» и «Водопад», только применительно ко времени.

Пирани расширил пример Девитта с одного пространственного измерения на два и сделал тот же вывод; причинных парадоксов нельзя избежать, просто используя ПР. С другой стороны, Парментола и Йи утверждали, что причинно-следственных аномалий тахиона можно избежать. Эверетт и Антиппа предложили теорию тахионов, в которой невозможны причинно-следственные петли.

Многие физики сегодня отвергают возможность передачи сообщений в прошлое не из-за проблем с ПР, а потому, что такие сообщения могут создавать потенциальные двойные парадоксы. Сударшан, один из первых сторонников тахионов, фактически признал возможность возникновения таких парадоксов, когда писал, что «если существует сверхсветовая скорость, мы получаем канал *почти* [мой курсив – П. Н.] мгновенной связи. В то время как удаленные наблюдатели могут общаться с помощью тахионов, существует физическое ограничение на доступные скорости: два наблюдателя в относительном движении со скоростью  $v < c$  могут использовать только [не ультрасветовые] тахионы». Это ограничение скорости, разумеется, является именно тем, что требуется для запрета отправки сообщений в прошлое и предотвращения сопутствующей возможности создания парадокса.

Артениус заметил, что релятивистски инвариантные теории мгновенного действия на расстоянии существуют и что все эти теории описывают уравнения движения тахионов именно таким образом, чтобы любое действие, которое может привести к парадоксу, было запрещено физикой. То есть в таких теориях мы никогда не сможем выдвинуть метафизический аргумент о сохранении свободной воли, чтобы избежать проблем, вызывающих обратную связь во времени. Позднее в интересном мысленном эксперименте Артениус расширил это определение и фактически полностью перевернул его. То есть все загадки тахионов, по-видимому, вызваны тем, что тахионы движутся быстрее света. Получается, если бы свет был бесконечно быстрым, не было бы никаких парадоксов?

<sup>1</sup> Мауриц Эшер – художник-график, автор знаменитых картин, представляющих собой зрительные парадоксы, среди которых наиболее известны картины «Водопад» и «Восхождение и спуск». – *Прим. перев.*

Артениус говорит, что это не так. Он просит нас представить, что у нас есть фонарь, направленный на зеркало. Выключатель на фонаре подключен через датчик таким образом, что мы можем включить фонарь только в том случае, если на датчик не падает свет (очень простая схема). Далее, представьте, что скорость света бесконечна. Тогда фонарик можно включить, только если его нельзя включить, – парадокс! Артениус приходит к выводу, что это не означает, что скорость света обязательно должна быть конечной (это экспериментальный факт) или что такие сенсорные фонарики невозможны. Скорее, он делает вывод только о том, что определенные физические условия, каждое из которых возможно по отдельности, не являются логически возможными при использовании в комбинации.

Старая идея Уилера и Фейнмана об объяснении парадоксов взаимодействия – что ни один сигнал не является действительно прерывистым – была пересмотрена Шульманом в контексте тахионов. Шульман предлагает рассмотреть следующую ситуацию: у человека (назовем его А) на столе стоит лампа. Лампа управляется тахионным приемником; другими словами, лампа загорается только при обнаружении тахионного сигнала (скажем, импульса). В три часа дня А отправит тахионный сигнал на эхо-передатчик В, который сразу же ретранслирует все, что получает, при условии что лампа не светится в один час дня. Допустим, геометрия пространства-времени А и В устроена так, что сигнал, отправляемый как от А, так и от В, достигает получателя на один час в прошлом. Таким образом, если А отправит сигнал в три часа, то В получит его в два часа и немедленно отправит эхо-сигнал, который придет к А в один час. Парадокс заключается в том, что А посылает сигнал только в том случае, если лампа не светится, то есть только если А не посылает сигнал!

Далее Шульман напоминает нам об утверждении Уилера и Фейнмана, что каждый импульсный сигнал на самом деле непрерывен; этот аргумент включает в себя и свечение лампы. Следовательно, лампа не просто включена или выключена, но потенциально может иметь любой уровень яркости между этими двумя крайностями. Допустим, в комнате сидит А, и на его столе тускло светится лампа. Как говорит Шульман: «А размышляет об этом, колеблется и наконец посылает немного запоздалый сигнал с неполной мощностью». Конечно, эхо также имеет частичную силу, что объясняет исходное тусклое свечение. Этот вывод формально логичен, но, похоже, он требует слишком многих допущений (и кстати, если выключатель в руке у А является тумблером, который переключается в ту или иную сторону, – откуда берется сигнал частичной мощности?). Сам Шульман не совсем уверен в справедливости всеобщей непрерывности и в конце пишет, что «предположение Уилера–Фейнмана ... не очевидно». Позднее Ковальчински открыто не согласился с предположением о всеобщей непрерывности и заявил, что Шульман ошибался!

Дональд предложил обобщение утверждения Шульмана, охватывающее все сигналы от простых импульсов до произвольно сложных сигналов, в котором центральное место по-прежнему занимает принцип всеобщей непрерывности. Дональд полагает, что его обобщение разрешает все по-

тенциальные парадоксы, которые можно себе представить в результате существования замкнутой времениподобной кривой в пространстве-времени. Позднее Кип Торн и его коллеги из Калифорнийского технологического института пытались избежать двойных парадоксов и обратной причинности в машинах времени на основе червоточины (см. раздел 6.3), используя подход Шульмана. Идея Шульмана фигурирует даже в научной фантастике, например в романе Бенфорда «Панорама времен», в котором люди из будущего пытаются изменить прошлое, посылая тахионные сообщения, предупреждающие о надвигающейся катастрофе.

Неудивительно, что предполагаемая способность модулированного пучка тахионов посылать сообщение в прошлое вызывала у многих беспокойство по поводу свободной воли и фатализма. Предположим, что вы получите от себя завтрашнего тахионное послание, сообщающее вам, что человек, которого вы планируете убить сегодня вечером, все еще жив завтра. Значит ли это, что вы не можете убить его сегодня вечером? По мнению Фицджеральда, ответ – нет. Вы *можете* убить его, но если вы это сделаете, то послание завтрашнего дня не пришло бы. И поскольку незнание не является обязательным условием для свободной воли, ваши вновь обретенные знания сами по себе не ограничивают вашу способность убить человека. Но, продолжал Фицджеральд, если вы откажетесь от попытки убить человека, потому что верите посланию от своего будущего я, тогда послание из будущего времени действительно ограничило вас!

Позиция Фицджеральда была опровергнута Крейгом, который утверждает, что изменится не ваша способность убивать, а ваша мотивация. Крейг отмечает, что такие мотивационные изменения не обязательно нуждаются в столь радикальных причинах, как послание из будущего. Предположим, говорит он, что перед тем, как выстрелить в свою жертву, вы узнаете от него, что он на самом деле ваш любимый, давно потерянный дядя. Очевидно, что ваша мотивация убить его наверняка изменится, но в равной степени ясно, что ваша способность убить его останется прежней. Механизм получения важной информации, будь то путешествие во времени или последние слова предполагаемой жертвы, по мнению Крейга, просто не имеет значения. Одним из исследователей, которые не совсем убеждены аргументом Крейга, является Шульман. Он пишет, что «история – это набор мировых линий, по сути замороженных в пространстве-времени. Хотя субъективно мы можем отчетливо чувствовать, что наши действия определяются только нашим обратным световым конусом, это не всегда может быть так...». Вероятно, Шульман допускает возможность того, что факторы, возникающие в будущем, могут повлиять на настоящее.

В конце XX века интригующая история общения с прошлым через сверхсветовые скорости перешла от тахионов к квантовой механике благодаря так называемой теореме Белла. Покойный Джон Белл, физик из лаборатории CERN, опубликовал свою работу «О парадоксе Эйнштейна–Подольского–Розена» как небольшую статью в неизвестном, ныне несуществующем журнале. С тех пор эта статья стала одной из самых цитируемых физических

работ 1980-х годов. Парадокс, упомянутый в названии статьи Белла, относится к известной статье, в которой Эйнштейн оспаривал общепринятый взгляд квантовой механики на то, что в наблюдаемых явлениях отсутствует объективная реальность. Впрочем, Эйнштейн высказывал то же мнение, только в других терминах, уже в 1927 году.

Традиционный взгляд на квантовую механику формулирует физику в терминах волновых функций вероятности, которые коллапсируют в конкретные реальности только тогда, когда проводятся измерения состояний систем (система может быть элементарной вплоть до отдельной частицы). До тех пор, пока такие измерения не будут выполнены, говорит этот взгляд на квантовую механику, система не имеет определенного состояния; вместо этого она имеет распределение вероятностей по набору возможных состояний (но рекомендую отдельно изучить подпись к рис. 5.4 про загадку путешествия во времени относительно этого утверждения). Эйнштейн и его соавторы Борис Подольский и Натан Розен (по его имени названы мосты-червоточины Эйнштейна–Розена) отвергли эту вероятностную интерпретацию природы. Вспомните знаменитое изречение Эйнштейна «Бог не играет в кости с космосом». Эйнштейн и его коллеги утверждали, что квантовая механика может быть конкретной, насколько это возможно, но что она упускает что-то (пока неизвестное) в описании реальности. То есть они предположили, что квантовая механика является «неполной» и включает в себя «скрытые переменные». Они выразили эту точку зрения в форме парадокса. «Парадокс Эйнштейна–Подольского–Розена» был задуман как мысленный эксперимент, в котором квантовая механика заявляет, что свойства пространственно распределенной системы при измерении в точке А вынуждены принимать конкретные значения в точке В (без измерения в точке В).

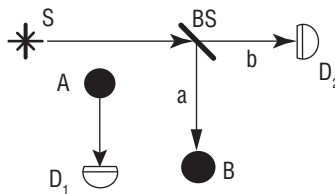


Рис. 5.4. В этой схеме, воспроизведенной с любезного разрешения Франческо Гонеллы, S является источником фотонов низкой интенсивности, настолько слабым, что в любой момент в системе никогда не бывает более одного фотона. Каждый фотон проходит через полусеребряное зеркало-расщепитель BS, которое с равной вероятностью пропускает фотон или вправо по пути b, где его обнаруживает детектор  $D_2$ , или вниз по пути a в устье В червоточины. Традиционная квантовая механика гласит, что событие в BS определяется, когда фотон достигает BS, то есть волновая функция фотона коллапсирует в BS. Но фотон, который отражается в В, выходит из устья А *в прошлое*, где он обнаруживается детектором  $D_1$  до момента его прибытия в BS. Получается, нам известно, что *будет* происходить в BS до того, как фотон достигнет BS. Итак, *когда* же коллапсирует волновая функция?

Таким образом, сказал Эйнштейн, есть только две возможности. Либо свойства системы в точке В должны были быть такими, какими они были с самого начала (даже если измерение в А не выполнялось), либо должна быть связь между точкой А и точкой В такого рода, что коллапс волновой функции в точке А мгновенно передается в точку В, позволяя волновой функции коллапсировать и там. Поскольку А и В могут располагаться произвольно далеко друг от друга, второй подход, очевидно, нуждается в механизме сверхсветовой передачи, который Эйнштейн назвал «пугающим действием на расстоянии»; термин красноречиво выражает его мнение об идее! Некоторые переводы с немецкого заменяют слово «пугающее» на «призрачное», но настроение от этого не меняется. В течение почти тридцати лет споры между сторонниками этих двух альтернатив оставались на метафизическом, неколичественном уровне. Затем в 1964 году появилась статья Белла.

Теорема Белла математически выражает противоречие между представлением Эйнштейна о скрытых переменных и традиционным представлением квантовой механики посредством использования неравенства, связанного с определенными измеримыми свойствами системы. (Детали здесь не важны, но сам Белл написал прекрасный пересказ теоремы на языке, понятном обычному читателю, в эссе с чудесным названием «Носки Бергльмана и природа реальности».) Если эти измерения таковы, что неравенство нарушается, тогда работает традиционная интерпретация квантовой механики, и пугающего действия Эйнштейна на расстоянии просто не существует. Таким образом, большой вклад Белла состоял в том, чтобы убрать дебаты о квантовой механике из метафизики и поместить ее прямо в область экспериментальной физики.

Все, что нужно было сделать, – «всего лишь» провести необходимые измерения. Эти технически невероятно сложные экспериментальные измерения были в конечном итоге выполнены французским физиком Аленом Аспектом и его коллегами в Институте прикладной оптики Парижского университета спустя полтора десятилетия после того, как Белл указал направление работы. Результаты однозначно подтверждают общепринятый взгляд на квантовую механику. (Подобные эксперименты проводились и раньше, но различные технические детали оставляли некоторую неопределенность в отношении того, как интерпретировать результаты. Однако эксперименты Аспекта считаются окончательными.) Эйнштейн был просто неправ, и его пугающее действие, кажется, существует. Означает ли это, что у нас есть, наконец, экспериментальные доказательства возможности передачи информации на скоростях быстрее света?

Похоже, что нет. Жирарди, Римини и Вебер опубликовали статью, которая опровергает возможность достижения сверхсветовой скорости в квантовой механике, выявляя тонкие недостатки в аргументах тех, кто думал, что они нашли способ обойти запреты специальной теории



относительности. В завершение статьи авторы выразили надежду, что их исследование «прекратит бесполезные дебаты на эту тему». Но увы! Сегодня большинство физиков на самом деле более озадачены тем, что говорит теорема Белла, чем оригинальным парадоксом Эйнштейна–Подольского–Розена. В те ранние дни еще можно было согласиться с Эйнштейном, который утверждал, что квантовая механика действительна, насколько это возможно, но что, хотя все наши измерения являются стохастическими, более глубокая, более всеобъемлющая теория показала бы существование скрытых переменных, которые объясняют наличие специфических свойств системы.

Однако благодаря работе Белла и Аспекта теперь известно, что квантовая механика в ее нынешнем виде приводит к правильным предсказаниям. Другими словами, нет никаких скрытых переменных, и, кроме того, видимо, нам придется смириться с возможностью передачи со сверхсветовой скоростью, чтобы объяснить результаты эксперимента. Что с этим всем делать, все еще остается предметом горячих споров. Консенсус (среди тех, кто осмеливается высказать свое мнение!), по-видимому, заключается в том, что в квантовой механике нет механизма передачи информации со сверхсветовой скоростью. Чтобы не запутаться в названиях, подчеркну, что тахионный антiteleфон не может, в соответствии с нынешними представлениями, быть выполнен в форме «антителефона Белла».

Однако не всем очевидно, что это правильный вывод. Например, профессор физики Корнелльского университета Дэвид Мермин сообщил, что однажды он получил текст письма, написанного старшим сотрудником неназванного калифорнийского исследовательского центра (это могла быть, например, корпорация RAND), в секретариат Министерства обороны по исследованиям и разработкам в Пентагоне. Там он прочитал: «Если бы мы научились использовать эффект сверхсветовой передачи в нелокальном масштабе, то появилась бы возможность ... создать непобедимую и неразрушаемую систему командно-штабного управления при очень высоких скоростях передачи информации для использования в подводном флоте. Очень важно, что поскольку в такой гипотетической системе нет обычного электромагнитного сигнала, связывающего кодер с декодером, противнику нечего перехватывать или подавлять. Противник должен фактически обладать «черным ящиком» декодера, чтобы перехватить сообщение, надежность которого не будет зависеть ни от расстояния до кодера, ни от океана или погодных условий...»

Нельзя не задаться вопросом, каким мог быть ответ заместителя секретаря на это письмо и какие сверхсекретные эксперименты могли быть проведены. Почти наверняка, какими бы они ни были, они потерпели неудачу. Как говорит Крамер: «До сих пор природа довольно хорошо заметала следы, блокируя все возможности использования эффекта ЭПР для сверхсветовой

связи». Конечно, письмо из мозгового центра на самом деле демонстрирует недостаток воображения, потому что обратный причинный эффект от эффекта ЭПР, безусловно, является «квантовым скачком», выходящим за рамки надежной связи для субмарин.

В середине 1990-х годов Прайс вновь представил идею, впервые выдвинутую Скиамой в 1958 году, предположив, что пришло время вернуться к обновленной интерпретации представления Эйнштейна о скрытых переменных квантовой механики. Эта доработанная интерпретация, позволяющая избежать ограничений, налагаемых неравенством Белла, говорит, что значения скрытых переменных зависят не только от предыдущих состояний рассматриваемой системы, но и от ее будущих состояний. Поскольку будущие состояния неизвестны, любая квантовая теория будет иметь явно неопределенный характер, и поэтому квантовая механика «выглядит» статистической по своей природе. Затем Прайс отмечает, что «тот факт, что даже вариант с мгновенной передачей рассматривается как менее неправдоподобный, является показателем, насколько противоестественной мы считаем идею влияния на прошлое. Но что лежит в основе такого отношения?» Прайс считает, что это просто «предубеждение, основанное ... на нашей собственной асимметричной природе и состоянии».

В качестве последнего примера проблем, которые квантовая механика представляет для путешествий во времени, я упомяну проблему «квантовой когерентности». Представьте кусок материи в одном «чистом» или когерентном квантовом состоянии, которое затем гравитационно разрушается, образуя черную дыру. Информация, присущая описанию этого чистого состояния, таким образом, скрыта от глаз горизонтом событий дыры; все черные дыры имеют только три параметра (масса, момент импульса и заряд). Затем черная дыра медленно испаряется через тепловое излучение Хокинга, испуская энергию, представляющую собой смесь квантовых состояний, которая не никак не отображает квантовую когерентность исходного вещества. Вопрос: куда делась исходная информация о чистом квантовом состоянии?

Хокинг кратко изложил взаимосвязь этой загадки с путешествием во времени в последнем абзаце своей не менее загадочной статьи:

*Лично я не верю, что будут иметь место замкнутые временные кривые, по крайней мере в макроскопическом масштабе. Я думаю, что гипотеза о защите хронологии останется в силе и расхождения в тензоре энергии-импульса создадут сингулярности до появления замкнутых времениподобных кривых. Однако если квантовые гравитационные эффекты каким-то образом компенсируют эти расхождения, я совершенно уверен, что квантовая теория поля на таком фоне покажет потерю квантовой когерентности. Поэтому, даже если люди вернутся из будущего, мы не сможем предсказать, что они будут делать.*

Вся эта глава (в действительности вся эта книга) посвящена спорным вопросам. Что читатели должны думать о сверхсветовых скоростях, квантовой механике, обратной причинности, потере информации в черных дырах и путешествиях во времени? К 1974 году, например, поток статей о тахионах и парадоксах причинно-следственных связей, которые тахионы могут создавать, превратился в наводнение. Некоторые научные споры были довольно горячими, так как противоборствующие авторы намекали – не всегда тонко – на невероятную тупость другой стороны. Например, Фокс, Купер и Липсон говорили относительно мягко: «Квантовая теория свободных тахионов ... это изящный, но пустой формализм», тогда как Ковальчинский выразился более прямо: «литература о тахионах переполнена большим количеством детских работ». Даже в предисловии к публикации библиографии по тематике сверхсветовых частиц в *American Journal of Physics* редактор журнала чувствовал себя обязанным написать: «До тех пор, пока экспериментально не будет подтверждено существование тахионов, предусмотрительный ученый будет рассматривать утверждения, сделанные в этой подборке, как гипотезы, а не констатацию факта. Более того, поскольку эти авторы не согласны между собой, вполне логично, что по крайней мере некоторые из них ошибаются. Читатели, будьте осторожны!»

Действительно, хороший совет, касающийся тахионов, жутких эффектов квантовой физики и машин времени!

## 5.7. Вопросы для самостоятельных размышлений

Марк Твен в своем последнем, посмертно опубликованном романе «№ 44, Таинственный незнакомец» описал перевернутое время как дело рук сверхъестественного существа. После того как существо меняет направление мирового времени, рассказчик говорит читателю, что «там, где усталые люди вновь возвращались к прежним разговорам... там, где шла война, вчерашние сражения переигрывались от конца к началу; ранее убитых убивали снова... мы увидели, как Генрих I собирает вместе свой расколотый череп...». Прочтите роман и прокомментируйте, насколько хорошо (или нет) Марк Твен справился с обращенным временем.

В романе Филиппа Дика 1956 года «Мир, который построил Джонс» мы читаем о пророке, способном заглянуть на год вперед. Как он утверждает, «для меня это прошлое», а затем нам говорят: «Он был человеком со своими глазами в настоящем [будущем мира] и своим телом в прошлом [настоящем мира]». Прочтите роман, а затем подтвердите или опровергните предположение о том, что Дик знал про опережающее решение волновых уравнений Максвелла.

Физик Роберт Форвард утверждал, что один из способов отправить сообщение в прошлое – сжать астероид весом 15 млрд т до объема атомного ядра, раскрутить его, а затем направить гамма-всплески через образовавшуюся вблизи область «сбитого с толку времени». Форвард, оптимист высшего уровня, полагал, что люди смогут сделать это до конца XXI века. Казалось бы, что нужно сделать сейчас – это построить приемники гамма-излучения (вполне в рамках современной технологии) и слушать такие сообщения из будущего. Технические детали подобных приемников не имели бы значения, если бы их конструкция была широко опубликована. Таким образом, ученые будущего могут узнать эти детали, просто прочитав их в старых, затхлых библиотечных книгах и журналах, и смогут построить свои передатчики, полностью совместимые с нашими старыми, затхлыми (для них) приемниками! Прокомментируйте вероятность того, что Национальный научный фонд решит финансировать создание таких приемников.

Предположим, путешественник во времени отправляется в будущее и, находясь там, обнаруживает, что существует более старая версия его самого, живущая в доме, который принадлежал его семье в течение многих поколений. Объясните, почему это означает, что путешественник во времени в конечном счете вернется в настоящее. Допустим, что после прибытия путешественника во времени в будущее он решает остаться в будущем и не возвращаться. Объясните, почему это подразумевает, что не будет более старой версии самого себя, живущей в семейном доме. В обоих случаях предположим, что MWI не применяется, т. е. что существует только одна временная линия.

Известный квантовый физик Дэвид Бом (1917–1992) в своей книге «Специальная теория относительности» (W. A. Benjamin, 1965) написал следующее высказывание о возможности посылать сообщения в прошлое: «В действительности  $S$  может общаться со своим собственным прошлым [сам,  $M$ ]... и сказать своему прошлому “я”, каким будет его будущее. Но, узнав об этом,  $M$  мог бы решить изменить свои действия, так что его будущее... будет отличаться от того, что утверждает более поздний “я”. Например, прошлый “я” может сотворить что-то такое, что сделает невозможным для будущего послать сигнал. Таким образом, возникло бы логическое самопротиворечие». Как вы думаете, большинство физиков, пишущих сегодня, более чем через 50 лет после Боба, повторили бы его слова?

Роль квантовой механики в изучении путешествий во времени широка, глубока, проникновенна... и таинственна. То, что я имею в виду под этим, хорошо иллюстрируется заключительным абзацем в статье Стивена Хокинга («Quantum Coherence and Closed Timelike Curves», *Physical Review D*, November 15, 1995, стр. 5681–5686). Там он писал: «Лично я не верю, что замкнутые временные кривые будут иметь место, по крайней мере в макроскопическом масштабе. Я думаю, что гипотеза защиты хронологии будет иметь место и что расхождения в тензоре энергии-импульса создадут сингулярности до того, как появятся замкнутые временные кривые. Однако если квантовые гравитационные эффекты каким-то образом устранят эти расхождения, я совершенно уверен, что квантовая теория поля на таком фоне покажет потерю квантовой когерентности. *Поэтому даже если люди вернутся из будущего, мы не сможем предсказать, что они будут делать [курсив мой]*». Как вы думаете, что имел в виду Хокинг в своей последней реплике? Если «люди возвращаются из будущего» и рассказывают нам, что они делали в будущем, то что плохого в их воспоминаниях, что заставляет нас не быть в состоянии предсказать, что они будут делать? Или, возможно, нет ничего плохого в их воспоминаниях, и Хокинг вместо этого утверждает, что будущее, пережитое вернувшимися путешественниками во времени, не будет будущим, когда мы «доберемся туда»? Если это так, то что же возвращенные путешественники во времени «помнят»?

(Окончание далее)

Если мы говорим, что квантовая механика – это слегка нелинейная физика (как и многие другие обычно линейные физические явления при достаточно высоких уровнях энергии), то физика *линейна*, когда выполняется *суперпозиция*, то есть результат двух входных воздействий является суммой отдельных результатов, полученных в результате раздельного применения двух входных воздействий, – и если принять концепцию MWI, то по крайней мере два физика [1] утверждают, что можно общаться не только с нашим прошлым, но и со многими прошлыми в постоянно расщепляющихся ветвях множественных миров. Другой физик [2] написал очень забавную иллюстрацию того, на что это может быть похоже. Еще один физик [3] предположил, что нелинейная квантовая механика действительно может позволить фотографировать множественные миры. Физик [4] написал об этом (без всякого преувеличения), что такое достижение будет «возможно, самым удивительным открытием в истории науки, да и вообще в истории человечества». Или, цитируя еще одного физика [5], «межмировая коммуникация приведет к поистине ошеломляющим возможностям», часть из которых была включена по крайней мере в один научно-фантастический роман [6]. Прочтите статьи физиков и роман, а затем выскажите свое мнение.

[1] Николая Гизин (N. Gisin), «Weinberg's Non-linear Quantum Mechanics and Superluminal Communication», *Physics Letters A*, January 1, 1990, p. 1–2, и J. Polchinski, «Weinberg's Non-linear Quantum Mechanics and the Einstein-Podolsky-Rosen Paradox», *Physical Review Letters*, January 28, 1991, p. 397–400.

[2] Джон Глисон Крамер (J. G. Cramer), «Quantum Telephones to Other Universes, to Times Past», *Analog*, October 1991.

[3] Эжэн д'Альбёр (D. Albert), «How to Take a Photograph of Another Everett World», *Annals of the New York Academy of Sciences*, December 30, 1986, p. 498–502.

[4] М. Уиттакер (M. A. B. Whitaker), «On the Observability of «Many Worlds»», *Journal of Physics A*, July 11, 1985, p. 1831–1834.

[5] Р. Плага (), «On a Possibility to Find Experimental Evidence for the Many-Worlds Interpretation of Quantum Mechanics», *Foundations of Physics*, April 1997, p. 559–577.

[6] J. P. Hogan, «Paths to Otherwhere», Baen 1996.

Издавна сверхсветовые тахионы (и связанные с ними передачи информации в прошлое) обитали строго в области научной фантастики. В последние годы, однако, такие действия перешли в обычную художественную литературу, а самым последним (когда я пишу) примером является роман о человеке действия Патрика Ли «Signal», St. Martin's Press, 2015. (Тахионы также упоминаются в фильме 2015 года «Земля будущего».) Действие этого романа происходит в наше время, а не в будущем; его герой – отставной солдат, который теперь занимается подработками по найму. Это определенно не футуристический научно-фантастический мир, до тех пор пока он не становится вовлеченным в историю с похожим на радиоприемник устройством, который получает сигналы из удаленного на 10 ч 24 мин будущего. По ходу романа мы в конце концов узнаем, что гаджет основан на немецкой электронной технологии, которая испытывалась в отдаленной лаборатории в Северном Алжире ближе к концу Второй мировой войны. Когда эта лаборатория была захвачена небольшой американской группой, оборудование было уничтожено, но перед этим один из американцев услышал, как гаджет играет песню под названием «She Loves You» вместе со словом «да», повторенным много раз. Он не понимал, что это значит, пока 20 лет спустя не увидел первое американское выступление «Beatles» в телепрограмме «Шоу Эда Салливана» и внезапно не осознал, что в 1944 году услышал песню, которая еще не была написана! Это устройство находится в центре современных, возрожденных нацистских усилий по завоеванию мира, и в романе есть много привычных штук: погони, стрельба – и других приключений в стиле Джеймса Бонда, но автор был довольно изобретателен в обращении с парадоксами времени. Он действительно много говорит об «изменении будущего», смущенно беспокоится об «изменении прошлого» и ошибочно принимает нейтрино за тахионы, но тем не менее, если кто-то готов игнорировать такие мелочи, это занимательное чтение. В частности, в то время как внутренний диапазон гаджета для будущего ограничен десятью с лишним часами, автор описывает умный способ произвольно расширить это значение. Прочтите «Signal», а затем опишите и раскритикуйте метод, изложенный в романе.

Предположение Уилера–Фейнмана о непрерывности уже имело выдающуюся историю в математике задолго до того, как они применили его в своем физическом разрешении парадоксов ретропричинности. (Оба они были очень хорошими математиками и, конечно, знали то, что я собираюсь вам здесь рассказать. Представьте себе человека, который собирается подняться на холм, начиная с  $A$  (подножие холма) и заканчивая  $B$  (вершина холма). Вы ничего не знаете о том, как он ходит (возможно, иногда он останавливается на некоторое время, иногда он идет медленно, иногда – быстро, возможно, иногда он даже спускается с холма). Все, что вы знаете, – это то, что, начиная с  $A$  в 10 ч утра, он прибывает в  $B$  в 11 ч. То есть прогулка в гору занимает ровно 60 мин. Он заночевал в лагере  $B$ , а на следующее утро ровно в 10 ч спустился с холма по той же тропинке, по которой поднимался накануне. Он прибывает в  $A$  в 11 ч. То есть обратный путь занимает ровно 60 мин. Опять же, вы ничего не знаете о деталях того, как он совершает спуск. Докажите, что есть по крайней мере одно место на пути, которое он проходит во время спуска точно в то же время, в какое он прошел его во время своего подъема накануне. Подсказка: никаких сложных уравнений не требуется. На самом деле никакой математики вообще не требуется. Просто нарисуйте соответствующие, общие графики подъема человека в зависимости от времени и его спуска в зависимости от времени и ссылайтесь на преемственность. То есть нарисуйте расстояние (измеренное вдоль пути), на котором он находится во время восхождения и спуска.





## ГЛАВА 6

### Физика путешествий во времени. Часть II



– Мы не можем бороться с законами природы.  
– К черту природу! Подать больше топлива в сопла! Мы должны преодолеть скорость света... Дайте мне чистую дорогу и достаточно топлива, и я разгоню вас до полумиллиона миль в секунду... Что меня остановит?

– Слова, которыми обменялись первый помощник и капитан космического корабля на пути к Альфа Центавра в повести 1936 года «Обратная Вселенная» (Шахнер).

Капитан, который, как нам говорят, «слышал, конечно, об ограничении скорости света, но для него это ничего не значило». Да, мы это заметили

Когда мы пересекли пять световых лет космоса за ничтожно малое время, мы также отступили назад в прошлое.

– Из «Забывчивости» (Стюарт), впервые опубликованной в 1937 году журналом *Astounding Science Fiction*

...Не может существовать скорость больше скорости света.

– Альберт Эйнштейн, 1905

#### 6.1. Сверхсветовое движение в прошлое

До сих пор я ограничивал техническую интерпретацию теории относительности скоростями ниже скорости света, то есть условием  $v < c$ , где  $v$  – относительная скорость двух систем отсчета. Однако при выводе уравнений преобразования Лоренца это добровольное ограничение нигде не фигурировало. Именно поэтому в 1964 году в выступлении перед Британской ассоциацией развития науки философ Робинсон заявил: «Путешествие быстрее света остается логически последовательной и возможной концепцией, даже если это запрещено теорией относительности». Вторая половина этого заявления неверна. Дело не в том, что мы не можем

развить скорость быстрее, чем свет, а в том, что за это приходится платить слишком высокую цену – нарушение причинности (что, вероятно, объясняет комментарий Эйнштейна в третьей вступительной цитате). Если материальный объект движется быстрее, чем свет, то математика говорит нам, что он мог бы физически уйти в прошлое (как показано в 1978 году в первом из фильмов о Супермене, когда герой в плаще заставляет время развернуться и пойти назад, чтобы изменить прошлое, в частности чтобы спасти Лоис Лэйн от гибели при землетрясении). Кроме того, математика, кажется, говорит о том, что если сигнал, несущий информацию, идет быстрее, чем свет, то он мог бы физически уйти в прошлое (рис. 6.1). Таким сигналом может быть, например, модулированный пучок тахионов – если тахионы существуют.

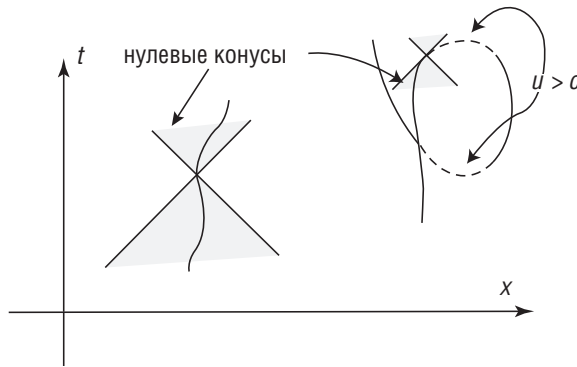


Рис. 6.1. Математическое доказательство того, что во времени не может быть замкнутых циклов (т. е. не может быть путешествия во времени в прошлое, если  $v > c$  запрещено) в плоском пространстве-времени Минковского, пространстве-времени специальной теории относительности. Такой вывод гораздо менее очевиден в искривленных пространствах-времених общей теории относительности. Рисунок воспроизведен с любезного разрешения Сергея Владиленовича Красникова (Пулковская центральная астрономическая обсерватория в Санкт-Петербурге, Россия) из его статьи 2003 года «Time Machine (1988–2001)»

Против существования тахионов было выдвинуто несколько возражений. Например, релятивистские выражения для энергии и импульса частицы с массой покоя  $m_0$ , движущейся со скоростью  $v$ , соответственно имеют вид

$$E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \text{и} \quad p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

При  $v > c$  знаменатели в этих выражениях становятся мнимыми, тогда как  $E$  и  $p$  всегда должны быть действительными (потому что они могут на-

блюдаться и даже измеряться в результате взаимодействий, которые частица имеет с другим веществом). Энергия и импульс могут снова стать действительными, если мы напишем  $m_0 = i\mu$  (то есть  $m_0^2 = -\mu^2$ ) для тахиона, где  $\mu$  – действительная (но ненаблюдаемая) метамасса (то есть  $m_0^2 < 0$ ). Это, конечно, радикальное заявление! Мы привыкли к  $m_0^2 > 0$ ; как писал русский математик Ю. И. Манин: «Что связывает нас с пространством-временем, так это наша положительная масса покоя, которая мешает нам лететь со скоростью света, когда время останавливается и пространство теряет смысл. В мире света нет ни точек, ни моментов времени; существа, сотканые из света, жили бы в “нигде” и “никогда”; только поэзия и математика способны осмысленно говорить о таких вещах».

Ну, может быть и так, но давайте будем смелыми и согласимся с идеей тахиона. Затем (как предложил Паркер)

$$E = \frac{\mu c^2}{\sqrt{\left(\frac{v}{c}\right)^2 - 1}} \text{ и } p = \frac{\mu v}{\sqrt{\left(\frac{v}{c}\right)^2 - 1}}.$$

Интересным следствием из этих уравнений является то, что если тахионы теряют энергию, они ускоряются! Этот результат, впервые заявленный немецким физиком Арнольдом Зоммерфельдом в 1904 году, означает, что если существует механизм непрерывной потери энергии (такой как излучение Черенкова, электромагнитные или гравитационные волны), то тахионы будут самопроизвольно и неограниченно ускоряться и попадать в так называемое *трансцендентное состояние бесконечной скорости*. Любопытно, что приведенные выше уравнения показывают, что такие бесконечно быстрые частицы, хотя и обладают нулевой энергией, будут иметь конечный импульс  $\mu c$ . Физик из Вашингтонского университета Джон Крамер описал, как можно использовать это свойство тахионов (если они существуют) для создания нового революционного источника движущей силы для космических кораблей, который он называет тахионным приводом.

Чтобы увидеть, как связаны путешествия во времени и скорость света, полезно рассмотреть геометрическую интерпретацию преобразования Лоренца. Как показано в разделе 3.9, если система  $x', t'$  движется со скоростью  $v$  в направлении  $x$  (или  $x'$ ) относительно системы  $x, t$ , то

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \text{ и } t' = \frac{t - \frac{vx}{c^2}}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}.$$

Эти уравнения имеют смысл для  $v < c$ , поэтому я сохраню это условие для наших двух относительно движущихся систем отсчета, а для обозначения

сверхсветовой скорости частицы буду использовать символ  $w$ . Наши люди-наблюдатели, однако, всегда будут иметь субсветовую скорость. Как указывает Свонил: «Предположение о том, что *наблюдатели* движутся быстрее света, подразумевает сверхсветовую скорость передачи сигналов», и такого наблюдателя следует считать созданным из тахионов.

Теперь вспомним, что мы подразумеваем под любой линией, параллельной оси  $x$ ; это линия с фиксированной координатой времени. Такая линия является линией *космического момента* с уравнением  $t = \text{константа}$ . Точно так же для движущейся системы мы запишем уравнение линии космического момента как  $t' = \text{константа}$ , которая после применения преобразования Лоренца эквивалентна

$$t - \frac{vx}{c^2} = \text{константа}.$$

В частности, ось  $x'$  (линия космического момента  $t' = 0$ ), которая проходит через точку  $x = 0$  при  $t = 0$ , описывается уравнением

$$t = \frac{vx}{c^2} = vx,$$

где, как обычно,  $c = 1$ .

Аналогичным образом вспомним теперь, что мы подразумеваем под любой линией, параллельной оси  $t$ , — это линия с фиксированной пространственной координатой. Такая линия является мировой линией неподвижной частицы в системе отсчета  $x, t$  с уравнением  $x = \text{константа}$ . Точно так же для движущейся системы мы бы написали  $x' = \text{константа}$  в качестве уравнения мировой линии частицы, находящейся в этой системе. Из преобразования Лоренца следует, что

$$x - vt = \text{константа}.$$

В частности, ось  $t'$  (которая является мировой линией  $x' = 0$  частицы, стоящей в начале движущейся системы) проходит через точку  $x = 0, t = 0$  и имеет уравнение

$$x = vt.$$

Таким образом, суперпозиция координат пространства-времени для двух систем выглядят так, как показано на рис. 6.2. То есть относительное движение двух систем приводит к вращению осей пространства-времени; но это странное вращение с противоположными значениями для осей пространства и времени. Оси  $x'$  и  $t'$  вращаются навстречу друг другу, образуя равные углы  $\alpha$  с осями  $x$  и  $t$  соответственно, где

$$\alpha = \tan^{-1}(v).$$

Если мы ограничим движущуюся систему (систему движущегося наблюдателя) субсветовыми скоростями ( $0 \leq v < 1$ ), то

$$0 \leq \alpha \leq 45^\circ.$$

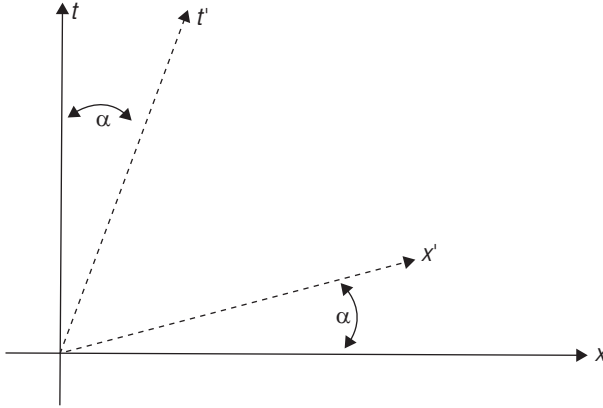


Рис. 6.2. Вращение координат пространства-времени при относительном движении

При скорости света ( $v = 1$ ) мы имеем  $\alpha = 45^\circ$ , а оси  $x'$  и  $t'$  совпадают – время и пространство стали неразличимыми.

Важно понимать, что наблюдатели в любой системе будут получать одинаковую скорость фотона; то есть каждый из них видел бы мировую линию фотона как линию с наклоном 1. Этот взгляд на мировую линию фотона буквально встроено в преобразование Лоренца, потому что одним из фундаментальных постулатов Эйнштейна для специальной теории относительности является неизменность скорости света. Истинность этого утверждения для системы  $x, t$  очевидна, если взглянуть на диаграммы пространства-времени. Однако это не столь очевидно в системе  $x', t'$  из-за нетрадиционных, неперпендикулярных осей (как изображено на бумаге) в этой системе. На рис. 6.2 мировая линия фотона показана в обеих системах. На этом рисунке мы испускаем фотон в  $x' = 0, t' = 0$ , а затем измеряем его координаты в точке  $A$ , такой что  $x' = x'_A$  в момент времени  $t' = t'_A$ . Обратите внимание, как это делается. Мы рисуем линии из точки  $A$  параллельно осям  $x'$  и  $t'$ , пока они не пересекают оси  $t'$  и  $x'$  соответственно. Это похоже на то, как мы получили бы пространственно-временные координаты  $A$  в более знакомой системе  $x, t$ , где мы будем рисовать линии, параллельные осям  $x$  и  $t$ .

Теперь должно быть очевидно, что  $x'_A$  и  $t'_A$  имеют ту же протяженность, как и в неподвижной системе, поэтому

$$\frac{x'_A}{t'_A} = \text{скорость света.}$$

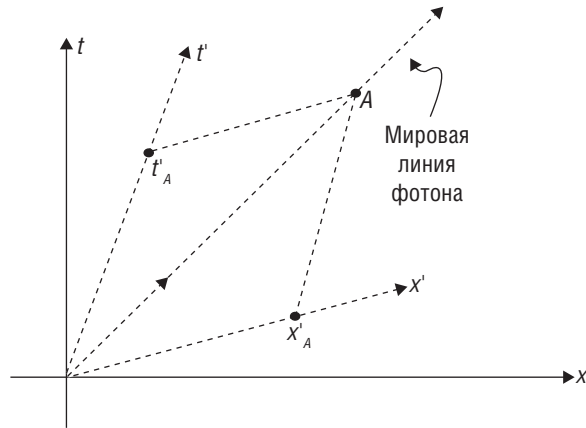


Рис. 6.3. Инвариантность мировой линии фотона

Скорость света – *единственная* инвариантная скорость при преобразовании Лоренца. Действительно, современный подход к специальной теории относительности подчеркивает эту инвариантность, а не идею о том, что скорость света является предельной скоростью, как центральное свойство скорости света.

Эта геометрическая интерпретация преобразования Лоренца позволяет нам быстро сделать еще одно интересное (и, я думаю, не очень очевидное) наблюдение: если частица быстрее, чем свет в системе  $x, t$ , то существует субсветовая система координат  $x', t'$ , для которой частица *бесконечно* быстра! На рис. 6.4 показана мировая линия сверхсветовой частицы в системе  $x, t$ . (Разумеется, она находится ниже мировой линии фотона; то есть она пространственно-подобная.) Предположим, что сверхсветовая частица имеет скорость  $w > c$  такую, что ее мировые линии образуют угол  $\beta$  с осью  $x$ . Если теперь мы выберем  $v$ , скорость движущейся системы координат  $x', t'$ , так, чтобы  $\alpha = \beta$ , то ось  $x'$  будет совпадать с мировой линией частицы, и частица появится у наблюдателя в системе  $x', t'$  *везде одновременно*, то есть будет бесконечно быстрой. Итак,

$$\beta = \tan^{-1}(v) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{w}\right),$$

или  $v = 1/w$ , что кажется неправильным по размерности. Напомним, однако, что при нашем соглашении  $c = 1$   $v$  в этом результате является *нормализованной* скоростью. Чтобы вернуться к традиционным единицам измерения, мы просто заменим  $v$  на  $v/c$  и  $w$  на  $w/c$ , что приведет наш результат к виду

$$\frac{v}{c} = \frac{c}{w}, \text{ или } v = \frac{c^2}{w}.$$

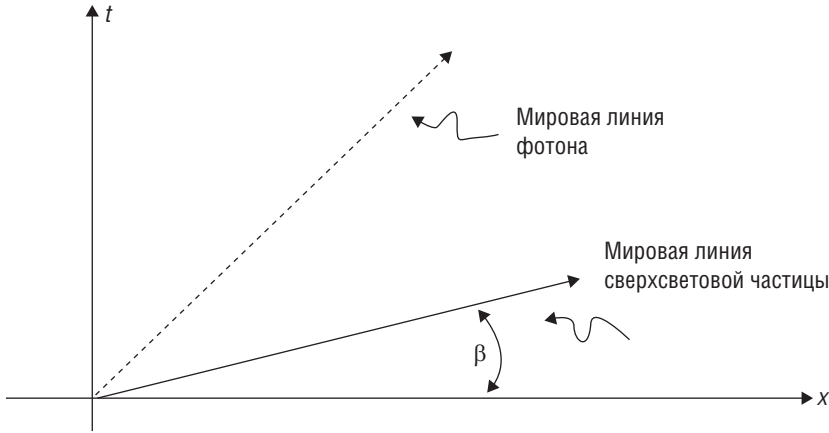


Рис. 6.4. Мировая линия сверхсветовой частицы

Мы можем, конечно, истолковать этот результат и в обратную сторону. Если сверхсветовая частица движется со скоростью  $w$  в системе  $x, t$ , то наблюдателю в системе  $x', t'$ , движущемуся с субсветовой скоростью  $v$ , будет казаться, что частица будет бесконечно быстрой, если  $w = c^2/v$ . Говорят, что частица с  $w > c^2/v$  не только сверхсветовая, но и *ультрасветовая*.

Если частица имеет бесконечную скорость  $w = c^2/v$ , что произойдет, если  $w$  действительно станет больше, чем  $c^2/v$ ? Ответ легко увидеть на диаграмме пространства-времени на рис. 6.5, где оси  $x'$  и  $t'$  были расширены до отрицательных значений. На этом рисунке я пометил два произвольных события  $A$  и  $B$  на мировой линии сверхсветовой частицы (которая, как видите, лежит ниже оси  $x'$ ) и отложил их координаты пространства-времени в обеих системах координат  $x, t$  и  $x', t'$ . Для системы  $x, t$  мы видим, что событие  $A$  связано с событием  $B$  соотношениями  $x_A < x_B$  и  $t_B < t_A$ ; то есть частица движется вперед во времени от  $A$  к  $B$  и движется в пространстве вдоль возрастающей оси  $x$ . Однако в системе  $x', t'$   $A$  связано с  $B$  отношениями  $x'_A < x'_B$  и  $t'_B < t'_A$ ; то есть порядок времени  $A$  и  $B$  для наблюдателя в системе  $x', t'$  меняется на противоположный. Этому наблюдателю кажется, что частица путешествует назад во времени!

Но это не совсем конец истории. Следуя подходу, представленному в работах Биланюка и Сударшана, отметим, что если энергия частицы в стационарной системе равна  $E$ , то энергия частицы в движущейся системе равна

$$E' = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} \frac{\mu(c^2 - wv)}{\sqrt{\left(\frac{w}{c}\right)^2 - 1}}.$$

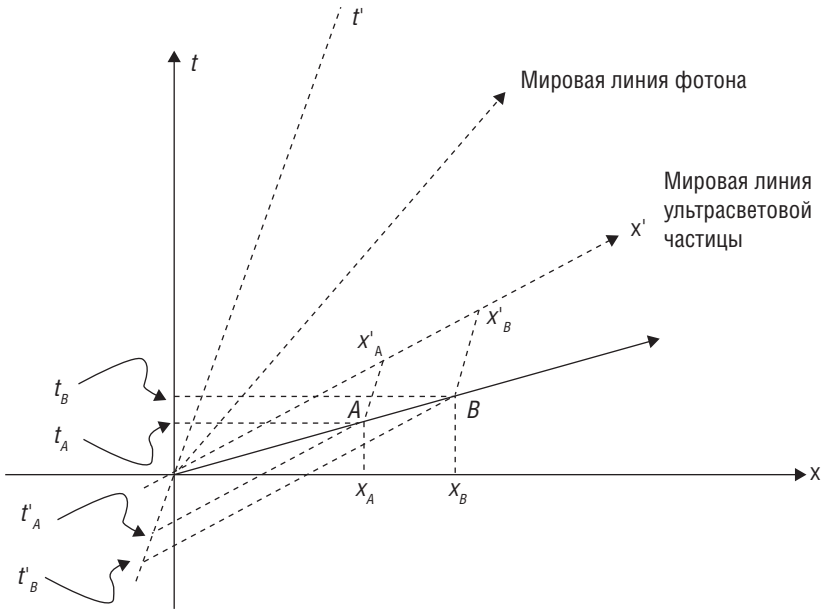


Рис. 6.5. Мировая линия ультрасветовой частицы

Обратите внимание, что знак  $E'$  переключается с положительного на отрицательный, когда  $w$  превышает  $c^2/v$ , что является условием для того, чтобы частица стала сверхсветовой и начала, по-видимому, двигаться назад во времени в системе со штрихом. То есть отрицательная энергия, движущаяся назад во времени в одной системе, является положительной энергией, движущейся во времени в другой системе. Исторически эта идея привела к открытию *принципа реинтерпретации* (reinterpretation principle, RP), который обсуждался в четвертой главе. Когда-то принцип реинтерпретации считался достаточным условием, позволяющим избежать проблемы путешествия во времени в прошлое и всех связанных с этим парадоксальных последствий. Однако сегодня это точка зрения меньшинства, и многие физики были удивительно изобретательны в построении сценариев с причинными парадоксами, которые принцип реинтерпретации явно не может отменить. Количество публикаций о парадоксах тахионов, выступающих как «за», так и «против», чрезвычайно велико.

Рассмотрим, например, ситуацию, описанную Соити Йошикава из Принстонского университета, в одном из ответов, полученных редакцией *Physics Today* на статью Биланюка и Сударшана. Больше того, Йошикава даже специально использует принцип реинтерпретации, чтобы прийти к причинному парадоксу! Как показано на рис. 6.6, в примере Йошикавы сверхсветовая частица испускается наблюдателем  $P$  в точке  $A$  в момент времени  $t = 0$



в стационарной системе. Для наблюдателя  $P$  частица движется вперед во времени и вдоль оси  $x$  в положительном направлении. Относительно движущийся наблюдатель (назовем его  $Q$ ) поглощает частицу в точке  $B$ . Далее, как мы уже установили, наблюдаемое  $Q$  явление на самом деле представляет собой частицу с отрицательной энергией, поглощенную в точке  $B$ , но из-за принципа реинтерпретации он интерпретирует явление так, будто частица положительной энергии испускается в точке  $B$  и движется обратно по оси  $x$  в отрицательном направлении.

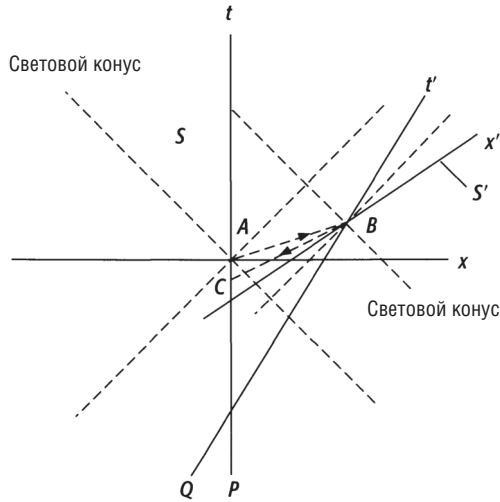


Рис. 6.6. Причинно-следственный парадокс при сверхсветовой скорости

Теперь допустим, что в момент, когда  $Q$  наблюдает это излучение, он также испускает второй тахион, который движется еще быстрее в отрицательном направлении оси  $x'$ . (Этот тахион более ультрасветовой, чем тот, который первоначально излучался в  $A$ .) Этот тахион затем поглощается в точке  $C$ , событие, наблюдаемое в версии прошлого  $P$ , потому что  $C$  встречается на оси  $t$  раньше, чем  $A$ ! Конечно,  $P$  видит второй тахион как частицу с отрицательной энергией, и (опять же из-за принципа реинтерпретации) он интерпретирует ее как излучение частицы с положительной энергией. Таким образом, излучение второго тахиона при  $t < 0$  было вызвано излучением первого тахиона при  $t = 0$ . Таким образом, мы имеем обратную причинность, когда  $P$  наблюдает, что событие происходит при  $t < 0$  из-за чего-то, что *будет* происходить при  $t = 0$ . Биланюк и Сударшан признали, что это подрывает позиции принципа реинтерпретации, и могли дать лишь слабый ответ, который включал «космологические граничные условия».

Конечно, главная проблема здесь – это угроза запутанного парадокса отмены. Представьте, что после того, как  $P$  увидит событие  $t < 0$ , он не испустит исходный тахион. Фактически Бенфорд с коллегами используют эту загадку

в качестве заключительного аргумента в своем известном «антителефонном» анализе примера двух людей, обладающих тахионными передатчиками, которые отправляют сообщения на один час назад: «Предположим, А и В заключат следующее соглашение: А отправит сообщение в три часа дня, если и только если он не получит сообщение в час дня. В отправляет сообщение в адрес А в час дня сразу после получения сообщения от А в два часа. Таким образом, обмен сообщениями произойдет тогда и только тогда, когда он не произойдет». В своем исследовании Гатлин более подробно изучает такие соглашения, отправленные в прошлое (или *контракты*, как их называет Гатлин), и в заключение делает провокационное заявление: «Хотя никогда не удастся разработать систему связи, которая передает сообщения из будущего в прошлое по запросу, ... сообщения из будущего могут иногда достигать прошлого». Возможно, пассивная станция прослушивания для обнаружения сообщений из будущего – не такая уж и сумасшедшая идея!

Физик-философ Дэвид Бом ранее представил по существу эквивалентные соображения. Как пишет Бом (отвергающий возможность отправки сообщений в прошлое): «По сути, S мог бы пообщаться со своим прошлым M и рассказывать своему прошлому себе, каким будет его будущее. Но, получив новые знания, этот M может решить изменить свои поступки, так что его будущий S будет отличаться от того, который отправил сообщение в прошлое. Например, личность в прошлом может совершить поступок, который сделает невозможным отправку сигнала из будущего. Таким образом, возникнет логическое внутреннее противоречие». Ошибка, скрытая в аргументе Бома, рассмотрена в пятой главе (раздел 5.5).

Со времени романа Грегори Бенфорда «Timescape» тахионы часто появлялись в художественной литературе, но не всегда были верно поняты писателями. Например, в рассказе Кука «Вещи времени», где сначала фигурирует генератор тахионов, отправляющий сообщения в прошлое, мы позже встречаем персонажа, пытающегося построить тахионный коммуникатор для передачи сообщений в далекое будущее! Вообще-то для этого достаточно простой записки в бутылке. И в этом же рассказе физик произносит следующее запутанное объяснение принципа реинтерпретации: «Несколько лет назад над гипотетической частицей, называемой тахионом, довели ограничения. Сначала считалось, что он должен двигаться быстрее света и иметь отрицательную массу. Затем предполагалось, что он будет иметь положительную массу и скорость ниже скорости света, но должен двигаться назад во времени». О, Боже мой...

Движение со сверхсветовой скоростью, бесспорно, выглядит заманчиво. Возьмем, например, эти слова русского физика С. В. Красникова:

*Всем известно, что ничто не может двигаться быстрее света. При скорбные последствия этого факта также хорошо известны. Большинство интересных или многообещающих кандидатов на колонизацию настолько далеки от нас, что световой барьер кажется непреодолимым*

*препятствием для любой экспедиции. Например, 200 парсек [1 парсек равен приблизительно 3,2 световых года] от нас до Полярной звезды, 500 парсек до Денеба (самой яркой звезды в созвездии Лебедь) и 10 килопарсек до центра Галактики, не говоря уже о других галактиках (сотни килопарсек). Нет смысла отправлять экспедицию, если мы знаем, что пройдут тысячи лет, прежде чем мы получим ее отчет. С другой стороны, перспективы вечного пребывания в Солнечной системе без надежды на посещение других цивилизаций или на изучение ближайших черных дыр, сверхгигантов и других чудес настолько мрачны, что кажется необходимым искать какой-то выход.*

Итак, повторяю вопрос, заданный в конце раздела 6.5: будут ли когда-нибудь совершаться поездки на скорости быстрее света людьми на космических кораблях? Почти наверняка не в нашей жизни, но когда-нибудь – может быть. Это может показаться невероятным ответом, поскольку, как я сказал в данном разделе, весьма *маловероятно*, что люди когда-либо совершат очень быстрые (но субсветовые) перелеты. Разница в том, что путешествия на сверхсветовой скорости будут совершаться в очень необычном пространстве-времени. То есть продолжая словами Красникова:

*Дело в том, что, хотя в специальной теории относительности существует световой барьер, в общей теории относительности можно попытаться изменить время, необходимое для некоторого путешествия, не только изменяя скорость, как в специальной теории относительности, но также ... изменяя расстояние, которое нужно преодолеть.*

Чтобы понять, к чему стремится Красников, рассмотрим теоретические рассуждения Алькубьерре о том, как на самом деле создать варп-двигатель как у корабля в «Звездном пути»! Он сделал это, продемонстрировав метрику пространства-времени, которая, буквально расширяя и сжимая пространство-время, обеспечивает перемещение в пространстве между любыми двумя точками, независимо от того, как далеко они друг от друга, и за сколь угодно мало времени (как для космического корабля, так и для наблюдателей вне космического корабля, поэтому нет эффекта замедления времени).

Алькубьерре отмечает, что идея расширения пространства-времени не нова для него. Действительно, в теории Большого взрыва о происхождении вселенной это аксиоматика. Однако определение того, как достичь деформации пространства-времени, сильно отличается от простой демонстрации того, что такая деформация согласуется с общей теорией относительности. Например, фильм «Звездный путь: первый контакт» 1996 года об изобретении варп-двигателя в двадцать первом веке: все сводится к выбросам антивещества для искажения пространства, что, по видимому, является огромной недооценкой сложности механизмов, которые потребуются для управления энергией, необходимой для настоящего

варп-двигателя. Одна довольно интересная особенность варп-двигателя Алькубьерре заключается в том, что экипаж космического корабля не испытывает ускорения или приливных сил. Это может объяснить – без необходимости придумывать «инерционные демпферы», – почему экипаж «Энтерпрайза» не сплюснен и не разорван на части, когда офицер Сулу включает варп-двигатель этого корабля. Космический корабль окружен «пузырем» искривленного пространства-времени, который сопровождается комбинированным двухтактным эффектом расширения пространства-времени позади корабля и сокращения пространства-времени впереди. Сам корабль, однако, находится во внутреннем пространстве пузыря, что означает, что корабль всегда находится в свободном падении. «Единственная» проблема заключается в том, что проект Алькубьерре требует «экзотической материи» – материала, который нарушает все три обычно предполагаемых энергетических условия общей теории относительности. (Энергетические условия определены в словаре терминов в конце книги и кратко рассмотрены в разделе 6.3.)

Все слабые, сильные и типовые энергетические условия нарушаются, потому что деформация пространства-времени Алькубьерре требует *отрицательной* плотности энергии в тонкой «оболочке» пузыря – это требование увеличивается с квадратом скорости деформации. Отрицательная плотность энергии может быть достигнута в микроскопическом масштабе и, возможно, даже в макроскопическом масштабе (посредством использования так называемой «экзотической материи»); об этом подробнее сказано также в разделе 6.3 о червоточинах. Кроме этого, у варп-двигателя есть две довольно серьезные эксплуатационные проблемы. Во-первых, любая космическая материя, с которой сталкиваются передние края варп-пузыря (где пространство-время сжимается), например межзвездная пыль, безусловно, будет испускать свою энергию в виде интенсивного излучения. Корабль, таким образом, должен обладать серьезными защитными экранами, что, как ни странно, не является проблемой, потому что плотность энергии пузыря сама по себе не зависит от массы во внутреннем, плоском пространственно-временном центре. В любом случае, варп-двигатель, очевидно, не должен быть задействован рядом с каким-либо значительным куском материи, например с планетой! Во-вторых, Красников открыл еще более серьезную проблему. В неопубликованной работе, описанной у Эверетта и Романа, он показал, что корабль в центре пузыря *не связан причинно* с краями пузыря. То есть экипаж корабля не может создать искривленный пузырь по своему желанию, а после его создания не может им управлять.

Важно понимать, что это означает и что *не* означает. Проблема причинности не означает, что пузыри деформации Алькубьерре невозможно создать (даже если в самом деле невозможно, то не из-за отсутствия причинности). Это означает лишь то, что любое действие, необходимое для изменения метрики пространства-времени, чтобы создать пузырь деформации, должно быть уже выполнено до того, как будет принято решение использовать

пузырь. Таким образом, варп-пузырь не пригодится для космического корабля, которому необходимо избежать внезапной, неожиданной угрозы. Но, как осторожно отмечают Эверетт и Роман, у варп-пузыря может быть более прикладное использование. «Предположим, что пространство искривлено, чтобы создать пузырь, движущийся от Земли к некоторой далекой звезде, например Денебу, со сверхсветовой скоростью. Космический корабль, должным образом расположенный по отношению к траектории движения пузыря, может затем принять решение войти в него, подобно пассажиру, который ловит проезжающую мимо тележку и, таким образом, совершает сверхсветовое путешествие».

В конце своей статьи Алькубьерре размышлял о возможности использования своего сверхсветового двигателя для создания машины времени, но он не показал, как это сделать. За него это сделал Эверетт, воспользовавшийся, что неудивительно, аргументом, который он назвал «напоминающим о принципе “реинтерпретации”... который сыграл важную роль в обсуждении физики тахионов». Позднее Парсонс тоже написал о том, как превратить варп-двигатель Алькубьерре в машину времени.

Пытаясь решить проблему причинности пузыря деформации пространства Алькубьерре, Красников искал другую, причинно связанную сверхсветовую метрику пространства-времени. Как сообщается в статье Эверетта и Романа и в работе самого Красникова, его поиски увенчались успехом, но вместо пузыря искривление Красникова имеет форму трубки. Внутренняя часть трубки является плоским пространством-временем, так же, как и в случае исходного пузыря, но в этом случае между экипажем космического корабля и трубкой будет причинно-следственная связь. Трубка Красникова устроена точно так же, как и варп-пузырь, то есть требует очень тонких стенок с отрицательной плотностью энергии (порядка нескольких тысяч длин Планка). Однако, в отличие от пузыря, трубчатая деформация растягивается на всю длину любого предполагаемого путешествия, поэтому общая отрицательная энергия в деформации невероятно велика. Для трубки длиной всего один метр и шириной один метр общая отрицательная энергия составляет  $10^{28}$  солнечных масс, а для создания трубки от Земли до ближайшей звезды потребуются  $10^{44}$  солнечных масс отрицательной энергии!

Одна любопытная особенность деформации Красникова состоит в том, что *исходящий* этап путешествия не может быть выполнен за меньшее время, чем требуется свету. Но на обратной половине пути путешественник обнаружит, что метрика пространства-времени настолько изменилась (из-за массово-энергетических манипуляций, выполненных на исходящем участке), что он будет двигаться «назад во времени». Окончательный результат состоит в том, что путешествие может закончиться в произвольный момент вскоре после его начала! Как осторожно заключают Эверетт и Роман, труба Красникова «очень маловероятна». Но это было бы замечательное устройство для научной фантастики, не так ли?

## 6.2. Машины времени Гёделя и Типлера

*«...в течение сорока восьми часов мы изобрели, спроектировали и собрали хрономобиль. Я не буду утомлять вас деталями, за исключением замечания, что он действовал путем перемещения седьмого и одиннадцатого измерений в космическую дыру, создавая тем самым обратный эфир-вихрь и поддерживая пространственно-временной континуум перед собой».*

*– Де Кэмп (1981), но вряд ли так можно построить машину времени*

Здесь я намерен продемонстрировать, как вы можете визуализировать путешествие во времени в прошлое без необходимости писать хотя бы одну строчку математических уравнений. Я начну с примера Гёделя, который описывает жесткую, нерасширяющуюся, равномерно вращающуюся вселенную. Такие модели вращающейся вселенной были изучены еще в 1924 году венгерским физиком Корнелиусом Ланцошем, но именно Гёдель открыл их свойство путешествий во времени. Одним из результатов общей теории относительности, который я буду использовать здесь (без доказательств), является то, что вращение вещества вызывает искажение в пространстве-времени, которое приводит к опрокидыванию световых конусов, а конус будущего наклоняется в направлении вращения. Если вы представляете себе точку во вселенной, вокруг которой происходит вращение, то этот эффект опрокидывания увеличивается с увеличением радиального расстояния от этой точки.

Тот факт, что вращающиеся массы опрокидывают световые конусы в направлении вращения, был обнаружен в самом начале истории общей теории относительности (1918 год) немецкими теоретиками Йозефом Лензе и Хансом Тиррингом. Первоначально называвшийся эффектом Лензе-Тирринга, сейчас он обычно называется эффектом увлечения (или перетаскивания) инерциальных систем (*dragging of inertial frames effect*). Первоначально эффект перетаскивания ткани пространства-времени был строго теоретическим, но в конце 1997 года две отдельные группы заявили, что обнаружили его в данных наблюдений со спутника NASA Rossi X-Ray Timing Explorer. Группа исследователей из MIT утверждает, что видела, как за черными дырами тянутся шлейфы искажений пространства-времени, а другая команда из Астрономической обсерватории в Риме сообщила, что она наблюдала эффект вокруг вращающихся нейтронных звезд. Последующие наблюдения с помощью новых спутников подтвердили наличие этого эффекта.

Для пространства-времени Гёделя решающее значение имеет перетаскивание системы и наклон светового конуса. На определенном критическом расстоянии световой конус будущего для данной точки в пространстве-времени сместится в конус прошлого аналогично наклоненных световых ко-

нусов одной из близлежащих точек. Это показано на рис. 6.7, который был взят из работы Герберта (1988). На рисунке показано семейство световых конусов во вращающейся вселенной. Поскольку световые конусы наклоняются из-за поворота, вызванного вращением в пространстве-времени, путешественник может путешествовать по круговой траектории в свое местное будущее и в конечном итоге оказаться в своем собственном глобальном прошлом, даже не двигаясь быстрее света. Этот вид кругового путешествия, траектория которого возвращается в прошлое, никогда не становясь пространственно-подобной, является примером замкнутой времениподобной кривой. На диаграмме показано, как путешественник во времени, стартовавший в точке А, может проложить свой путь по круговой траектории, которая возвращает его через световой конус собственного прошлого обратно в точку А. Траектория должна иметь радиус, по крайней мере, такой же, как критическое значение, о котором я говорил. Мировая линия путешественника всегда находится внутри локального светового конуса; то есть мировая линия путешественника во времени всегда подобна времени, и она никогда не превышает скорость света. Поскольку эти времениподобные линии присутствуют с самого начала пространства-времени, вселенную Гёделя называют слабой машиной времени.

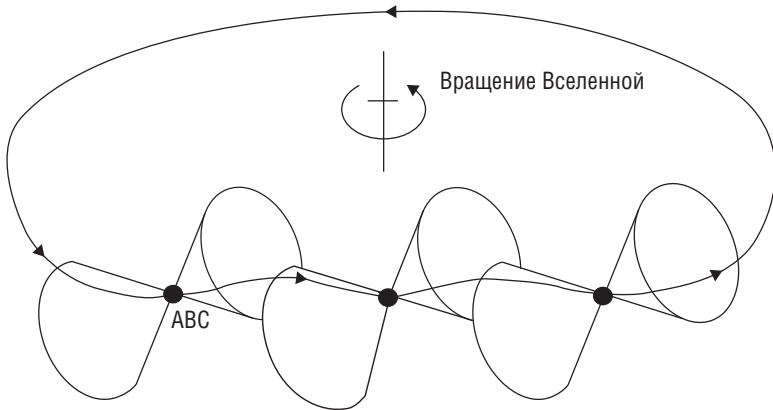


Рис. 6.7. Наклонные световые конусы во вращающейся вселенной

Вы можете увидеть, как это работает с математической точки зрения, взяв метрику пространства-времени для вселенной Гёделя (как обычно, скорость света  $c = 1$ ):

$$(ds)^2 = (dt)^2 - (dr)^2 - (dy)^2 + \sinh^2(r) [\sinh^2(r) - 1](d\phi)^2 + \sqrt{2}\sinh^2(r)(d\phi)(dt),$$

где  $t, r, y$  и  $\phi$  – цилиндрические координаты в четырехмерном пространстве-времени. Теперь представьте, что мировая линия нашего искателя приклю-

чений – это спиральная кривая, у которой  $r = \text{константа}$ ,  $y = 0$  и  $t = -\alpha d\varphi$ . Если, как обычно, мы изображаем ось времени как вертикаль, то мировая линия путешественника во времени является вертикальной спиралью в пространстве-времени. Для этой кривой  $dr = dy = 0$  и  $dt = -\alpha d\varphi$ . Этот последний дифференциал, в частности, означает, что независимо от знака постоянной  $\alpha$  мы можем выбрать одно из двух направлений движения в пространственном измерении  $\varphi$ , дающее  $dt < 0$ .

Продолжая преобразования, мы получим

$$(ds)^2 = [a^2 - \sqrt{2} \alpha \sinh^2(r) + \sin^2 h(r)(\sin^2 h(r) - 1)](d\varphi)^2,$$

или, если  $u = \sinh(r)$ , имеем  $(ds)^2 = [a^2 - \sqrt{2} \alpha u^2 + u^2(u^2 - 1)](d\varphi)^2$ . Теперь для  $\alpha = 0$  имеем  $(ds)^2 = u^2(u^2 - 1)(d\varphi)^2$ , что больше 0, если  $u > 1$ . Это условие выполняется, если  $\sinh(r) > 1$ , то есть если  $r = \text{постоянная}$ , большая, чем  $(1 + \sqrt{2})$ . Другими словами, для достаточно большого  $r$  (и теперь мы знаем критическое значение, упомянутое в тексте) мы имеем  $(ds)^2 > 0$ , что является условием, обсуждаемым в разделе 3.10 для времениподобного интервала. Таким образом, в силу непрерывности мы по-прежнему будем иметь  $(ds)^2 > 0$  даже при некотором небольшом положительном или отрицательном значении, отличном от нуля. Поскольку  $\varphi$  – периодическая координата (мы отождествляем  $\varphi = 0$  с  $\varphi = 2\pi$ ), когда путешественник движется по кривой, она неоднократно возвращается в те же пространственные точки, но ее временная координата становится все более отрицательной. То есть она движется в прошлое. Отметим еще раз, что во вселенной Гёделя это свойство сохраняется только для орбит с радиусами, превышающими определенный минимум. Однако существуют другие решения уравнений поля Эйнштейна, которые описывают замкнутые времениподобные кривые произвольно малого радиуса.

Вселенная Гёделя бесконечна по размерам и не расширяется, поэтому она должна вращаться достаточно быстро, чтобы противостоять гравитационной тенденции к коллапсу. Чем больше материи во вселенной, тем выше минимально необходимая скорость вращения. Если бы наша вселенная была гёделианской, она должна была бы совершать полный оборот каждые 70 млрд лет, а критический радиус составил бы 16 млрд световых лет. Круговая орбита на рис. 6.7 должна иметь радиус не менее 100 млрд световых лет! Чтобы отправить человека в такое путешествие за разумное время, потребуется корабль, движущийся со скоростью, близкой к скорости света, и это кажется фантастическим требованием. Интересную интерпретацию этой «инженерной» трудности представил американский математик Эйб Склар. Касаясь путешествий во времени в целом (не только во вселенной Гёделя) и после первого аргумента в пользу логической возможности замкнутых времениподобных кривых, Склар написал:



*Конечно, существует практическая невозможность [мой курсив – П. Н.] обхода замкнутой времениподобной линии ... хотя в принципе это не является опровержением типичного возражения [парадокса дедушки] насчет возможности замкнутых времениподобных линий, это может служить основанием для аргумента в следующем смысле: «если бы существовали такие замкнутые времениподобные линии, мы могли бы увидеть множество самопричинных событий. Но мы этого не наблюдаем». Здесь практическая невозможность [мой курсив] обхода петли упомянута только для объяснения последствий этого – отсутствия наблюдаемых явлений, – даже если бы наш мир и являлся причинно-патологическим в этом глобальном смысле. Проще говоря, в качестве опровержения утверждения о том, что замкнутые причинно-следственные связи невозможны, поскольку они могут генерировать причинно-следственные парадоксы, простая ссылка на практическую невозможность создания такой петли не работает.*

Конечно, радиосигнал, распространяющийся со скоростью света, мог бы использоваться для отправки сообщений в прошлое – во вселенной Гёделя. Но наша Вселенная не гёделева, и у нас нет таких природных путей для путешествий во времени и/или передачи сообщений. Этот вывод, несомненно, сильно разочаровал бы Гёделя, который еще долго после публикации его работы в 1949 году сохранял живой интерес к любым наблюдательным данным, которые могли бы указать на вращение нашей Вселенной. Вопреки его очевидной обеспокоенности возможностью изменить прошлое или, возможно, благодаря ей, Гёдель был совершенно очарован идеей путешествия во времени. Даже автор некролога Гёделя в «Биографических мемуарах» Королевского общества предположил, что увлечения призраками (!) и путешествиями во времени каким-то образом связаны (сигналы «призраков» распространяются по замкнутым времениподобным линиям?). Теперь нам хорошо известно, что Гёдель был одержим своим личным здоровьем, и его пугали мысли о смерти, поэтому было высказано предположение, что интерес Гёделя к путешествиям во времени возник из какой-то его идеи о «продолжении» жизни после смерти.

Помимо проблемы вращения, во вселенной путешествий во времени Гёделя есть еще один недостаток. Метрике пространства-времени Гёделя присуще ненулевое значение для так называемой космологической постоянной  $\lambda$ , свободного параметра, впервые введенного самим Эйнштейном в 1917 году в уравнениях поля (почему он это сделал, поясняется дальше в разделе 6.4). Фактически во вселенной Гёделя  $\lambda$  устанавливает локальную плотность энергии в постоянное, равномерное значение везде, что представляет собой явно неестественную ситуацию при  $\lambda \neq 0$ . Вы можете

присвоить  $\lambda$  любое значение, какое пожелаете, и обнаружите, что в решении уравнений Гёделя оно определяет минимальный радиус для замкнутых времениподобных кривых; его квадратный корень появляется в знаменателе для выражения, дающего этот минимальный радиус. Однако в наблюдаемой Вселенной космологическая постоянная очень близка к нулю. Возможно, на самом деле она точно равна нулю, потому что астрономические данные, приведенные Хокингом, предполагают, что  $\lambda$ , вероятно, не превышает  $10^{-54} \text{ см}^{-2}$ . Это говорит о том, что минимальный радиус будет бесконечным, и еще раз показывает, что в нашей Вселенной не может быть естественных замкнутых времениподобных кривых, даже если она вращается.

Вращающийся бесконечный цилиндр Типлера – это механизм для искусственного создания эффекта опрокидывания светового конуса и создания замкнутых времениподобных кривых. По этой причине цилиндр Типлера называют *сильной* машиной времени. Рисунок 6.8, взятый из диссертации Типлера 1976 года, показывает, как работает его цилиндр. Цилиндр представлен центральной вертикальной осью. Вдали от цилиндра световые конусы в пространстве-времени находятся в вертикальном положении, но, когда мы приближаемся к цилиндру, они опрокидываются, причем конусы будущего направлены в сторону вращения. (На рисунке показаны только световые конусы будущего.) Это направление, то есть направление, которое вдали от цилиндра измеряет *пространство*, около цилиндра измеряет *время* (как во вселенной Гёделя). То есть происходит смена измерения! Эта невероятная возможность нашла применение в научной фантастике, например в романе Стивена Бакстера «Корабли времени», в котором рассказчик из викторианской эпохи говорит: «Если бы хоть кто-то мог поменять местами одно из измерений пространства с измерением времени – скажем, длину и продолжительность, – тогда он бы прогулялся по историческим коридорам так же легко, как взять такси в Вест-Энде!»

Поэтому, чтобы путешествовать во времени, путешественнику нужно всего лишь покинуть Землю и приближаться к цилиндру до тех пор, пока он не окажется в опрокидывающей области пространства-времени. Если он затем начнет двигаться по спиральной траектории вокруг цилиндра, то сможет продвинуться в *отрицательном* направлении времени так далеко назад, как хотелось бы, – но не дальше, чем до момента создания цилиндра. Это движение таково, что путешественник во времени всегда движется в свое местное будущее через опрокинутые световые конусы. Наконец, он покидает окрестности цилиндра и возвращается на Землю – в прошлом. Конечно, путешественнику во времени лучше быть хорошим космическим навигатором, потому что Земля будет совсем не там, где он ее оставил!

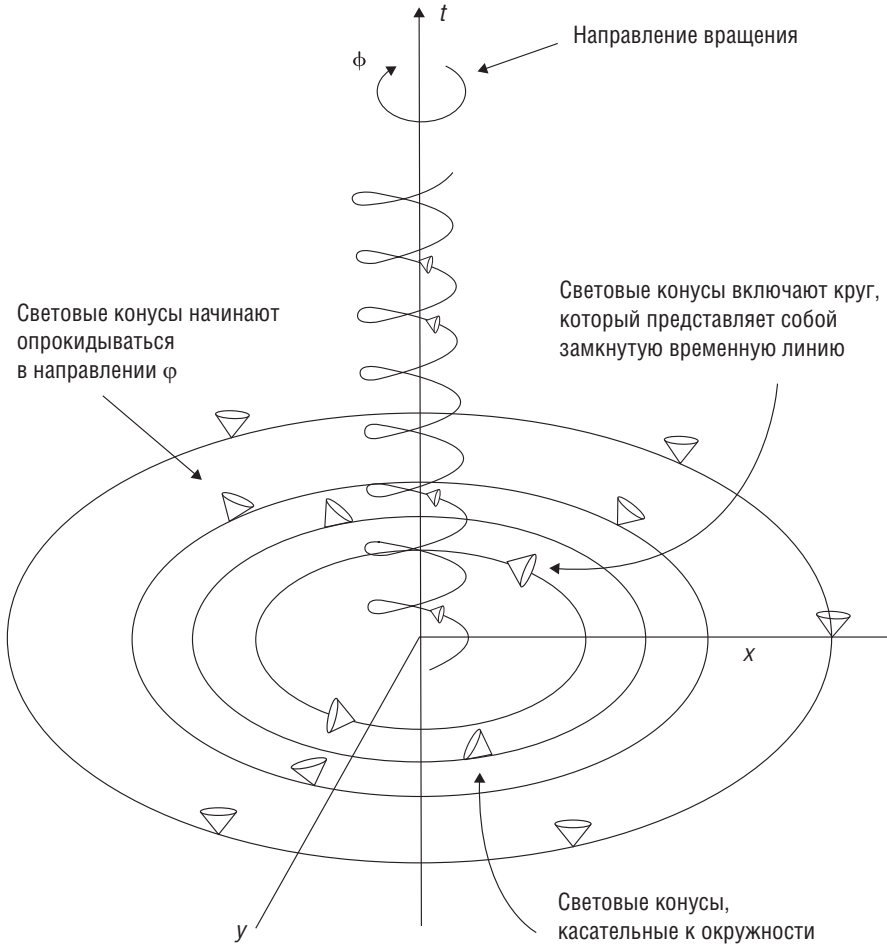


Рис. 6.8. Световые конусы будущего почти точно указывают в направлении  $+t$  вдали от вращающейся материи; однако они начинают опрокидываться по мере приближения к ней. Обратите внимание, что существует спиралевидная времениподобная траектория, которая направлена в локальное будущее в направлении  $-t$ , то есть она уходит в прошлое с точки зрения наблюдателя вдали от вращающейся материи (мировые линии вращающейся материи являются спиралями в направлении  $+t$ )

### 6.3. Машины времени Торна на основе червоточин

*Этот факт подкрепляет мнение авторов о том, что замкнутые петли времени не настолько неприятны, как обычно принято думать.*

- Фридман и соавторы (1990), после математической демонстрации того, что путешествие во времени через червоточину не противоречит закону сохранения энергии

*Если какие-то действительно продвинутые существа не сделали для нас одну из таких машин, мы не вернемся к динозаврам.*

- Франк Дж. Типлер, в комментарии к описанию машины времени на основе червоточины в журнале *Discover*, июнь 1989 г.

*Пространство-время рыхлое. Червоточины пронизывают ткань пространства-времени на всех уровнях. В масштабе длины Планка и ниже червоточины, возникающие в результате эффектов квантовой неопределенности, размывают чистые эйнштейновы линии пространства-времени. И некоторые из червоточин расширяются до человеческого размера и более – иногда спонтанно, а иногда и побуждаемые нашим интеллектом.*

- Из романа Стивена Бакстера «Бесконечность времени» (1993) об инопланетной цивилизации из далекого будущего, способной контролировать энергию созвездий галактик

*Петли времени всегда сопровождаются отрицательной энергией, которая запрещена как противоречащая физике, или разрушительными объектами, такими как черные дыры и взрывающиеся вселенные. Такие объекты действуют как сторожевые драконы Природы, охраняя машины времени от глупцов, которые норовят проникнуть внутрь.*

- Тревожное предостережение в «Опасностях путешествий во времени» (*Scientific American*, февраль 1994 г.)

Червоточина пространства-времени в настоящее время является наиболее многообещающим из подходов, которые были предложены для создания машины времени. Гёдель вращал всю вселенную в 1949 году, тогда как Типлер в 1974 году уменьшил проблему до «простого» вращения цилиндра бесконечной длины. В 1988 году Кип Торн еще больше поменял масштабы, на этот раз до другой крайности. Его идея заключается в том, чтобы вытянуть червоточину в масштабе длины Планка из топологически многократно связанной квантовой пены, которая представляет собой пространство-время, и затем каким-то образом увеличить ее до человеческого масштаба,

в то же время удерживая ее от саморазрушения, и, наконец, использовать эффект замедления времени в специальной теории относительности для изменения времени в одном устье червоточины по сравнению с другим устьем. Остальная часть этого раздела посвящена объяснению того, что все это значит.

Сами червоточины известны в физике уже много десятилетий, но считалось, что они настолько нестабильны, что существуют только на бумаге в математике общей теории относительности. Например, в исследовании, проведенном Фуллером и Уилером и опубликованном почти семьдесят лет назад, нестабильность червоточины оказалась настолько серьезной, что не только человек, но даже одиночный быстрый фотон не мог проскочить через нее. Даже со скоростью света фотон не успевал прорваться через червоточину, не оказавшись «зажатым» в ловушке внутри области бесконечной кривизны пространства-времени. Червоточины просто разрушались бы слишком быстро после формирования, не успевая сохранить что-либо внутри. На самом деле присутствие массы-энергии внутри червоточины фактически ускоряет ее разрушение. Казалось бы, динамика червоточин делает их просто невозможными. Стюарт забавно называет это «эффектом кошачьей дверки»: перемещение массы через червоточину заставляет дверку потянуться следом и «прищемить хвост».

И вообще, как получить доступ к червоточине? Как предположили Моррис и Торн, можно допустить существование вращающейся черной дыры Керра–Ньюмена, которая математически содержит в своей внутренней части так называемые гиперпространственные туннели к «другим местам» – либо в нашей Вселенной, либо в другие вселенные (рис. 6.9). В случае червоточины, соединяющей два места в одной и той же вселенной, хотя внешнее расстояние между местами может быть очень большим (миллионы световых лет), возможно, что расстояние через саму червоточину может быть очень маленьким. Время, необходимое для прохождения червоточины, измеренное часами путешественника, может быть практически нулевым. Однако в этой же статье приводятся веские аргументы в пользу того, почему таких червоточин Керра–Ньюмана, скорее всего, не существует и почему, даже если они существуют, они непроходимы. Но еще не все потеряно. Далее Моррис и Торн утверждают, что существуют другие точные решения уравнений поля Эйнштейна, которые описывают гиперпространственные червоточины без каких-либо проблем, присущих червоточинам Керра–Ньюмана.

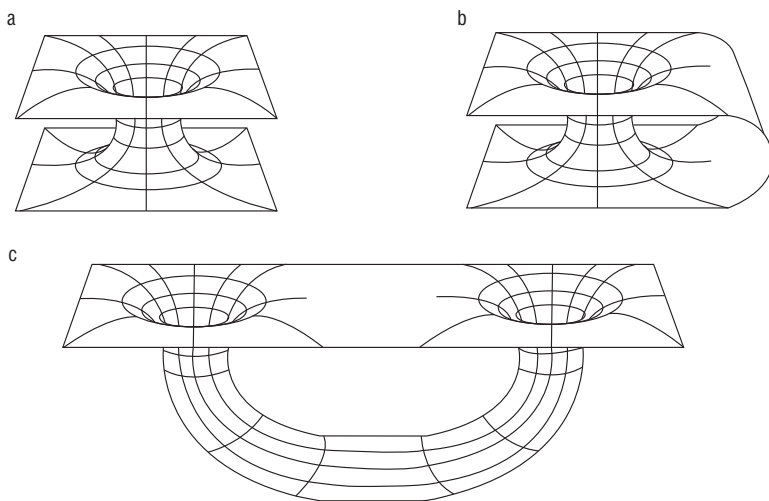


Рис. 6.9. Эти рисунки неизбежно вводят в заблуждение, поскольку представляют собой двумерные изображения червоточин, которые соединяют два места в трехмерном пространстве. Червоточины машины времени, в свою очередь, соединяют два места в четырехмерном пространстве-времени. Кроме того, устья червоточин будут появляться не в виде углублений, в которые погружается ракетный корабль путешественника во времени, а в виде трехмерных сфер (хотя для червоточин, преобразованных в машины времени, сферическая симметрия заменяется осевой симметрией, как будет обсуждаться позже в тексте). Червоточина (a) соединяет две непересекающиеся вселенные, в то время как в случаях (b) и (c) есть связи между двумя местами в одной и той же вселенной. Как показано в этих двух последних случаях, «ручка» червоточины может быть длиннее или короче по сравнению с расстоянием во внешнем пространстве между устьями червоточины

Такие проблемы включают в себя наличие одностороннего горизонта событий, который препятствует двустороннему путешествию (разумно предположить, что путешественники во времени и пространстве захотят вернуться домой), и огромные гравитационные градиенты (приливные силы), которые разрывают все, что приближается к устью. Именно гравитационные приливные силы почти убивают персонажа в классическом рассказе Ларри Нивена «Нейтронная звезда». В художественной литературе подобные проблемы чаще всего игнорируются. Например, машина времени в «Мосте между годами» Вильсона представляет собой туннель времени, через который путешественники могут пройти пешком. В рассказе «Туннель времени» (Лейнстер) персонажи просто слоняются туда-сюда между двумя отверстиями в стене, которые соединяют одно и то же место в пространстве, разделенное во времени на 160 лет. А Генри Каттнер использовал дыру в пространстве-времени, которая была типичной червоточиной, хотя и называлась машиной времени, через которую можно буквально шагнуть из будущего в прошлое и обратно. Этот рассказ, «Шок», впервые

опубликованный в 1943 году, также ввел термин «*tugwump*»<sup>1</sup> для путешественника во времени, который использует червоточину в качестве машины времени. Перефразируя путешественника во времени Каттнера, проходящего через червоточину, его лицо находится в прошлом, а его зад – в будущем!

После публикации работы Морриса и Торна Голливуд быстро воспользовался идеей использования червоточин для путешествий во времени. Например, в совершенно ужасном фильме «Бегущий во времени» 1992 года герой проваливается в одну из них и попадает из 2022-го в 1992 год. Оказавшись в прошлом, он меняет историю по своему желанию. Он даже наблюдает, как его мать умирает во время родов, и, учитывая, что ее смерть является для него неожиданностью, можно предположить, что развитие истории также пошло по новому пути. В телевизионном сериале «Слайдеры» есть группа персонажей, которые каждую неделю оказываются в новом мире, в который они попадают после «скольжения» по внутренностям трубочатой червоточины.

Теперь хочу сделать уточнение относительно червоточин, о которых я пишу в данном разделе. На самом деле в современной физической литературе рассматривают два вида червоточин. Те, которые нам интересны, – подходящие для путешествий во времени – называются лоренцевыми червоточинами и имеют метрику пространства-времени с лоренцевой сигнатурой  $[+, -, -, -]$  (см. раздел 3.10). Кроме того, червоточина по умолчанию считается статической, то есть не меняет со временем свое поведение. В конце этого раздела я приведу несколько комментариев о недавних исследованиях нестатических червоточин. Другой тип червоточины встречается в квантовой теории гравитации; у него есть метрика с евклидовой сигнатурой  $[+, +, +, +]$ . Такая червоточина не подходит для путешествий во времени, потому что движение в червоточине с евклидовой сигнатурой либо подразумевает воображаемый импульс, либо происходит в воображаемое собственное время. Обе ситуации физически неосуществимы для путешественника,двигающего через червоточину в реальном времени.

Как же нам попасть в одну из статичных проходимых червоточин? Моррис, Торн и Юртсевер честны – они не знают. Их лучшее предложение заключается в том, что «можно представить, как развитая цивилизация формирует такую червоточину из квантовой пены и расширяет ее до классических размеров». «Квантовая пена» основана на идее, что топология пространства-времени всегда меняется: изменения представляют собой топологические флуктуации, размер которых соответствует масштабу длины Планка. Что это значит? Подобно поверхности океана, в целом крупномасштабное пространство-время цельное. Но как человек может разглядеть различные виды структур, когда он более внимательно посмотрит на воду (начиная с волн, а затем переходя к пене на волнах), пространство-время так же демонстрирует флуктуации в сверхмалых масштабах. Это «квантовая пена».

<sup>1</sup> Здесь у автора забавная игра слов. На английском «*tugwump*» означает влиятельную персону или политика-одиночку, а по отдельности «*tug*» – физиономия; «*wump*» – округлый пухлый зад. Можно представить ситуацию, когда путешественник просунул *tug* в червоточину, а в нашу сторону торчит только его *wump*. – *Прим. перев.*

Подобные понятия трудно визуализировать, но давайте будем смелыми и предположим, что мы можем «вытащить» червоточину из квантовой пены. Если это так, то, как только червоточина начнет расти, нам придется стабилизировать ее от коллапса, пронизывая ее либо материей, либо полями колоссального отрицательного (внешнего) напряжения, а под *колоссальными* они имеют в виду действительно НЕВЕРОЯТНЫЕ напряжения. Как показали Моррис и Торн, если  $b_0$  обозначает минимальный радиус червоточины (размер так называемой горловины червоточины), то натяжение (радиальное давление) в этом месте должно быть не менее

$$\tau_0 = \frac{3,8}{b_0} \times 10^{36} \frac{\text{tons}}{\text{in}^2},$$

где  $b_0$  выражается в сантиметрах. Исходное уравнение для  $\tau_0$  было дано в единицах дин/см<sup>2</sup>, причем  $b_0$  выражено в метрах. Я преобразовал эти единицы в более привычные единицы измерения в тоннах на см<sup>2</sup> для познавательных целей, потому что единица измерения давления (растяжения) дин/см<sup>2</sup> настолько мала, что не может быть связана с чем-нибудь, имеющим повседневное значение. Для червоточины с радиусом устья всего несколько сотен метров значение  $\tau_0$  имеет ту же величину, что и давление в центре самой массивной нейтронной звезды. Чтобы стабилизировать обычную бытовую червоточину, такую как туннель метро, мы можем получить необходимое напряжение/давление, облицевав туннель железными плитами или бетоном. Но как можно изготовить «железные пластины» для гиперпространственной червоточины, которые могут выдержать столь невероятное давление? Как говорят Моррис, Торн и Юртсевер, такие вещи можно назвать только «экзотическими».

Один из возможных подходов фактически вообще не использует материю. Если мы сделаем  $b_0$  *очень* большим, то нематериальные поля сделают работу по стабилизации за нас. Действительно, предположим, что  $b_0$  равен одному световому году (это большая червоточина по любым меркам). Тогда  $\tau_0$  составляет «всего» 600 т/см<sup>2</sup>, и этого можно достичь, пронизывая горловину червоточины магнитным полем «всего» 2 700 000 гаусс. Чтобы вы могли оценить это число – оно в пять миллионов раз больше, чем магнитное поле Земли. В принципе, такое поле можно создать искусственно, но в настоящее время это строго лабораторное упражнение (например, экспериментальные электромагнитные рельсовые ружья, разгоняющие заряд до гиперскорости, и бронебойные противотанковые ружья используют ускоряющие магнитные поля в диапазоне мегагаусс). Чтобы понять, как выполняется расчет магнитного поля по отношению к давлению, отметим, что давление на площади эквивалентно энергии поля на единицу объема, что, в свою очередь, дает известный результат в теории электромагнитного поля.

Как будто предыдущих проблем было недостаточно, Моррис, Торн и Юртсевер продолжают доказывать, что есть еще одна, даже более любопытная проблема. Из геометрического требования, чтобы внутренняя часть черво-



точины плавно соединялась с внешним асимптотически плоским пространством-временем (см. раздел 3.10), следует, что горловина червоточины должна расширяться наружу, как показано на рис. 6.9. Оказывается, что это условие математически эквивалентно требованию, чтобы  $\tau_0$  превышало плотность энергии материала горловины; а специальная теория относительности, в свою очередь, говорит, что для некоторых времениподобных наблюдателей плотность энергии будет фактически отрицательной. (Условие, когда  $\tau_0$  должно превышать плотность энергии горловины червоточины, на самом деле является техническим определением экзотичности материи.) В повседневных условиях мы даже близко не приближаемся к экзотическому состоянию материи. Например, максимальное натяжение, необходимое для разрыва куска стали (так называемая прочность на растяжение, около  $4000 \text{ кг/см}^2$ ), в триллион раз меньше плотности массы энергии стали. Отрицательная плотность энергии может быть истолкована в том смысле, что экзотический материал держит червоточину открытой, создавая *отталкивающую* гравитационную силу.

Подобная отталкивающая сила выглядит как свойство *отрицательной массы*, и хотя такого никогда не наблюдалось (отрицательная материя не является антиматерией, которая наблюдается, и не отталкивает «нормальную» материю), она давно изучена на бумаге английским космологом Германом Бонди. Он показал, что отрицательная масса действительно будет обладать некоторыми воистину странными свойствами, но в общей теории относительности нет ничего, что бы запрещало это. Червоточины фактически могут предложить возможный физический механизм, который демонстрирует отрицательную массу, а та, в свою очередь, может производить наблюдаемые эффекты, с помощью которых удастся обнаружить червоточины. Я еще вернусь к этому вопросу.

Есть еще одно интересное следствие отталкивающей гравитационной силы. Так же, как знаменитое предсказание Эйнштейна (проверенное в 1919 г.) из общей теории относительности говорит о том, что свет звезды, проходящий вблизи края Солнца, изгибается внутрь притягивающим гравитационным полем Солнца (так называемый эффект линзирования, более подробно обсуждаемый далее в этом разделе), отталкивающее антигравитационное поле в червоточине вызовет отклонение любых световых лучей, проходящих через червоточину, наружу. То есть узкий пучок излучения, падающего в червоточину, будет расфокусированным. На самом деле это очень важно; как мы скоро увидим, машина времени на основе червоточины может быть разрушена светом самой тусклой свечи.

Теперь, чтобы подготовиться к пониманию того, как «работает» статическая червоточина, нам нужно сделать небольшое отступление. Когда-то считалось почти законом природы утверждение, согласно которому никакой времениподобный наблюдатель никогда не сможет измерить отрицательную плотность энергии в любой точке вдоль мировой линии наблюдателя (так называемое *слабое энергетическое условие*), но теперь известно, что это не так. Первый намек на то, что существование отрицательной плотности энергии не является безумием, можно найти еще в 1948 году до теоретического пред-

сказания голландского физика Хендрика Казимира. (*Сильное энергетическое условие* говорит о том, что гравитация всегда притягивает, поэтому статичные, проходимые червоточины нарушают условия как слабой, так и сильной энергии.) Как показано в главе 1, принцип неопределенности Гейзенберга допускает временное нарушение закона сохранения энергии, величина допустимого нарушения увеличивается с уменьшением продолжительности времени. Таким образом, даже в вакууме, когда происходит создание и аннигиляция частиц/античастиц, средняя плотность энергии, равная нулю, не исключает флуктуации от нуля, которые иногда становятся отрицательными. Казимир показал, что если расположить две идеально проводящие пластины параллельно друг другу, то нормальные квантовые флуктуации в этом «вакуумном сэндвиче» изменятся таким образом, что приведут к их взаимному притяжению, и этот ничтожно слабый эффект позже был обнаружен на практике.

Что значит «изменение нормальных квантовых флуктуаций»? Рассмотрим создание фотона и его античастицы, которая является другим фотоном. Исходя из волновой интерпретации частиц, параллельные пластины ограничивают разнообразие фотонов, появляющихся в вакуумном слое, только теми, которые имеют «соответствующие» длины волн, кратные расстоянию между пластинами (идеально проводящая пластина не может поддерживать ненулевое тангенциальное электрическое поле). Фотоны с большей длиной волны, чем расстояние между пластинами, не могут поместиться в зазор и поэтому не появляются. То есть параллельные пластины создали граничные условия, которые квантовали электромагнитное поле. Отсутствие этих «длинноволновых» фотонов снижает среднюю плотность энергии между пластинами, и поскольку среднее значение без пластин равно нулю, измененная средняя плотность энергии должна быть отрицательной. Действительно, чем сильнее уменьшается максимально допустимая длина волны фотона с уменьшением расстояния между пластинами, тем более отрицательной становится средняя плотность энергии в замкнутом вакууме Казимира.

Экспериментальное обнаружение эффекта Казимира было замечательным событием в физике. Как писал об этом математик Стивен А. Фаллинг в своей книге «Аспекты квантовой теории поля в искривленном пространстве-времени»: «Ни один исследователь в области прикладной квантовой теории и общей теории относительности не может не отметить этот факт с благоговением и почтением». Роберт Форвард, изобретательный физик, который является активным сторонником путешествий во времени, описал, как сила Казимира может быть использована для извлечения энергии буквально из вакуума. Эта идея, на первый взгляд, невозможна, как план профессора в рассказе 1937 года «Подрядчик времени» (Биндер), решившего выжать энергию из времени. Профессор спрашивает своего ассистента: «Но скажите мне, Боб, разве это не смешная мысль? Взять время, что-то неосоздаемое, невидимое, непостижимое, и выжать его – стиснуть его в комок, как губку?» Однако, в отличие от болтовни в истории Биндера, идея Форварда подкреплена твердой математической физикой.

Эпштейн, Глейзер и Джаффе показали, что плотность энергии, которая везде и всегда положительна, не совместима с какой-либо квантовой теорией поля, которая является локальной и какой предположительно будет квантовая гравитация. Требование того, чтобы средняя плотность энергии по полной нулевой геодезической мировой линии была только неотрицательной, называется *усредненным слабым энергетическим условием* (average weak energy condition, AWEC). Условие AWEC было введено Романом в 1986 году. Однако в статичных проходимых червоточинах, исследованных Торном и др., *оба условия*, WEC и AWEC, нарушались. Впоследствии было показано, что требуемое нарушение WEC в горловине червоточины может происходить без необходимости в экзотических силах Казимира, а просто через обычно возникающие вакуумные флуктуации электромагнитного поля. Вопрос о том, нарушается ли AWEC такими колебаниями (как это требуется для существования статичной, проходимой червоточины), остается открытым.

Впоследствии Форд и Роман показали, что хотя квантовая теория поля не исключает отрицательные плотности энергии, это не означает, что можно наблюдать сколь угодно большие отрицательные плотности сколь угодно долго. Фактически они установили определенные квантовые неравенства, очень похожие на неравенства Гейзенберга, ограничивающие величину и продолжительность наблюдаемой отрицательной плотности энергии. Эти квантовые неравенства имеют общую форму

$$\hat{\rho} t^4 > -C,$$

где  $C$  – положительная константа, которая зависит от природы конкретного рассматриваемого квантового поля (они рассматривают как электромагнитное, так и массивное скалярное поле),  $t_0$  – продолжительность времени, а  $\hat{\rho}$  – интегральная плотность энергии вдоль конечного участка геодезической мировой линии. Это последнее условие отличается от AWEC, которое включает усреднение по *полной* геодезической мировой линии. Форма неравенства говорит о том, что при увеличении  $t_0$   $\hat{\rho}$  должно быстро уменьшаться. Например, если  $t_0$  удваивается, то  $\hat{\rho}$  должно уменьшиться в *шестнадцать* раз.

Исследование нескольких различных пространств-времен червоточин с использованием данных квантовых неравенств привело Форда и Романа к выводу, что «представляется вероятным, что природа всегда будет препятствовать нам создавать грубые макроскопические эффекты с отрицательной энергией». Что ж, это не слишком обнадеживает – и три месяца спустя к такому же выводу пришли и другие исследователи. Позже, как и обещал, я расскажу немного о том, как динамические проходимые червоточины могут побороть проблему квантовых неравенств. Вудворд выдвинул довольно забавный (а также убедительный) аргумент, что, возможно, квантовые неравенства вообще не запрещают машину времени! Но Форд и Роман продолжили утверждать, что проблема квантовых неравенств вполне может иметь решающее значение для того, почему трудно будет построить проходимые червоточины.

Возвращаясь к историческим истокам машины времени на червоточинах, Моррис, Торн и Юртсевер использовали эффект Казимира для достижения «экзотического состояния» без материи. Они предложили размещать идентичные проводящие сферические пластины, несущие одинаковые электрические заряды, на каждом конце червоточины. (Помните, что горловины червоточины являются сферически симметричными.) Разумеется, два одинаковых заряда отталкиваются друг от друга, но величина заряда регулируется так, чтобы гравитационное притяжение пластин точно подавляло отталкивание. Затем авторы рассчитывают, что эффект Казимира приведет к появлению отрицательной плотности энергии, достаточной для удержания горловины и предотвращения коллапса червоточины.

Приглядевшись, можно заметить, что в этой концепции есть много странных аспектов. Например, авторы предположили, что длина червоточины очень мала по сравнению с ее радиусом, например  $10^{-10}$  см в длину и 200 млн миль в ширину! Длина червоточины соответствует расстоянию между пластинами, и чем меньше расстояние, тем больше отрицательная средняя плотность энергии. (Зависимость описывается обратной *четвертой* степенью расстояния.) Другая проблема заключается в балансировке электрического отталкивания и гравитационного притяжения пластин горловины червоточины. Такой баланс явно неустойчив. Наконец, поскольку две сферические пластины полностью заполняют устья червоточины, как путешественник сможет пройти через червоточину? «Ответ» состоит в том, чтобы просверлить отверстие в пластинах и надеяться, что это не слишком возмущает вакуум Казимира.

Теперь, когда я обрисовал некоторые трудности, с которыми статические проходимые червоточины сталкиваются просто по факту существования, давайте проигнорируем все это и предположим, что у нас действительно есть червоточина с двумя горловинами в одной и той же вселенной. Разумеется, червоточины машины времени соединяются с асимптотически плоскими областями в одной и той же вселенной (как показано на рис. 6.9, b и c), и поэтому сферическая симметрия намного больше, чем допустимо; каждое сферическое устье разрушило бы состояние асимптотической плоскостности для другого устья. Как мы можем представить, что превратили его в машину времени? Интересно, что, хотя общая теория относительности подарила нам червоточину, именно специальная теория относительности добавляет последний штрих для путешествия во времени в прошлое. Давайте начнем с того, что представим, будто каким-то образом одно устье червоточины можно перемещать относительно другого устья. Например, Фридман предлагает использовать гравитационное притяжение большого астероида, чтобы «перетащить» один конец червоточины и вызвать эффект замедления времени.

Вспомним, как в разделе 3.8 мы говорили о том, что движущиеся часы работают медленнее по отношению к стационарным часам; далее мы предполагаем, что у нас есть двое часов А и В, по одному экземпляру в каждом устье червоточины. Эти часы и другие часы в плоском пространстве-времени вне

червоточины изначально работали с одинаковой скоростью и показывали одинаковое время. Это может показаться вам парадоксальным: выглядит так, будто я рассуждаю о всеобщем *сейчас* вселенной, хотя, как пояснялось в разделе 3.4, эта концепция не имеет смысла. Однако здесь я имею в виду только то, что если мы примем во внимание различные длительности перемещения на скорости света между любыми парами часов и скорректируем эти задержки, то все часы согласуются. То есть наблюдатель сможет определить, что часы были синхронизированы в *прошлом*. Он, конечно, не сможет сказать, что все они синхронизированы *сейчас* – вплоть до некоторого времени в будущем, когда *сейчас* станет *прошлым*. Вопрос синхронизации часов в многосвязном пространстве-времени, например в пространстве-времени червоточины, с математической точки зрения подробно рассмотрен русским физиком Фроловым.

«Долгий джонт» Стивена Кинга – это увлекательный маленький рассказ ужасов, основанный на идее, что существует различие между временем внутри и временем вне космического портала. В этом рассказе, первоначально опубликованном в 1981 году в журнале *Twilight Zone*, задолго до того, как появился интерес к путешествиям во времени через червоточину, космические путешественники через портал, похожий на червоточину, совсем не отнимают времени у внешнего мира, но субъективное время путешественника намного длиннее и длится так долго, что все путешественники проходят через портал только под газовым наркозом. Но затем один путешественник, маленький мальчик, любопытство которого берет верх над страхом, входит в портал, затаив дыхание; он долго находится внутри без сна, и наконец появляется...

Теперь вспомним парадокс близнецов (см. раздел 3.11), и пусть каждое устье играет роль одного из близнецов. Представьте, что А и В теперь разделены, потому что устье В расположено на борту космического корабля. Корабль совершает длительный, высокоскоростной космический перелет по прямой линии, соединяющей А и В во внешнем пространстве, а затем возвращается, как описано в разделе 6.5. Мы выгружаем устье В из корабля и размещаем его в первоначальном месте. Какова ситуация сейчас? Мы можем подвести следующие итоги: (1) часы А, находящиеся в неподвижном устье, сохранили синхронность с местными часами в пространстве вне устья. (2) Часы А и В, расположенные внутри червоточины, не сместились относительно друг друга, потому что мы предполагаем очень короткую ручку червоточины, как в части b на рис. 6.9. Мы можем перемещать В таким образом, чтобы ручка всегда была короткой, и поэтому расстояние между часами А и В изменяется на сколь угодно малую величину. Таким образом, часы А и В идут синхронно друг с другом. (3) Часы В, поскольку они двигались относительно своего внешнего пространства, возвращаются в свое исходное положение, отставая от часов в пространстве вне устья В.

Далее, ради наглядности, предположим, что путешествие В таково, что между часами В и соответствующими локальными внешними часами наблюдается сдвиг времени на два часа. Таким образом, если часы В будут показывать 9 часов утра, часы за пределами устья В будут показывать 11 часов утра. Но поскольку часы А и В синхронны, часы А показывают 9 часов

утра, как и часы за пределами устья А. То есть червоточина, соединяющая устье А с устьем В, представляет собой соединение между двумя частями одной вселенной, разделенными на два часа во времени. Теперь предположим, что мы можем долететь от устья А до устья В через внешнее пространство за один час. Итак, мы покидаем устье А в 10 часов утра, долетаем на ракете к устью В в 11 часов утра, входим в устье В и выходим обратно в устье А через червоточину к начальной точке – где в это время 9 часов утра, за час до начала поездки! Мы могли бы представить, что повторяем этот циклический процесс, уходя на один дополнительный час в прошлое с каждой новой петлей через червоточину. Однако одно четкое ограничение заключается в том, что мы не можем вернуться в прошлое до создания червоточины, что и имел в виду Типлер в своей цитате в начале этого раздела. Червоточина работает и в другом направлении. Чтобы убедиться в этом, предположим, что космический путешественник покидает устье В в 8 часов утра и долетает на ракете до устья А в 9 часов утра. Войдя в устье А, он выходит из устья В (откуда он улетел) в 11 часов утра, через два часа в будущем.

Конечно, эти рассуждения убеждают не всех физиков. Виссер допускает, что если одно устье червоточины будет ускорено, то это вызовет замедление времени в другом устье. Фролов и Новиков, однако, показали, как преобразовать червоточину в машину времени, не перемещая ни одно устье: просто поместите одно устье в сильное гравитационное поле (скажем, рядом с нейтронной звездой), и это также приведет к эффекту задержки времени, как показано в разделе 6.6. Как сказали Фролов и Новиков, почти любое взаимодействие с окружающим веществом и гравитационными полями почти неизбежно превращает червоточину в машину времени. Виссер в ответ вновь заявил, что проблемы с червоточинами скорее вызовут не метод достижения замедления времени, а расположение двух устьев. Он пришел к мысли, что червоточина неизбежно будет разрушена эффектами обратной реакции пространства-времени, прежде чем два устья могут быть сдвинуты достаточно близко, чтобы создать машину времени, – то есть длительность перемещения во внешнем пространстве между устьями должна быть меньше времени проникновения в прошлое с каждым проходом через червоточину.

Еще одна проблема, которая давно беспокоила теоретиков, – это возможная нестабильность того, что называется *горизонтом Коши*, гиперпространственной поверхности в пространстве-времени, которая отделяет область, где могут существовать замкнутые времениподобные петли, от области, где они не могут существовать. Название происходит от «проблемы Коши», названной в честь французского математика XIX века Августина Коши, в теории уравнений с частными производными. В этой теории начальная задача Коши называется хорошо обусловленной, если начальные условия определяют единственное решение и непрерывное изменение начального условия приводит к непрерывному изменению решения. В той части пространства-времени, где не допускаются замкнутые времениподобные петли, обратная причинно-следственная связь не работает (по определению), а законы физики (все выражаются в виде дифференциальных уравнений) удовлет-

воряют условию Коши. Однако за пределами этой *хрональной* области, то есть за горизонтом Коши, где физика *дисхрональна*, допустимость обратной причинности повышает вероятность нарушения условия Коши, и в таком случае горизонт Коши также иногда называют *горизонтом хронологии*.

Проблема нестабильности вызвана излучением, которое распространяется в замкнутых времениподобных петлях, проходящих через червоточину по «прямым линиям». Это излучение, как было показано Миснером и Таубом, создает неограниченные уровни плотности энергии на горизонте и, таким образом, разрушает горизонт. Например, некоторые ученые считают, что в конкретной червоточине, о которой я говорил выше, горизонт нестабилен, но Моррис, Торн и Юртсевер с ними не согласны. Эти исследователи утверждают, что эффект отталкивающей гравитации червоточины мог бы противостоять разрушительному накоплению энергии.

В последующей работе Новикова был рассмотрен другой возможный способ избежать неограниченной плотности энергии на горизонте Коши. Он представил себе червоточину с круговым движением устья В; то есть устье В вращается вокруг устья А. В результате горизонт Коши кажется устойчивым, потому что теперь нет фиксированных прямолинейных замкнутых времениподобных петель, пронизывающих червоточину от А до В. То есть В является «движущейся целью», и на горизонте Коши нет точки, где плотность энергии становится неограниченной. Еще одним искусственным механизмом, который может также нарушить деструктивные петли энергии, циркулирующей через червоточину, является сферическое отражающее зеркало, помещаемое между двумя устьями червоточины, как предложил Ли. *Зеркало Ли* отводит все замкнутые нулевые геодезические, представляющие циркулирующее излучение (см. раздел 3.11), которые потенциально могут проникать через червоточину. Эти потенциально фатальные геодезические были бы отражены обратно в космос, тогда как целеустремленный путешественник мог бы перемещаться вокруг зеркала и таким образом использовать червоточину в качестве машины времени.

Нестабильность горизонта Коши занимает центральное место в гипотезе Хокинга о защите хронологии. Хокинг пришел к выводу, что физическая сущность – тензор энергии-импульса – становится нефизической на горизонте Коши. То есть из-за путешествующих во времени флуктуаций квантового поля вакуума этот тензор расходится в бесконечность на горизонте. Это приводит в первую очередь к неспособности горизонта сформироваться или, если он сформируется, к созданию сингулярности, которая «запечатывает» горизонт для любых потенциальных путешественников во времени, пытающихся получить доступ к закрытому подобному времени петли за горизонтом. Новелло и Да Сильва высказали аналогичное предположение, касающееся космических струн со спином (рассматривается в разделе 6.4), которое допускает замкнутые кривые, подобные времени, но изолирует их от любого возможного использования путем встраивания их в «причинно-следственную капсулу».

Ли, Суй и Лю утверждали, что Хокинг ошибается, полагая, что расхождение тензора энергии-импульса на горизонте Коши всегда будет запрещать

путешествие во времени. Они изучили комплексную метрику (подобная метрика допускается в так называемом подходе «сумма по всем возможным геометриям, интеграл по путям» в квантовой теории гравитации), в котором причинные и не причинные области пространства-времени разделены не горизонтом Коши, а регионом со сложной геометрией. Такой регион в классическом понимании будет означать невозможность взаимного достижения для двух других регионов, которые он разделяет. Но благодаря квантово-механическому туннелированию наблюдатель мог бы путешествовать между двумя регионами. В исследованиях Ли, Суй и Лю тензор энергии-импульса всегда физический и нигде не расходится.

Исследования расхождения энергии-стресса на самом деле имеют долгую историю. Чандрасекхар и Хартл (1982) проанализировали влияние нефизического (бесконечного) гравитационного и/или электромагнитного потока энергии за годы до того, как начались исследования машины времени. Они изучили случай потенциального путешественника в «новые миры», который пытается пересечь внутренний горизонт Коши электрически заряженной, невращающейся черной дыры. Еще более раннее компьютерное исследование Симпсона и Пенроуза (1973 г.) показало, что для такого путешественника попытка пересечь этот горизонт «выглядит опасной для себя». Пространственно-временная аналогия анализа дивергенции напряжений-энергий Дойча и Канделаса (1979) была проведена Хискоком и Конковским (1982), которые изучали расхождение энергий-импульсов на горизонте Коши в машинном анализе без времени.

И на самом деле, совсем не очевидно, что теоретическое расхождение энергии-импульса является признаком несостоятельности физики. Для того чтобы тензор энергии-импульса испытал расхождение *на бумаге*, не нужна даже машина времени. Например, еще в 1979 году Дойч и Канделас показали, что такое расхождение в принципе возникает для электромагнитного поля вблизи абсолютно гладкой и проводящей границы. Но в данном случае вся суть в нефизической природе «идеально проводящего» граничного условия, которое вызывает расхождение, а не в том, что поле фактически существует около проводящей границы. Точно так же другие соображения реальной жизни (квантовая гравитация) *могут* сохранять физический характер энергии-импульса везде в пространстве-времени машины времени.

Ну, а как насчет парадоксов, спросите вы? Как они вступают в игру в машине времени червоточины? В попытке изучить парадокс дедушки Эчеверриа, Клинокхаммер и Торн рассмотрели самовзаимодействующие бильярдные шары, путешествующие назад во времени через червоточины. Авторы используют бильярдные шары (см. рис. 6.10 и 6.11), а не людей, путешествующих во времени, по той же причине, по которой Уилер и Фейнман использовали их механизм шариков и затвора в своих исследованиях опережающих электромагнитных волн (см. главу 5, раздел 5.4), – чтобы избежать любые метафизические вопросы о свободе воли человека. Центральная проблема для этих авторов состояла в том, чтобы определить кратность траекторий для одного



самовзаимодействующего перемещающегося во времени шара, где условие Коши для хорошо обусловленной траектории является *уникально* самосогласованным. То есть, для того чтобы траектория была хорошо обусловлена в смысле Коши, авторы предположили *единичную* кратность согласованных траекторий для самовзаимодействующего шара. Нулевая кратность, конечно, была бы физическим понятием, объявляющим обратное путешествие во времени бессмыслицей, – и авторы думали, что это отличная возможность. Достигнутые ими результаты были поразительными. Они обнаружили, что при очень общих предположениях о параметрах червоточины: (1) нет траекторий с нулевой кратностью и (2) кратность также и не единичная, а напротив, *всегда* бесконечная! Таким образом, было обнаружено, что бильярдно-шаровая форма парадокса дедушки не была хорошо обусловлена, но не по ожидаемой причине, по которой не было самосогласованного решения. Вместо этого оказалось, что решений слишком много. Авторы поблагодарили физика и писателя-фантаста Роберта Форварда, который использовал эти идеи в своем романе «Властелин времени», за мотивацию для части своих исследований.

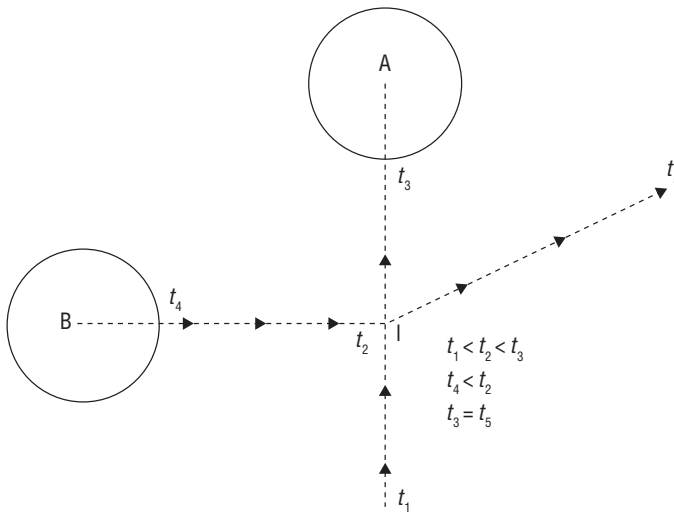


Рис. 6.10. «Парадокс дедушки» в мире бильярдных шаров. Бильярдный шар направляется точно в центр устья A червоточины машины времени, и непосредственно перед входом в A он проходит без инцидентов через точку I. Затем шар влетает в устье A и вылетает из устья B в прошлом, как раз вовремя, чтобы пройти через точку I и ударить самого себя «молодого». Этот удар сбивает «младший» шар с пути к устью A, поэтому у нас получается знакомый парадокс изменения прошлого. То есть столкновение не случилось, когда шар «изначально» прошел через I на пути к A, и, естественно, мы также задаемся вопросом: как шар столкнулся с самим собой после выхода из устья B, если он не входил в устье A?

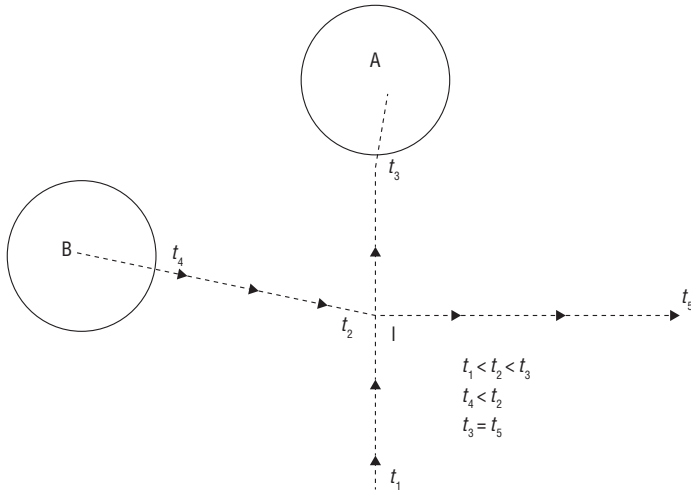


Рис. 6.11. Принцип самосогласованности в мире бильярдных шаров. Теперь шар, проходя через точку I на своем пути точно в центр устья A червоточины, внезапно получает скользкий удар другим шаром, который только что вылетел из устья B (в прошлом). Этот удар слегка сбивает первый шар с его первоначальной траектории, и он попадает в устье A немного смещенным от центра. Таким образом, шар выходит из устья B в прошлое тоже немного наискосок и как раз вовремя, чтобы слегка зацепить себя, – что объясняет, почему он вылетел из устья B, слегка в стороне от центра!

Этот удивительный, совершенно неожиданный результат может оказаться именно тем, что необходимо для продолжения изучения машин времени; он может обеспечить хорошую обусловленность в смысле Коши и все же дать ответ на вопрос о свободной воле. Начальные условия перемещающегося во времени шара приводят к бесконечности самосогласованных траекторий, каждая из которых имеет место точно так же, как случайная переменная принимает различные значения с каждым новым результатом эксперимента. И тем не менее все еще существуют уникальные функции плотности вероятности для всех наборов измерений, которые можно выполнить в любом месте вдоль этих траекторий. Таким образом, задача Коши *стохастически* хорошо обусловлена; в начале любой траектории мы не знаем подробно, что произойдет, за исключением того, что все происходящее будет самосогласованным. В этом вероятностном смысле обоснованы как путешествие во времени в прошлое через червоточину, так и свободная воля. Лосев, Михеева и Новиков, а затем и Менский продолжили изучение самовзаимодействующих бильярдных шаров с добавлением сложных неупругих столкновений и других форм потери энергии. Это позволило ученым исследовать термодинамику путешествия во времени в прошлое. Затем Новиков и его коллеги использовали модель самовзаимодействующего

бильярдного шара, чтобы сделать вывод о самосогласованности из давно принятого принципа наименьшего действия.

Итак, разумно ли думать, что могут быть сделаны статичные проходимые червоточины? Как метко заметил Виссер: «Естественно, главный открытый вопрос заключается в том, можно ли получить экзотическую материю в лаборатории. Теоретические проблемы устрашают, а технологические решения кажутся нам совершенно недостижимыми». Вудворд повторил и дополнил слова Виссера:

*Существуют два класса экзотической материи, причем второй является подклассом первого: 1) простая старая экзотическая материя (plain old exotic matter, POEM) – материя, которую видят некоторые, но не все, наблюдатели с относительными скоростями  $\leq c$  по отношению к материи с отрицательной массой-энергией, и 2) действительно экзотическая материя (really exotic matter, REM) – материя, которая является отрицательной для наблюдателей с нулевой относительной скоростью (то есть вещество с отрицательной собственной плотностью массы-энергии). Созерцание POEM может зажечь воображение, но REM – это материал, из которого сделаны мечты... Перспектива когда-либо получить в свои руки POEM всегда выглядела очень отдаленной. Накопление некоторого количества REM считается лежащим далеко за гранью возможного. И действительно, создание червоточины там, где ее раньше не было, оказалось настолько пугающе архисложным, что наименее неправдоподобным сценарием получения оной обычно считалось расширение – неуказанными средствами – уже существующей червоточины в предполагаемой квантовой пене пространства-времени планковского масштаба.*

Моррис, Торн и Юртсевер полностью признали эти опасения Виссера и Вудворда, написав (как я отметил ранее), что для их преодоления потребуются навыки «произвольно развитой цивилизации».

Астрофизики, интересующиеся темой внеземной жизни, дали любопытное определение произвольно развитой цивилизации. Грубо говоря, цивилизации типов I, II и III – это, соответственно, земная технология, которая может управлять излучением энергии порядка  $10^{15}$  Вт для межзвездных радиопередач, технология, которая может управлять излучением энергии своей родительской звезды ( $10^{27}$  Вт), и технология, которая может управлять излучением энергии своей домашней галактики ( $10^{38}$  Вт). Сегодня мы явно далеки от того, чтобы быть даже цивилизацией типа I, и, вероятно, чтобы построить червоточину (и зеркало Ли), потребуется хотя бы цивилизация типа III. Стефан Бакстер в своем романе «Бесконечные глубины времени», в котором существа управляют энергией созвездий галактик, похоже, предполагает, что потребуется цивилизация типа IV.

Но, возможно, в такой цивилизации нет необходимости: некоторые физики предполагают, что червоточины могут образовываться естественным образом в любое время. Такие червоточины, основанные на квантово-ме-

ханическом процессе, называемом *вакуумным сжатием*, не требуют какой-либо экзотической материи, которая была главной заботой Морриса, Торна и Юртсевера. Действительно, вакуумное сжатие автоматически приводит к отрицательным плотностям энергии и неизбежному нарушению состояния слабой энергии. А Гонсалес-Диаз предполагает, что пространство-время с топологией тора (думаю, это пончики!) может, при определенных условиях, образоваться естественным образом за счет коллапса вращающейся материи. Такие «кольцевые дыры» пространства-времени, по-видимому, могут быть преобразованы в машины времени без нарушения АWЕС.

С другой стороны, версия о происхождении Вселенной из Большого взрыва может быть не совсем правильной для самых ранних моментов; в некоторых работах было высказано предположение, что Вселенная пережила первоначальный переходный период огромного переохлаждения и чрезвычайно быстрого роста, обусловленный отталкивающей гравитацией, – процесс, называемый *инфляцией*. Такая инфляционная вселенная объяснила бы некоторые из все еще загадочных аспектов космологии Большого взрыва. В частности, так называемое *нарушение симметрии*, связанное с инфляционной вселенной, может объяснить термодинамическую (энтропическую) стрелу времени и связь этой стрелы с космологической стрелой времени. Роман предположил, что такая инфляция могла бы увеличить первичные субмикроскопические червоточины до макроскопического размера. (Этот же процесс нарушения симметрии мог послужить источником космических струн, обсуждаемых в разделе 6.4.) Хотя это единовременный сценарий создания «больших» червоточин, он позволил бы таким сущностям существовать где-то во вселенной с начала времен. Итак, несмотря на слова Типлера в начале этого раздела, возможно, динозавры существуют!

Последний подход к червоточинам состоит в том, чтобы позволить им быть *динамическими* (нестатичными) структурами в пространстве-времени, то есть позволить одному или нескольким параметрам изменяться во времени (возможно, диаметр устья может коллапсировать). Отсюда вытекает возможность сформировать проходимую червоточину *из обычной материи*, которая, даже несмотря на коллапс устья, проживет так долго, что «у космического искателя приключений будет достаточно времени, чтобы пройти через устье червоточины из одной асимптотически плоской области в другую, где разворачивается горизонт событий, прежде чем радиус устья уменьшится». Ученые утверждают, что такая динамическая червоточина удовлетворяет как слабому, так и типовому энергетическому условию, но не сильному условию. Следовательно, сила тяжести все еще отталкивает устье, но они не думают, что это серьезное возражение, поскольку считают, что такое условие действительно имело место в глобальном масштабе во время инфляционной стадии Большого взрыва, – хотя мне не ясно, как это поможет построить червоточины в будущем.

Высочайший уровень технологий, необходимых для создания червоточины (с экзотической материей или без нее), не означает, что мы не мо-

жем искать существующие червоточины – возможно, огромные сети червоточин, естественным образом возникших во время Большого взрыва; как описано в «Страхе» Грегори Бенфорда в 1997 году, червоточины являются «остатками Великого явления [Большого взрыва]». Или, может быть, «развитые цивилизации» уже создали обширную пангалактическую «подземную» систему червоточин, подобную той, которая описана в романе Карла Сагана «Контакт» 1985 года и показана в фильме 1997 года. Такие поиски в настоящее время действительно происходят, хотя первоначальная причина была менее экзотичной, чем червоточины. Из-за *плоского характера вращения* спиральных галактик, в том числе нашего Млечного Пути, физики пришли к выводу, что такие галактики окружены ореолами материи. Фраза «плоский характер вращения» относится к наблюдаемому, неожиданно орбитальному поведению звезд на внешних краях галактик, за оптически наблюдаемым светящимся ядром, где расположена большая часть светящейся массы. Чтобы понять, почему я говорю «неожиданно», вспомните, как планеты вращаются вокруг Солнца, которое содержит почти всю массу Солнечной системы, – чем дальше от Солнца, тем медленнее орбитальная скорость планет. Если учесть, что гравитационное притяжение Солнца, действующее на планету на расстоянии  $r$ , равно центробежной силе, отбрасывающей планету, отсюда следует, что орбитальная скорость  $v(r)$  уменьшается с ростом  $r$  по закону  $1/\sqrt{r}$ . Однако для большинства галактик орбитальные скорости их все более удаленных звезд *увеличиваются* с ростом  $r$ , и эффект наблюдается вплоть до звезд, удаленных от центра вращения на два или три радиуса светящегося ядра. Тогда орбитальные скорости становятся более или менее постоянными; график зависимости  $v(r)$  от  $r$  становится «плоским». Это означает, что существует неучтенная масса даже вне ядра галактики, то есть ореол темной материи.

Поскольку эти ореолы еще не обнаружены, принято говорить, что они состоят из темной материи. Природа этой темной материи обсуждалась годами, и некоторые ученые утверждают, что это должны быть очень странные вещи (обычные звезды, газ или пыль легко обнаруживаются), которые в совокупности называются *слабо взаимодействующими массивными частицами* (weakly interacting massive particles, WIMP). Например, массивное нейтрино, которое обычно считается малым или не имеет массы, относится к WIMP. Другие говорят, что темная материя не обязательно должна быть такой эзотерической и, возможно, является просто условными «Юпитерами» (газовые шары, недостаточно большие для того, чтобы инициировать синтез и тем самым стать звездами), нейтронными звездами или даже черными дырами. Этот второй класс сущностей называют *массивными объектами компактного ореола* (massive compact halo objects, MACHO). Считается, что самые массивные MACHO находятся в диапазоне одной солнечной массы, а минимальные объекты составляют около  $10^{-4}$  солнечной массы.

Как обнаружить WIMP, неизвестно, но выявить MACHO не трудно (в принципе). Характерным наблюдаемым признаком является их огромная масса,

потому что их гравитационных полей может быть достаточно, чтобы искажать свет более удаленных звезд, фокусируя источники света, и вызывать временное, наблюдаемое усиление яркости. То есть МАСНО могут работать как *гравитационные микролинзы* и будут проявлять себя в характерном одиночном пике осветления и затем затухания удаленного источника света, когда МАСНО перемещается через линию обзора от Земли к источнику света. Это признак, который искали (и продолжают искать) как в Млечном Пути, так и в его двух ближайших галактических соседях, Больших и Малых Магеллановых Облаках (которые вращаются вокруг Млечного Пути на расстоянии около 170 000 и 200 000 световых лет соответственно). Поиски МАСНО – это большой труд. Исследователи годами наблюдают за миллионами звезд только ради того, чтобы обнаружить любой внезапный одноразовый всплеск света (МАСНО с массой  $10^{-2}$  массы Солнца может вызвать всплеск света продолжительностью 10 дней). Такой всплеск совершенно не похож на всплески яркости, связанные с переменными или взрывающимися звездами.

Итак, что произойдет, если устье червоточины с *отрицательной* массой пересечет линию обзора от Земли до далекой звезды? Вы можете подумать, что если МАСНО с положительной массой фокусирует свет, то отрицательная масса будет расфокусировать свет, но это не так. Удивительно, но простой геометрический анализ такого пересечения линии прямой видимости показывает, что на самом деле образуется конусообразная поверхность с устьем червоточины на вершине, – эту поверхность называют *каустик* (caustic) – поверхность *усиления* света, которая на самом деле может превосходить эффект МАСНО. Таким образом, при пересечении линии прямой видимости наблюдатель звезды сначала увидит каустик (всплеск света), затем внутреннюю поверхность конусообразной поверхности (без света), а потом другую сторону каустика (второй всплеск света). Называя любую такую отрицательную массу в космосе *гравитационно-отрицательным аномальным компактным гало-объектом* (gravitationally negative anomalous compact halo object, GNACHO), исследователи отмечают, что эта световая сигнатура сильно отличается от сигнатуры МАСНО, и тем не менее они обе могут быть обнаружены в одном и том же эксперименте.

Любая такая червоточина, если ее найдут, может, конечно, быть очень далеко от Земли. Она может оказаться в другой галактике. Так что, даже если она существует, какая от нее польза? В замечательной работе Лосева и Новикова предполагается, что такая червоточина может быть очень полезной, даже если ее местоположение совершенно неизвестно! Лосев и Новиков предполагают только то, что червоточина существовала «достаточно долго» (позже я скажу, что это означает). Исходя из этого допущения, они показывают, как сделать петлю времени, создающую информацию, против чего постоянно выступал Дэвид Дойч (и чем на протяжении десятилетий пользовались многие писатели-фантасты для достижения драматического эффекта). Я рассказывал про информационные петли времени и аргументы Дойча в четвертой главе.

Лосев и Новиков начинают свои рассуждения с предположения, что люди не знают, как построить космический корабль, который может совершить межзвездное путешествие к далекой червоточине, даже если они знают, в каком направлении лететь, чтобы достичь устья, ведущего назад во времени (устье В). Вместо этого они строят автоматический завод по производству космических кораблей, который может выполнять любую последовательность предоставленных ему инструкций, используя подготовленные запасы сырья (энергии, стали, пластмассы, компьютеров и так далее). Когда строительство космического корабля завершено (как это сделано, вы узнаете в следующем разделе), последним шагом перед запуском космического корабля в направлении устья В будет загрузка его бортового компьютера следующими блоками информации:

- a) подробный набор инструкций для постройки космического корабля;
- b) направление от Земли до устья В;
- c) направление от устья А (выход из червоточины в прошлом) обратно на Землю.

Таким образом, люди строят автоматический завод, загружают его сырьем, а затем запускают его подальше от себя. Этот последний шаг имеет решающее значение, поскольку он исключает свободу воли человека из дальнейшего рассмотрения. Таким образом, это устраняет любой соблазн создать парадокс. Так что же будет дальше?

Лосев и Новиков предполагают, что дальше в небе внезапно появится очень старый космический корабль, приземляющийся рядом с автоматической установкой! В его бортовом компьютере находятся пункты *a*, *b* и *c*. Используя пункт *a*, автоматическая установка создает новый космический корабль, затем он загружает свой новый бортовой компьютер блоками информации *a*, *b* и *c* компьютера очень старого космического корабля, а потом новый космический корабль отправляется в сторону устья В (используя информацию пункта *b*). Очень старый космический корабль занимает почетное место в музее.

Новый космический корабль долетает до отдаленного устья В в далеком будущем; к тому времени это, конечно, старый космический корабль (но еще не очень старый). Затем он ныряет в устье В и почти сразу выходит из устья А в прошлом. На самом деле он повторяет этот процесс столько раз, сколько требуется, пока он не уйдет в далекое прошлое, в то время, пока он не покинул Землю. Может показаться, что для этого компьютеру космического корабля требуется четвертый блок информации – направление от устья А к устью В. Но в действительности пунктов *b* и *c* достаточно для того, чтобы космический корабль добрался от А к В. Также теперь ясно, как долго должна существовать червоточина. Космический корабль многократно использует червоточину до тех пор, пока не заберется в прошлое так далеко, что может вернуться на Землю с нормальной скоростью (он знает дорогу назад из пункта *c*), и это будет очень старый космический корабль, прибывший как раз вовремя, чтобы его поместили в музей!

Как указывают Лосев и Новиков, эта замечательная замкнутая последовательность событий расширила знания, имевшиеся в то время, когда был построен автоматический завод. Люди теперь знают как конструкцию межзвездного космического корабля, так и расположение обоих устьев червоточины. У них также теперь есть очень старый, использованный космический корабль. Любопытно отметить, что хотя информация в компьютерной памяти космического корабля перемещалась по замкнутому циклу времени, сам корабль этого не делал. Это потому, что космический корабль покинул Землю, когда он новый, но вернулся (до того, как он ушел) как очень старый, после чего сразу оказался в музее. Поэтому не возникает вопроса о происхождении очень старого космического корабля, но откуда взялась информация в блоках *a*, *b* и *c*? Лосев и Новиков говорят, что она происходит от энергии, получаемой космическим кораблем, когда он взаимодействовал (будет взаимодействовать?) с остальной частью вселенной, находясь в пути. Однако, как отмечают Лосев и Новиков, их исследование игнорирует все соображения квантовой механики.

Неудивительно, что не все находят такую историю убедительной. Не подавшийся эмоциям ученый – профессор физики Мэтт Виссер из Вашингтонского университета в Сент-Луисе, чья поддержка гипотезы Хокинга о защите хронологии обсуждается в эпилоге моей книги. Когда я спросил профессора Виссера, что он думает о путешествиях во времени, он ответил в личном письме:

*Если кто-то настаивает на разрешении путешествий во времени в своих теориях Вселенной, то гипотеза Новикова о самосогласованности, вероятно, является минимальной модификацией нашего нынешнего понимания причинности. Лично у меня много проблем с принятием «гипотезы о самосогласованности», поскольку мне кажется, что она подогнана под реальность [однако вспомните мой рассказ о выводе Новиковым гипотезы о самосогласованности из наименьшего действия]. «Гипотеза о самосогласованности», по-видимому, по существу эквивалентна утверждению: «Вселенная непротиворечива, несмотря ни на что, поскольку она ДОЛЖНА быть непротиворечивой, будь то ад или вселенский потоп». Я рассматриваю это как приспособленчество... Если кто-то откроет ящик Пандоры, разрешив путешествие во времени, я не думаю, что единственный ущерб, нанесенный нашим представлениям о реальности, будет таким же безобидным, как и «гипотеза о самосогласованности».*

Позже Виссер повторил это слово в слово в своей фундаментальной книге 1995 года о червоточинах Лоренца. Конечно, Виссер вполне может быть прав в своем пессимизме относительно путешествий во времени, но я считаю, что обязательная согласованность вселенной – это самое сердце физики. Без согласованности физики не могли бы даже вести понятные дебаты об их разногласиях!



Описанные выше машины времени с одной червоточиной и двумя устьями на самом деле не были первым видом машин времени с червоточинами, упомянутым в литературе. В своей работе 1988 года Моррис и Торн первоначально описали машину времени в терминах *двух* червоточин и в конце добавили примечание, что они только что обнаружили, как построить машину времени с одной червоточиной (машина, о которой мы говорили в данном разделе). Это сокращение необходимого числа червоточин, конечно, было техническим достижением, поэтому машина с двумя червоточинами была отложена в сторону. Но ненадолго. Вскоре после этого результаты исследований начали намекать на вероятность того, что машины с одной червоточиной могут разрушить себя как раз в тот момент, когда их устья собрались образовать замкнутые времениподобные кривые. Однако, как мы отмечали ранее, червоточины обладают свойством расфокусировать электромагнитное излучение, поэтому первоначальное опасение, что путешествующие во времени фотоны окажутся фатальными для машин на основе червоточин, было недолгим. Но затем было обнаружено, что вакуумные флуктуации квантовых полей не настолько расфокусированы. Ким и Торн показали, что эта неспособность расфокусировать перемещающиеся во времени поляризации вакуума, как называются такие флуктуации, действительно приведет к нефизическому расхождению энергии-импульса на горизонте Коши машины времени с одной червоточиной.

Анализ Кима и Торна, однако, также показал, что расхождение энергии-импульса было чрезвычайно слабым (оно не происходит очень быстро). Фактически оно было настолько слабым, что бесконечность энергии-импульса будет исключена возможным вмешательством квантовой гравитации. Таким образом, величина энергии-импульса будет стремиться стать неограниченной, когда пространство-время приблизится к форме машины времени, но прежде чем она станет настолько большой, что разрушит машину времени, квантовая гравитация остановит рост «во времени» (если можно так сказать!), чтобы сохранить машину. Отсюда и возвращение геометрии машины времени с двумя червоточинами. Возможно, ей удастся избежать саморазрушительного эффекта перемещающихся во времени флуктуаций вакуума. Если пространство-время содержит несколько червоточин, то его называют *романовским пространством-временем* в честь Томаса Романа (из Центрального университета штата Коннектикут), который был первооткрывателем такого пространства-времени. Каждая из этих червоточин по отдельности не является машиной времени. Однако вместе они образуют машину времени, называемую *романовской конфигурацией*, или, как ее называет Виссер, *романовским кольцом*. Ни больше, ни меньше.

На рис. 6.12 две пары устьев червоточины обозначены буквами  $A$ ,  $A'$  и  $B$ ,  $B'$ . Мы считаем, что червоточина  $A$ ,  $A'$  неподвижна и что ее два устья расположены очень далеко друг от друга – на самом деле настолько далеко друг от друга, что если путешественник входит в  $A$  и почти мгновенно (потому что ручка червоточины очень коротка в гиперпространстве) выходит

из  $A'$ , наблюдателю в покое относительно червоточины покажется, что путешественник двигался быстрее света. То есть вход в  $A$  и выход из  $A'$  – это события с пространственным разделением. Теперь также представьте, что червоточина с устьями  $B, B'$  движется мимо первой червоточины со скоростью  $v$ . Для наблюдателя в этой второй *движущейся* системе отсчета пространственное разделение входа  $A$  и выхода  $A'$  может привести к двум событиям, обращенным во времени (если скорость  $v$  достаточно велика, но все же меньше скорости света – см. раздел 3.10, в котором раскрыта математика этого обращения).

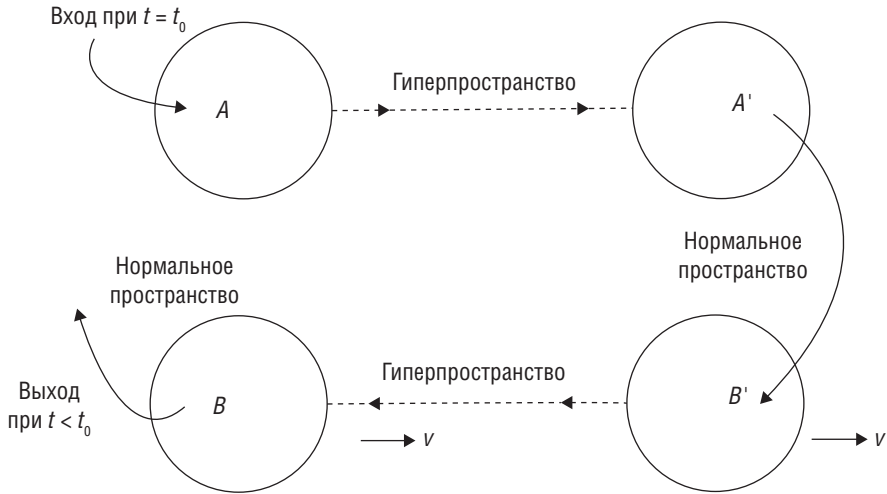


Рис. 6.12. Машина времени с двумя червоточинами

Следовательно, после выхода из  $A'$  путешественник пересекает нормальное пространство в сторону движущегося устья червоточины  $B'$ , входит в червоточину, затем почти мгновенно выходит из устья  $B$  и, наконец, снова движется через нормальное пространство к устью  $A$ . Если путешественник может совершить два перехода в обычном пространстве за меньшее время, чем сдвиг во времени назад, достигнутый обращением времени входа  $A$  и выхода  $A'$ , тогда у нас есть машина времени. Хокинг, однако, не согласился с этими выводами, утверждая, что Ким и Торн совершили решающую ошибку в своих расчетах. По словам Хокинга – и Торн впоследствии заявил, что заявление Хокинга трудно опровергнуть, – расхождение энергии-импульса действительно может быть отсечено квантовой гравитацией, но не раньше, чем возникнут пространственно-временные возмущения, возможно, в сто миллионов раз превышающие уровни энергии обычных химических связей. Это были бы весьма большие возмущения, которых достаточно, чтобы вызвать серьезные сомнения в физическом выживании машины времени с одной червоточинной, даже в отсутствие истинной бесконечности энергии-импульса.

Но и с Хокингом согласились не все. Два почти одновременных исследования этой машины времени романовской конфигурации с несколькими червоточинами, выполненных Виссером и Лютиковым, привели к выводу, что для приемлемых вариантов размеров (радиусы устьев червоточины, длины червоточины в нормальном пространстве, боковое смещение двух червоточин и относительная скорость червоточин) расхождение энергии-импульса *может* быть ограничено квантовой гравитацией до сколь угодно слабого уровня. В частности, спасительный эффект квантовой гравитации усиливается при увеличении длины червоточины в нормальном пространстве (разделение устьев) и при уменьшении радиусов устья. То есть машина времени с двумя червоточинами *не* обязательно разрушается неограниченной энергией-импульсом на горизонте Коши. В этом Виссер и Лютиков достигли согласия, но быстро разошлись во мнениях относительно того, что из этого следует.

Хотя Виссер признал, что квантовая гравитационная отсечка дивергенции энергии-импульса действительно имеет место в романовской конфигурации, он назвал «странными» особые обязательные значения размеров и утверждал, что получающаяся в результате машина времени будет совершенно бесполезной в любом отношении для человека-путешественника. Например, он вычислил, что только если устья червоточин разделены в нормальном пространстве радиусом вселенной и только если устья червоточин имеют радиусы порядка радиуса атомного ядра, гравитационной отсечки будет достаточно, чтобы позволить предполагаемой машине времени избежать разрушения. Когда Виссер уменьшил свои червоточины с размера вселенной до «просто» расстояния между Солнцем и Землей, он пришел к выводу, что потребуются энергия на уровне ускорителя сверхпроводящего суперколлайдера, чтобы протолкнуть информационное сообщение через узкие червоточины. И даже тогда «короткие» червоточины обеспечат максимальное проникновение в прошлое всего на восемь минут. Как сказал Виссер: «Похоже, это неподходящий рецепт для изучения завтрашнего номера *Wall Street Journal*». Он посчитал такие расчеты достаточно убедительными аргументами против машин времени и завершил свою работу предположением, что квантовая гравитация должна восприниматься как причинность, то есть ее следует рассматривать как аксиому, а не как нечто, нуждающееся в демонстрации. Однако мне кажется, что он повторяет ошибку Гёделя, который также перепутал огромные инженерные трудности с фундаментальными нарушениями физики. Лютиков, который упоминает расчеты размеров Виссера с оговоркой, что они «далеко не очевидны», занимает гораздо менее крайнюю позицию. Он пришел к выводу, что, хотя расчеты Виссера, по сути, «делают конструкцию очень неудобной для путешествий во времени для людей», тем не менее «главный вопрос о возможности передачи информации во времени через проходимые червоточины все равно останется открытым».

Спустя всего месяц после публикации работ Лютикова и Виссера Танака и Хискок опубликовали еще более подробное исследование расхождения энергии-импульса в пространстве-времени машины времени, и их заклю-

чение было наиболее примечательным. Их работа «предполагает, что квантовая гравитация может быть неспособна выступить в качестве защитника хронологии», если думается, что расхождение энергии-импульса является роковым недостатком машины времени. Позднее Красников написал, что исследование квантовой устойчивости машин времени приводит его к мысли, что «на самом деле *нет* никаких оснований ожидать, что в общем случае плотность энергии расходится на горизонте Коши», и еще более внушительно звучит его утверждение «нет ни малейших доказательств того, что машина времени должна быть нестабильной». Это замечательно, потому что Хокинг в своем широко известном заявлении о гипотезе защиты хронологии написал: «Научный смысл этой статьи заключается в ... поиске поляризации вакуума [расхождение энергии-импульса], чтобы усилить гипотезу о защите хронологии».

Однако становится все более очевидным, что это может быть неправильное место для поиска. Последние слова Красникова в его статье – самые справедливые из всех, что я видел: «Вполне возможно, что флуктуации вакуума действительно делают машину времени нестабильной, но в настоящее время ничто не говорит об этом. Все, что у нас есть, – это несколько простых примеров. В некоторых из них плотность энергии расходится на горизонте, а в некоторых нет. Таким образом, машина времени, возможно, стабильна, а может и нет». С этим согласен даже Виссер. Как он написал в конце своей статьи: «Я рассматриваю неспособность расхождения энергии-импульса обеспечить защиту хронологии не как оправдание для энтузиастов путешествий во времени, а скорее как указание на то, что решение проблем защиты хронологии требует полностью разработанной теории квантовой гравитации». И еще более решительно он выступил в конце другой статьи: «Полуклассическая квантовая гравитация принципиально не способна ответить на вопрос, защищена ли хронология вселенной. Чтобы действительно ответить на этот вопрос, нам сначала понадобится приемлемая теория квантовой гравитации». Любое из этих последних высказываний трудно оспорить!

Другой аргумент против гипотезы Хокинга о защите хронологии может быть еще более убедительным, настолько сильным, что для опровержения этой гипотезы можно будет обойтись без квантовой гравитации или, по крайней мере, без заявленного защитного механизма расхождения энергии-импульса. В 1996 году китайский физик Ли-Синь Ли показал, что в очень общих условиях присутствие поглотителя (непрозрачного вещества) в пространстве-времени, которое находится на грани образования замкнутых времениподобных кривых, *может сгладить* разрушительные эффекты флуктуаций вакуума; тогда энергия-импульс будет ограничена на горизонте Коши. То есть замкнутые времениподобные линии *будут формироваться*. Ли показал, что при вполне разумных физических допущениях массовая плотность поглотителя может фактически быть меньше, чем наблюдаемая массовая плотность Вселенной. Этот важный результат ободрил Ли до такой степени, что он предложил свою гипотезу о защите *антихронологии*:

«не существует закона физики, препятствующего появлению замкнутых времениподобных кривых».

Кажется, сам Хокинг был готов согласиться с тем, что не все в порядке с дивергенцией энергии-импульса (если не самой защитой хронологии), потому что сказал: «тот факт, что тензор энергии-импульса не может расходиться [в некоторых особых случаях пространства-времени машины времени], показывает, что эффект отдачи не обеспечивает защиту хронологии». Поэтому Кэссиди и Хокинг искали другой механизм защиты хронологии и показали, что в некоторых интересных особых ситуациях (скалярное квантовое поле в фоновом пространстве-времени, которое вынуждено содержать замкнутые временные линии) энтропия расходится в отрицательную бесконечность, как только возникает ситуация нарушения причинности. То есть плотность доступных квантовых состояний для поля приближается к нулю. Этот результат намекает на способность *квантовой механики* запретить машины времени с помощью простого механизма обнуления квантовых состояний для любых конфигураций поля, нарушающих причинность. Но, как утверждали Кэссиди и Хокинг, «ключевой вопрос, который нужно задать, – верен ли этот результат в общем случае». Ли и Готт, однако, нашли самосогласованное замкнутое времениподобное решение уравнений поля, которое *не* запрещено квантовыми эффектами.

Как говорится в другой статье Ли и Готта, «по мере решения старых проблем наверняка будут возникать новые возражения против пространственно-временных интервалов с замкнутыми времениподобными линиями, поэтому может показаться, что опровержение гипотезы о защите хронологии является непростым делом. Но доказательство того, что нет никаких исключений из гипотезы о защите хронологии, выглядит столь же сложной задачей. Это особенно верно, поскольку в настоящее время у нас нет ни законченной теории квантовой гравитации, ни теории всего».

#### 6.4. Машина времени Готта на космических струнах

*Это удивительно простое решение. Чтобы понять его, не обязательно хорошо знать физику.*

*– Астрофизик Алан Гут из MIT комментирует открытие Готтом машины времени на космических струнах*

*Луиза, разработка геометрии пространства-времени космической струны – это трудная задача в общей теории относительности. Но на фоне этой геометрии все остальное – не более чем теорема Пифагора...*

*– Персонаж в романе Стивена Бакстера «Кольцо» согласен с Гуттом*

Десять уравнений гравитационного поля Эйнштейна чрезвычайно сложны; они почти наверняка самые сложные уравнения во всей физике. Это нелиней-

ные, связанные, дифференциально-тензорные уравнения с частными производными, и *каждый* из этих эпитетов таит в себе большие трудности. Потребовались десятилетия вдохновенной работы блестящих умов, чтобы найти относительно небольшое количество точных решений известных уравнений. Это сразу приводит к интересному вопросу, который имеет прямое значение для современных исследований машин времени: что значит «решать» уравнения поля? Полезно представить уравнения следующим образом:

$$\begin{array}{l} \text{локальная геометрия} \\ \text{пространства-времени} \end{array} \quad \Leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{локальная плотность, момент и импульс} \\ \text{массы-энергии пространства-времени,} \end{array}$$

где направление стрелки на знаке равенства означает, что «обычная» практика состоит в том, чтобы принять правую часть (так называемый тензор энергии-импульса) как данность и затем попытаться вычислить левую часть. Если попытка удалась, тогда решаются уравнения поля для геометрии пространства-времени, связанной с предполагаемым распределением массы-энергии.

Предположим, однако, что мы меняем направление стрелки, то есть мы исходим из желаемой геометрии. Это то, что сделал Эйнштейн, когда он принял геометрию *статической* (нерасширяющейся) вселенной и решил уравнения для требуемой массы-энергии. Он нашел именно то, что предполагалось в то время, – множество «зерен материи» или то, что физики называют «пылью» *плюс* печально известная космологическая постоянная. Эта постоянная с ее отталкивающей гравитацией была необходима, чтобы противодействовать обычному гравитационному притяжению звезд, которое стремится объединить их. Последующее открытие расширяющейся вселенной, конечно, подорвало доверие к решению Эйнштейна.

Теперь давайте лучше пересмотрим подход Эйнштейна и примем геометрию, подобную пространству-времени, которое содержит замкнутые времениподобные кривые (машину времени, другими словами), а затем попытаемся вычислить распределение массы-энергии, нужное для этого пространства-времени. Если решение может быть найдено – и фактически сами уравнения поля обеспечивают алгоритмическое средство решения в этом направлении, – тогда работа физика завершена. Требования к распределению массы-энергии служат своего рода техническим заданием для «конструкторов пространства-времени», а тот, кто предложит самую низкую цену, «просто» создает такое распределение массы-энергии и, таким образом, дает нам машину времени! Однако, завершив все расчеты, мы обязательно обнаруживаем (по крайней мере до сих пор), что получающееся в результате распределение массы-энергии имеет «нефизическую» природу, то есть, с технической точки зрения, наш конструктор пространства не будет знать, как собрать необходимое распределение энергии и массы. Например, в случае пространства-времени с геометрией червоточины массовая энергия в горловине червоточины отрицательна, как я говорил в разделе 6.3.

Однако для путешественников во времени еще не все потеряно. Готт дает возможность создавать замкнутые петли времениподобного типа без «нефизических» червоточин с отрицательной массой, нарушений энергетических условий или изменений топологии. Готт предложил точные решения уравнений Эйнштейна для космических струн, которые (1) в отличие от червоточин не нарушают никаких энергетических условий, (2) не имеют особых сингулярностей или горизонтов событий и (3) не являются топологически многосвязными. Космические струны – это фантастически тонкие (порядка  $10^{-28}$  см в радиусе) нити чистой энергии, которые, как полагают, образовались во время Большого взрыва. Согласно современным теориям, они растянуты на всю ширину Вселенной и имеют огромную линейную плотность массы-энергии порядка  $10^{22}$  г/см. Однако для генерации замкнутых времениподобных путей Готту требуется, чтобы две быстро движущиеся (что означает перемещение практически со скоростью света) параллельные космические струны проходили рядом друг с другом в направлении, близком к столкновению, или чтобы существовала замкнутая эллиптическая струна, которая складывается слегка неплоским образом, так что противоположные, почти прямые стороны «просто смыкаются». Гравитационное взаимодействие двух струн «искривляет» пространство-время настолько сильно, что образуются замкнутые времениподобные кривые.

Намек на возможность нарушения причинно-следственной связи появился еще до работ Готта у Харари и Полихронакоса, но эти авторы не воспринимали путешествие во времени всерьез. Как они писали: «Мы утверждаем, что любая реалистичная модель для вращающейся струны с угловым моментом не будет иметь замкнутых времениподобных кривых». Готт, однако, показал, что, когда две струны проходят друг через друга, их окружают замкнутые времениподобные линии. Готт, который, по-видимому, гораздо менее строг в своих взглядах на путешествия во времени, чем многие его коллеги-физики, все еще не покинул лагерь тех, кто бледнеет при мысли о путешествии во времени в прошлое. Он предположил, что один из способов избежать путешествий во времени, вызванных струнами, состоит в том, чтобы представить, что по мере смыкания струн (или сторон петли струны) будет образовываться черная дыра с горизонтом событий, который перекрывает петли времени от любого потенциального пользователя. Можно предположить, что другой возможный механизм создания замкнутых времениподобных кривых заключается в более реалистичном случае неособых струн (струн с ненулевым радиусом) и «толстых» струн с угловым моментом, имеющих «спин». Однако последствия путешествий во времени остаются неизменными.

А теперь о том, как работает машина времени на космической струне. В 1985 году Готт и независимо от него Хискок обнаружили, что космическая струна деформирует пространство-время весьма характерным образом, как показано на рис. 6.13. Эта стационарная космическая струна перпендикулярна плоскости  $xu$  (плоскости страницы) и проходит через страницу в точке  $(0, d)$  по оси  $y$ . Искажение, создаваемое струной, выглядит так, как будто клин с углом  $2\alpha$  (этот угол называется *углом сокращения*, или *углом*

дефицита) был вырезан из пространства-времени, а затем края разреза были «склеены» вместе; например, точки  $C$  и  $D$  считаются идентичными. Угол сокращения/дефицита получил такое название по причине того, что на радиусе  $r$  от струны круговой путь вокруг струны имеет сокращенную длину  $(2\pi - 2\alpha)r$ , а не обычную  $2\pi r$  (потому что хотя пространство-время вокруг струны локально плоское, оно «коническое», как показано на рис. 6.13).

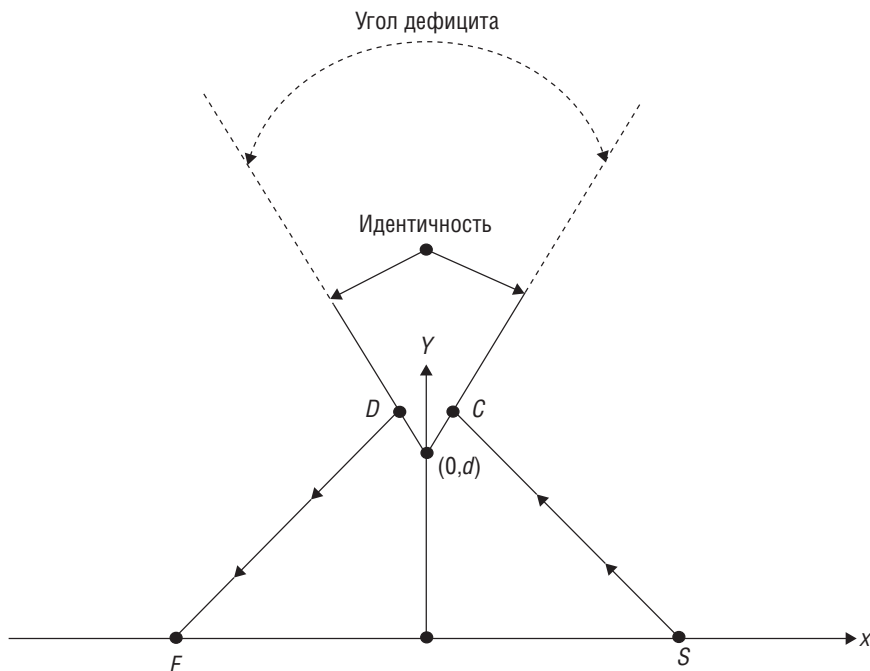


Рис. 6.13. Угол сокращения в пространстве-времени, сформированный космической струной

Теперь рассмотрим две точки  $S$  и  $F$  на оси  $x$  с координатами  $(x_0, 0)$  и  $(-x_0, 0)$ . Предположим, что мы хотим отправить фотоны из  $S$  в  $F$ . В обычном «недеформированном» пространстве-времени прямой путь от  $S$  до  $0$  и далее до  $F$  имеет длину  $2x_0$ . Однако есть и другой путь, от  $S$  до  $C/D$ , и далее до  $F$ , который проходит вокруг космической струны. На самом деле этот второй путь – просто гравитационное линзирование (наблюдатель в  $F$  видел бы два изображения  $S$ , как я говорил в разделе 6.3), и именно это – не путешествие во времени! – первоначально привлекло внимание Готта к струнам. Если бы угол сокращения был равен нулю, то этот альтернативный путь всегда был бы длиннее  $2x_0$  для любого значения  $x_0$ . Однако в случае  $2\alpha > 0$ , если расстояние  $x_0$  достаточно велико ( $x_0 \gg d$ ), то путь вокруг струны и через отсутствующий пространственно-временной клин может быть короче, чем прямой путь (рис. 6.14).



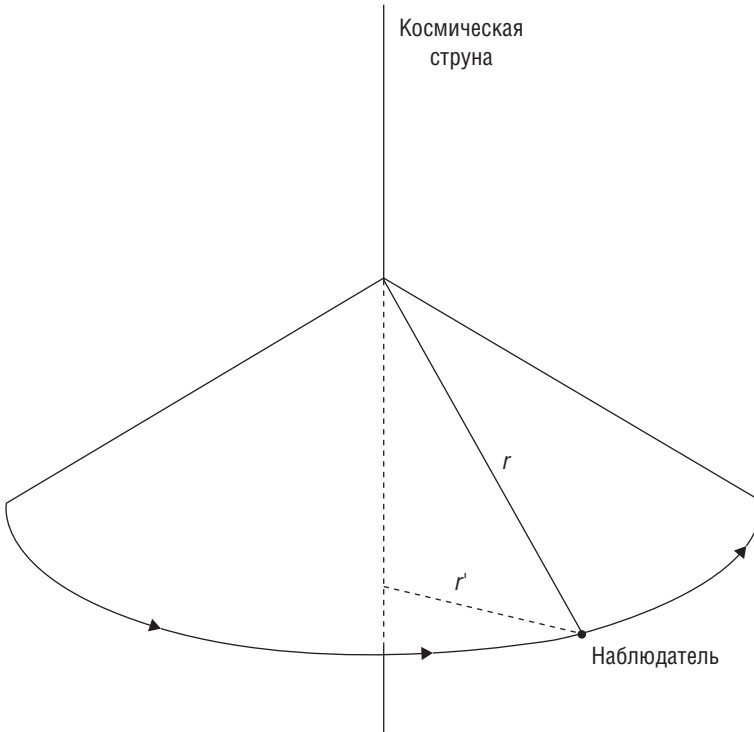


Рис. 6.14. Деформированное коническое пространство-время вокруг космической струны. Наблюдатель в этом пространстве-времени думает, что он на расстоянии  $r$  от струны, но «метанаблюдатель» видит, что он на самом деле на расстоянии  $r'$  от струны. Таким образом, если наблюдатель пройдет полным круговым путем вокруг струны, он пройдет расстояние  $2\pi r' < 2\pi r$ . Наблюдатель в пространстве-времени интерпретирует этот результат, утверждая, что угол  $2\pi$  на самом деле составляет  $2\pi$  минус «сокращение»

Косвенный путь позволяет нам совершить субсветовое путешествие (скажем, на ракете) из  $S$  в  $F$ , когда мы можем обогнать фотон, летящий по прямому пути. То есть два события, когда ракета покидает  $S$  и ракета достигает  $F$ , разделены в пространстве. Таким образом, можно (см. раздел 3.10) найти движущуюся систему отсчета, в которой эти два события *обращены во времени*. В этой системе отсчета космическая струна (которая неподвижна в системе отсчета  $S$  и в системе  $F$ ) будет двигаться – скажем, со скоростью  $v$  – в направлении  $+x$ , и в этой системе отсчета ракета прибывает в  $F$ , прежде чем она покинет  $S$ . Затем, чтобы завершить построение замкнутого времениподобного пути, просто повторите процесс, как показано на рис. 6.15. То есть ракета, прибывающая в  $F$ , развернется и полетит назад к  $S$  по кругу и через деформацию угла сокращения в пространстве-времени из-за второй космической струны на отрицательной оси  $y$  и перпендикулярно плоскости  $xu$ .

Эта вторая струна движется со скоростью  $-v$  (то есть встречно к первой), поэтому ракета достигнет  $S$ , прежде чем покинет  $F$ . Но это означает, что она достигнет  $S$ , прежде чем покинет  $S$ ; то есть ракета ушла в прошлое. Весь этот процесс в точности совпадает с идеей машины времени с двумя червоточинами, романова кольца, описанного в разделе 6.3.

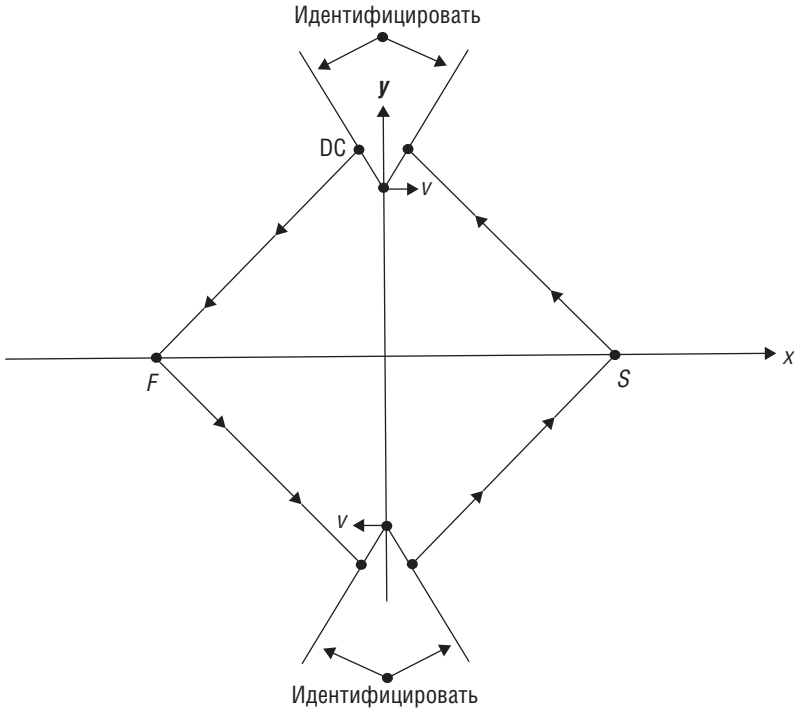


Рис. 6.15. Пространство-время Готта, образованное двумя противоположно движущимися версиями пространства-времени, изображенного на рис. 6.13

Теперь вместо двух противоположно движущихся систем отсчета, где верхняя, неподвижная строка в  $(0, d)$  выглядит движущейся со скоростью  $+v$ , а нижняя строка выглядит движущейся со скоростью  $-v$ , мы можем представить себе наблюдателя в стационарной системе центра масс, который видит две струны, которые движутся со скоростями  $+v$  и  $-v$ . Это оставляет ситуацию неизменной, поэтому в системе центра масс ракета действительно уходит в прошлое, прибывая обратно в  $S$ , прежде чем покинет  $S$ . То есть ракета прошла весь путь вокруг замкнутой времениподобной мировой линии. Отметим также, что упомянутое ранее геометрическое условие  $x_0 \gg d$  сразу подразумевает, что для недостаточно большого  $x_0$  нет замкнутого времениподобного пути из  $S$  в  $F$  и затем обратно в  $S$ , то есть существует область в пространстве-времени Готта, где такие путешествия во времени не могут происходить.

Ори продолжил изыскания Готта, пытаясь понять, *создаются* ли эти «пути путешествий во времени», когда струны приближаются друг к другу, или же пути существуют и в другие времена. Этот важный вопрос сводится к мысли о том, могут ли такие пути машины времени преднамеренно *создаваться* людьми посредством динамического процесса (сильная машина времени) или же они существовали с момента образования вселенной (слабая машина времени). Кроме того, как заметил Ори, эта проблема включает в себя так называемую гипотезу Хокинга о защите хронологии, утверждающую, что законы физики всегда будут препятствовать созданию машины времени. Как обсуждалось в первой главе, одна из причин, почему Хокинг неоднократно приводил доводы в пользу своей гипотезы, заключается в явном отсутствии путешественников во времени из будущего у нас сейчас (в их прошлом). Единственное возможное исключение, допускаемое этой гипотезой, – это создание замкнутых петель времени во время создания вселенной (в тот момент *не было прошлого* для вторжения путешественников во времени!). Ори доказал, что замкнутые времениподобные петли вокруг космических струн Готта присутствуют *всегда*. То есть машина времени не создается путем сближения струн, поэтому гипотеза Хокинга не опровергается пространством-временем Готта.

Одна очень любопытная проблема заключается в том, *где* замкнутые временные петли находятся перед тем, как струны проходят друг через друга. Как кратко упоминает Ори, петли времени изначально находятся в пространственной бесконечности. Когда струны проходят друг через друга, петли со скоростью света сжимаются внутрь области взаимодействия струн – из-за искривленной геометрии пространства-времени Готта скорость света в нем действительно очень высокая! Кстати, гипотеза Хокинга предполагает, что горизонт Коши компактен, то есть все замкнутые времениподобные петли ограничены конечной, односвязной областью в пространстве-времени. Это еще одна причина, по которой машина времени Готта и гипотеза не находятся в противоречии: как мы уже отмечали ранее, замкнутые циклические петли Готта не столь ограничены. Один из коллег Готта утверждал, что «в энергии-импульсе [тензор на горизонте Коши] нет сингулярности и, следовательно, нет механизма защиты хронологии». Однако вскоре Грант пришел к совершенно противоположному выводу! На возражение против пространственной бесконечности Хедрик и Готт дали очень резкий ответ:

*[Проблема] Дезера и соавторов в отношении пространства-времени Готта заключается в том, они апеллируют к замкнутым времениподобным линиям в пространственно-подобной бесконечности; это следует считать недопустимым граничным условием. Интересно, однако, откуда они так много знают о граничных условиях в пространственно-подобной бесконечности. В нашей собственной Вселенной мы не знаем, как выглядит пространственно-подобная бесконечность (если она существует), поскольку мы еще не видели ее. У нас, конечно, нет возможности узнать, есть*

*ли там замкнутые времениподобные линии. В процессе работы физик, конечно, волен устанавливать простые и удобные граничные условия (например, асимптотическую плоскостность) для системы, чтобы изолировать и понять процессы, происходящие в ней. Но граничные условия являются инструментами физиков, и их не следует путать с законами физики [мой курсив]. Могут существовать законы природы, которые ограничивают возможную структуру пространственно-подобной бесконечности, и даже запрещающие замкнутые времениподобные линии, но при отсутствии доказательств такие законы не следует постулировать ad hoc.*

Тем не менее, как заметил Ори, замкнутые петли времени, коллапсирующие внутрь от бесконечности к людям, которые могут захотеть их использовать, – это «ситуация, которая не имеет ничего общего с созданием машины времени человеком» [мой курсив – П. Н.]. Катлер показал, что, в отличие от пространства-времени Гёделя, замкнутые времениподобные линии не присутствуют повсюду в пространстве-времени Готта; как упоминалось ранее, в пространстве-времени Готта есть регионы, которые можно посетить только один раз, и поэтому путешествие во времени было бы невозможным. Ори указывает, однако, что все еще остается открытым вопрос, можно ли создать замкнутые времениподобные петли, которых раньше не было, благодаря процессу ускорения двух струн на курсе, близком к столкновению. Сам Готт поднял этот последний вопрос в своей статье 1991 года, когда писал: «В принципе, развитая цивилизация всегда может ускорить отдельные петли до высокой скорости, гравитационно буксируя их за очень массивными ракетами».

Кэрролл и соавторы утверждают, что «машина времени» Готта не может быть построена в открытой вселенной, обладающей времениподобным полным импульсом, то есть во вселенной со сверхсветовым суммарным импульсом. Авторы утверждают, что показали это, потому что, по их мнению, пара космических струн Готта имеет тахионный полный импульс (хотя каждая струна в отдельности является субсветовой), что они называют «непреодолимым препятствием для построения машины времени». Хедрик и Готт утверждают, что эти авторы просто допустили ошибки в своих рассуждениях и что пространство-время Готта не является тахионным.

Вопрос о том, что происходит в закрытой вселенной, рассматривается в работе Хуфта, который показывает, что такая вселенная разрушится во время Большого схлопывания до того, как успеют образоваться замкнутые времениподобные петли. Эти результаты были получены в предположении, что все массы являются точечными невращающимися частицами в игрушечном пространстве-времени с гравитацией  $2 + 1$ ; такое ограничение обычно считается нефизическим. Впоследствии Менотти и Семинара распространили вывод о невозможности замкнутых времениподобных петель на некоторые случаи неподвижных (но вращающихся) распределенных масс.

Самое ироничное возражение против машины времени на космической струне Готта, по иронии судьбы, исходит от самого Готта. Согласно теории

Ли и Готта, двухструнное пространство-время может дестабилизироваться ненулевой массой любого потенциального путешественника во времени. Они предполагают, что эту проблему можно было бы «решить», допуская, что путешественник во времени и его космический корабль имеют сферически-симметричное распределение массы и окружены оболочкой с отрицательной массой, чтобы дать нулевую массу нетто (и, следовательно, нулевое суммарное гравитационное поле, которое не уничтожит замкнутые времениподобные кривые, генерируемые струнами). Но это, как они отмечают, сводит на нет важнейшее преимущество – отсутствие нарушения условий слабой энергии, – благодаря чему машины времени на основе космических струн доминировали над машинами времени на основе червоточин.

Представляет ли путешествие вокруг пары космических струн какие-то проблемы, помимо фундаментальной физики самих струн? Так вот, я думаю, что написать «развернуть ракету в  $F$  и полететь обратно в  $S$ » гораздо проще, чем сделать! Все путешествие должно происходить в тот момент, когда струны, движущиеся со скоростью света, находятся в положении, при котором их можно облететь. Как один из персонажей говорит другому в романе Стивена Бакстера «Кольцо»: «Луиза, струны движутся со скоростью света – фактически в тысячных долях от нее. [Наш корабль] движется со скоростью чуть более половины скорости света. Изгибы траектории и возникающие ускорения невероятны...» Я тоже так думаю! И мне интересно, кто или что на самом деле управляет ракетой, летящей быстрее, чем  $\frac{1}{2}$  скорости света?

## 6.5. Быстрая ракета – односторонняя машина времени в будущее

*Многие физики считают, что этот парадокс может быть разрешен только общей теорией относительности. Они находят в этом большое утешение, потому что они ничего не знают про общую теорию относительности и считают, что им не нужно беспокоиться об этой проблеме, пока они не возьмутся ее изучать. Однако они совершенно не правы. Эффект близнецов ... является предметом специальной теории относительности.*

– Шилд (1959)

*Мы нашли решения уравнений дуоквадрантных линеаций... Нам помогла производная четвертого порядка по углам от шести возможных электронных измерений. Так я проник в будущее.*

– Типичный ученый из фантастики 1930-х годов лепечет бессвязный бред вместо специальной теории относительности, пытаясь объяснить путешествия в будущее в рассказе «Хозяин времени» (Хаггард)

Мои следующие рассуждения по сути являются пересказом работы немецкого астронома Себастьяна фон Хёрнера, который опубликовал основ-

ные идеи в журнале *Science* в 1962 году под названием «Общие ограничения космических путешествий». В следующем году работа была перепечатана в классической антологии *Interstellar Communication*. Позже несколько запутанные математические выкладки фон Хёрнера были отшлифованы Мардером, британским прикладным математиком, который включил эту тему в свою блестящую, исчерпывающую книгу о парадоксе близнецов в специальной теории относительности.

Это исследование описывает ускоренную ракету и предполагает, что формулы специальной теории относительности выполняются в каждый момент времени. Это мнение, которое фон Хёрнер назвал «всеми допускаемым, но еще не принятым». Для начала, наш путешественник во времени попадает на свою ракету в момент времени  $t = t' = 0$  ( $t$  – время, измеренное на Земле, а  $t'$  – время, измеренное на ракете). Часы на Земле и часы на ракете синхронизируются в момент вылета. Мы предполагаем, что запуск ракеты должен осуществляться с комфортом, поэтому пусть ракета разгоняется с постоянным ускорением. В численных расчетах я фактически позволю ускорению принять значение  $1g$ , что эквивалентно гравитации Земли – ускорению, с которым мы все живем всю свою жизнь. Конечно, это имеет практическое значение, потому что мы не хотим, чтобы путешественник во времени умер от перегрузки. Учитывая все обстоятельства, вероятно, лучше попасть в будущее живым! Путешественник совершает перемещение за интервал времени  $T$  (измеренный на Земле) и  $T'$  (измеренный на ракете). В это время ракета движется с максимальной скоростью.

Затем путешественник выключает задний двигатель и включает передний двигатель, чтобы испытать постоянное замедление. Пол и потолок меняются местами, но наш путешественник всегда весит одинаково. Если он делает это в течение того же временного интервала ( $2T$  по времени Земли,  $2T'$  по времени ракеты), что и для интервала ускорения, то ракета будет остановлена относительно Земли. В это время ( $2T$  на Земле и  $2T'$  на ракете) ракета находится на максимальном расстоянии от Земли. Затем путешественник во времени возвращается на Землю, используя тот же процесс ускорения/замедления. Таким образом, путешественник во времени возвращается домой мягко с конечной нулевой скоростью относительно Земли (игнорируя, конечно, все навигационные проблемы, связанные с движением Земли во время поездки).

В этих рассуждениях мы должны быть осторожны с тем, как величины переводятся из одной системы отсчета в другую (то есть между системами Земли и ракеты). В частности, что подразумевается под постоянным ускорением? Ускорение ракеты не будет одинаковым для наблюдателей на Земле и путешественников во времени на ракете. Однако путешественник во времени испытает ускорение ракеты, и мы можем физически сделать так, чтобы это ускорение было постоянным, если в ракете мы отслеживаем удлинение пружины с массой, прикрепленной к свободному концу, и прикрепим другой конец к стене. Конечно, с точки зрения наблюдателя на Зем-

ле ускорение непрерывно сводится к нулю, когда скорость ракеты приближается к предельной скорости света.

Общая продолжительность поездки составила  $4T$  по времени Земли и  $4T'$  по времени ракеты. Утверждение состоит в том, что  $4T' < 4T$  (как это более детально показано в разделе 3.11), и на самом деле данное неравенство может быть совершенно удивительным в своем дисбалансе. Чтобы показать это, я определю скорость ракеты в кадре Земли как  $v$ . Мы можем предположить, что в любой данный момент существует вторая система отсчета, движущаяся с некоторой фиксированной скоростью  $V$  (в системе отсчета Земли) в направлении, параллельном движению ракеты. Местоположение точки отсчета этой движущейся системы произвольно; это не обязательно мгновенное местоположение ракеты. Расстояние ракеты от Земли равно расстоянию ракеты от начала координат второй системы до  $x'$ . Скорость ракеты во второй системе равна  $v'$ , поэтому из формулы сложения скоростей (см. раздел 3.9) следует:

$$v = \frac{v' + V}{1 + Vv' / c^2}.$$

Времена в системе Земли и движущихся системах ( $t$  и  $t'$ ) связаны через преобразование Лоренца как

$$t = \frac{1}{\beta} \left( t' + \frac{Vx'}{c^2} \right), \quad \beta = (1 - V^2 / c^2)^{1/2}.$$

Дифференцируя первое выражение по  $v'$ , легко показать, что

$$dv = \frac{\beta^2}{(1 + Vv' / c^2)^2} dv'.$$

Использование правила цепочки для функций нескольких переменных при нахождении полного дифференциала  $dt$  дает

$$dt = \frac{\partial t}{\partial t'} dt' + \frac{\partial t}{\partial x'} dx' = \frac{1}{\beta} dt' \left( 1 + \frac{V}{c^2} \frac{dx'}{dt'} \right).$$

Поскольку  $dx'/dt'$  – это скорость ракеты во второй системе ( $v'$ ),

$$dt = \frac{1}{\beta} dt' \left( 1 + \frac{V}{c^2} v' \right).$$

Теперь мы можем записать ускорение ракеты, видимое с Земли, как отношение дифференциалов  $dv$  и  $dt$ :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\beta^3}{(1 + Vv' / c^2)^3} \frac{dv'}{dt'},$$

где  $dv'/dt'$  – ускорение с точки зрения *путешественника во времени*. Отсюда следует, что ускорения в двух системах отсчета не равны.

Теперь явно установим  $V = v$ ; то есть установим  $V$  равным скорости ракеты в некоторый (любой) данный момент. В этот момент вторая система находится в состоянии покоя относительно ракеты, и поэтому  $v' = 0$ . Вторая система называется сопутствующей системой ракеты, и так называемая *гипотеза локальности*, которая, как правило, используется в теории относительности, утверждает мгновенную эквивалентность ускоренного путешественника во времени с наблюдателем в сопутствующей системе. Таким образом, с этим значением  $V$  мы имеем

$$\frac{dv}{dt} = \beta^3 \frac{dv'}{dt'}$$

Предполагаемое ускорение,  $dv'/dt'$ , считается постоянной величиной (назовем его  $a$ ), поэтому это уравнение особенно легко решить. Таким образом, поскольку  $V = v$ ,

$$\frac{dv}{dt} = \beta^3 a = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{3/2} a,$$

или

$$\frac{dv}{\left(1 - v^2 / c^2\right)^{3/2}} = a dt.$$

Принимая  $v = 0$  при  $t = 0$ , после интегрирования получаем

$$v = \frac{at}{\left[1 + (at/c)^2\right]^{1/2}}.$$

Подстановка  $t = T$  дает максимальную скорость ракеты:

$$\text{макс. скорость ракеты} = \frac{aT}{\left\{1 + \left(\frac{aT}{c}\right)^2\right\}^{1/2}}.$$

Интегрируя еще раз, чтобы получить расстояние ракеты от Земли ( $x = 0$  при  $t = 0$ ), мы находим, что в момент времени  $t = T$  ракета находится в точке

$$x = \frac{c \left\{ \left( a^2 T^2 + c^2 \right)^{1/2} - c \right\}}{a},$$



и поэтому *максимальное* расстояние ракеты от Земли *вдвое* превышает это значение, расстояние в момент времени  $t = 2T$ . Чтобы найти взаимосвязь между  $T$  и  $T'$ , вспомним (см. разделы 3.8 и 3.9), что

$$dt' = \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2} dt,$$

и интегрируем, чтобы получить

$$T' = \int_0^T \left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{1/2} dt.$$

Подстановка выражения для  $v$  как функции от  $t$  дает нам

$$T' = \frac{c}{a} \sinh^{-1} \left( \frac{aT}{c} \right),$$

или, что эквивалентно,

$$T = \frac{c}{a} \sinh \left( \frac{aT'}{c} \right).$$

Напомним, что общее время прохождения туда и обратно составляет  $4T$  по времени Земли и  $4T'$  по времени ракеты. В табл. 6.1 приведено сравнение  $4T'$  с  $4T$  при равномерном ускорении  $1g$ . Если бы люди могли выдерживать выдерживать ускорение  $2g$  в течение неопределенно долгих периодов времени, то было бы возможно значительно более глубокое проникновение в будущее в течение одной человеческой жизни, как видно из табл. 6.2. Пильгером из лаборатории исследования артериосклероза в Миннеаполисе написал ответное письмо, в котором высказался против применения законов физики к биологическим системам. Ошибочно утверждая, что замедление времени «никогда не было доказано или опровергнуто экспериментально», Пильгером далее заявил, что «не существует известных причин, по которым значительно возросшая скорость могла бы изменить, не разрушая саму биохимическую основу жизненного процесса, те метаболические изменения, которые являются ответственными за процесс старения». Фон Хёрнер дал аргументированный ответ, который можно найти сразу после письма Пильгером.

Таблица 6.1. Путешествие в будущее на ракете с ускорением 1g

Испытываемое ускорение = 1g			
4T (годы на ракете)	4T (земные годы)	Максимальное расстояние (световых лет)	Максимальная скорость (× скорость света)
1	1,01	0,065	0,252
2	2,09	0,26	0,475
5	6,5	1,85	0,86
7	11,5	4,1	0,95
10	25,5	10,9	0,9886
20	339	167	0,99993
30	4478	2237	0,9999996
40	59 223	29 610	

Таблица 6.2. Путешествие в будущее на ракете с ускорением 2g

Испытываемое ускорение = 1g			
4T (годы на ракете)	4T (земные годы)	Максимальное расстояние (световых лет)	Максимальная скорость (× скорость света)
1	1,04	0,13	0,475
2	2,4	0,56	0,775
5	12,7	5,47	0,9886
7	35,9	17	0,9985
10	169,3	83,7	0,9993
20	29 612	14 805	
30	5 180 000	2 589 279	
40	906 млн (!)	453 млн (!)	

Если космическое путешествие ограничено субсветовыми скоростями в обычном пространстве, то, по-видимому, единственный способ путешествовать к звездам *в течение жизни членов экипажа* – использовать эффект замедления времени. Но путешествие во времени таким способом обойдется вам в ужасную цену. Когда главного героя в повести 1950-х годов «К звездам» (Хаббард) обманом заманили на борт околосветовой ракеты, он кричал «Отпустите меня!», и в его голосе звучало настоящее безумие... Он знал все об уравнениях относительности Лоренца–Эйнштейна. Он знал, что случается, когда корабль достигает девяноста девяти процентов скорости света... Когда масса приближается к скорости света, время приближается к нулю. Это был его приговор ... навеки».

Возможно ли, что такие путешествия когда-нибудь смогут совершать люди будущего? Нет. Подобные путешествия требуют скоростей, которые составляют значительную долю или даже почти равны скорости света, как показано в крайних правых столбцах табл. 6.1 и 6.2. Движение в пространстве (которое не является идеальным вакуумом) на таких скоростях привело бы к столкновениям на очень высокой скорости с рассеянными атомами водорода (около одного на кубический сантиметр пространства). Результатом этих энергетических взаимодействий было бы интенсивное облучение всего корабля смертельной дозой гамма-лучей задолго до того, как путешествие действительно началось. И как показал фон Хёрнер в своей статье, энергозатраты таких поездок ошеломляют.

## 6.6. Время и гравитация

*Он сказал мне, что достаточно хорошие часы могли бы измерить влияние гравитации на время – красное смещение гравитационного поля Земли. То, что гравитация меняет время, казалось мне невероятным. Мне и сейчас так кажется.*

*– Даниэль Клеппнер (профессор физики в MIT), вспоминает слова своего преподавателя физики, когда он был студентом в Кембридже, Англия (из Physics Today, январь 1994)*

*Показано, что взаимодействие червоточины с гравитационным полем почти неизбежно превращает ее в машину времени.*

*– Фролов и Новиков (1990)*

Представьте массивное тело в космосе. На поверхности этого тела горячий объект испускает электромагнитное излучение, и хотя это не является существенным условием, представьте, что температура этого объекта достаточно высока, чтобы часть излучения (испускаемого самими атомами объекта) находилась в видимой части спектра. Исходя из основ квантовой теории, мы также можем утверждать, что атомы объекта излучают фотоны («частицы света»), каждый из которых имеет энергию  $hf$ , где  $h$  – постоянная Планка и  $f$  – частота в герцах (число колебаний в секунду). Чем выше температура объекта, тем выше энергия фотона и выше частота. В видимом спектре  $f$  составляет порядка  $10^{15}$  Гц, то есть в миллиард раз выше, чем у радиовещательных станций.

Излучающие атомы можно рассматривать как крошечные часы с чередующимися полупериодами излучения, аналогичными колебанию маятника. Эти атомные часы, «встроенные» в горячий излучающий объект, могут измерить течение времени на поверхности массивного тела. Однако, с точки зрения отдаленного наблюдателя, получающего фотоны от горячего объекта, время на поверхности массивного тела будет протекать с меньшей

скоростью по сравнению с фотонами, испускаемыми его собственным идентичным горячим объектом при той же температуре («местные» часы). То есть излучение, которое приходит к удаленному наблюдателю, смещается по частоте вниз к красному концу видимого спектра, потому что оно преодолело гравитационное поле (так называемое вылезание из гравитационной ямы), и эффект называется *гравитационным красным смещением*, или гравитационным замедлением времени (или даже смещением Эйнштейна, потому что именно Эйнштейн впервые предсказал эффект в 1907 году).

Вы можете «представить» этот эффект смещения следующим образом. Можно грубо представить себе фотон, испускаемый горячим объектом, как нечто вроде камня, подброшенного вверх. Когда камень поднимается вверх через гравитационное поле, его полная мгновенная энергия всегда постоянна, но общая, фиксированная энергия делится между его кинетической и потенциальной энергиями постоянно меняющимся образом. То есть когда камень поднимается, его кинетическая энергия постоянно уменьшается (камень замедляется), в то время как его потенциальная энергия постоянно увеличивается. Однако фотон – это не камень, и он, конечно, не может замедляться, когда поднимается через гравитационное поле (он всегда движется со скоростью света, потому что фотон – это и есть свет). Единственный способ, которым фотон может избавиться от энергии, чтобы уравновесить постоянно растущую потенциальную энергию (физики поморщатся от этого, но читайте дальше), – это уменьшить свою частоту. Отсюда и красное смещение, наблюдаемое далеким наблюдателем фотона, который таким образом видит медленное течение времени на массивном теле. На рис. 6.16 показан случай для часов, расположенных на более массивном теле в сравнении с часами на удалении. Обратите внимание на «направление силы тяжести», т. е. на то, в каком направлении будет двигаться небольшое подвижное тело.

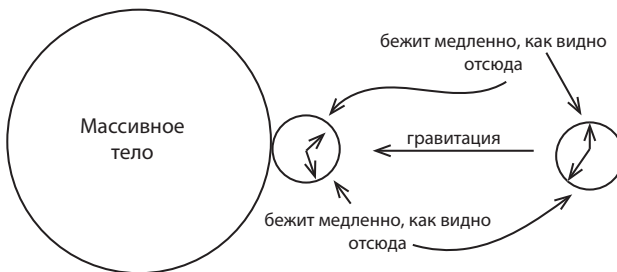


Рис. 6.16. Гравитационное замедление времени из-за массивного тела

Гравитационное смещение в «противоположном» направлении хорошо описано в рассказе Ларри Нивена «Нейтронная звезда». Космический путешественник приближается к интенсивному гравитационному полю нейтронной звезды (на половине скорости света!), проходя в пределах пары километров от поверхности звезды. Он замечает: «Меня окружали синева-

то-белые звезды. Представьте, что свет падает в дикий крутой гравитационный колодец. Он не ускорится. Свет не может двигаться быстрее скорости света. Но он может набрать энергию за счет увеличения частоты. Свет набегал на меня все сильнее и сильнее, пока я падал». Для бесстрашного космонавта Нивена, оказавшегося вблизи массивных сине-белых звезд, свет, кажется, идет быстрее. Это показывает, что этот эффект с тем же успехом можно назвать «гравитационным синим смещением».

Обратите внимание, что изменения времени, вызванные гравитацией, не являются парадоксальными в том смысле, как замедление времени, вызванное движением. То есть в случае гравитационного замедления времени наблюдатели могут достичь согласия о том, какие часы работают «медленно», а какие «быстро», в отличие от случая, вызванного движением, когда каждый из относительно движущихся наблюдателей думает, что медленно идут часы другого наблюдателя.

Фотон, испускаемый горячим предметом, можно условно представить в виде камня, брошенного вверх. Когда камень поднимается вверх через гравитационное поле, его полная мгновенная энергия всегда постоянна, но эта общая энергия распределяется между кинетической и потенциальной энергиями в постоянно меняющемся соотношении. То есть когда камень поднимается, его кинетическая энергия постоянно уменьшается (камень замедляется), тогда как его потенциальная энергия постоянно увеличивается. Однако фотон – это не камень, и он, конечно же, не может замедляться, поднимаясь через гравитационное поле (он *всегда* должен двигаться со скоростью света, ведь фотон – это и есть свет). Единственный способ, которым фотон может отдать энергию, чтобы компенсировать постоянное увеличение потенциальной энергии, – это уменьшить свою частоту. Отсюда и красное смещение, видимое удаленным получателем фотона.

Чтобы количественно оценить эффект, объединим три основных понятия. Во-первых, как упоминалось в начале данного раздела, фотон с частотой  $f$  имеет энергию  $E = hf$ . Во-вторых, из известного соотношения массы и энергии Эйнштейна  $E = mc^2$  мы можем связать с фотоном эффективную массу

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{hf}{c^2}.$$

В-третьих, если фотон находится в гравитационном поле массивного тела, то благодаря своей эффективной массе фотон может получить или потерять (как и любая другая частица) потенциальную энергию.

Чтобы вернуться к физической ситуации в начале этого раздела, предположим, что массивное тело сферически симметрично с радиусом  $R$  и массой  $M$ . Тогда согласно теории тяготения Ньютона мы вычисляем силу гравитации  $F$  на теле массой  $m$  на расстоянии  $r > R$  от центра тела как

$$F = \frac{GMm}{r^2},$$

где  $G$  – универсальная гравитационная постоянная. Обозначим через  $W$  потенциальную энергию массы  $m$ . Мы можем рассчитать дифференциальное увеличение потенциальной энергии эффективной массы  $m$  фотона при его движении от высоты  $r$  над поверхностью массивного тела к высоте  $r + dr$ :

$$dW = F \times dr = \frac{GMm}{(R+r)^2} dr.$$

В соответствии с законом сохранения энергии это дифференциальное увеличение потенциальной энергии требует равного дифференциального уменьшения энергии фотона  $hf$ , то есть

$$h \times df = -\frac{GM(hf/c^2)}{(R+r)^2} dr,$$

или

$$\frac{df}{f} = -\frac{GM}{(R+r)^2 c^2} dr.$$

Интегрирование с  $f = f_0$  при  $r = R$  (нулевой угол) и  $f = f_s$  при  $r = R + s$  (возвышение  $s$ ) дает

$$\int_{f_0}^{f_s} \frac{df}{f} = -\frac{GM}{c^2} \int_R^{R+s} \frac{dr}{(R+r)^2},$$

или

$$\lambda v \left( \frac{f_s}{f_0} \right) = -\frac{GMs}{Rc^2(R+s)} = -\frac{GM}{R^2} \frac{s}{\left(1 + \frac{s}{R}\right)c^2}.$$

Таким образом,

$$f_s = f_0 e^{-\frac{GM}{R^2} \frac{s}{\left(1 + \frac{s}{R}\right)c^2}}.$$

Мы можем выразить это в более удобной форме как функцию поверхностной гравитации на массивном теле следующим образом. Если рассматриваемая масса  $m_T$  находится на поверхности, то мы можем установить силу инерции, которую она испытывает, равной силе гравитации, и записать

$$m_T g = \frac{GMm}{R^2},$$

где  $g$  – ускорение силы тяжести на поверхности. Следовательно,

$$g = \frac{GM}{R^2}$$

отсюда

$$f_s = f_0 e^{\frac{gs/c^2}{\left(1 + \frac{s}{R}\right)}}$$

Поскольку экспоненциальный коэффициент меньше 1, если  $s > 0$ , этот результат прямо говорит нам о том, что отдаленный наблюдатель после получения с поверхности фотона, имеющего сдвиг частоты вниз, сделает вывод, что часы на поверхности массивного тела работают медленнее, чем его собственные часы (удаленные от поверхности и находящиеся в более слабом гравитационном поле). То есть получается, что более сильное гравитационное поле, присутствующее в расположении источника фотона, «замедляет время». В (обычном) случае очень малого показателя степени мы можем аппроксимировать экспоненту с незначительной ошибкой только первыми двумя членами ее разложения в степенные ряды:

$$f_s \approx f_0 \left[ 1 - \frac{gs/c^2}{\left(1 + \frac{s}{R}\right)} \right]$$

Это обычно (но не всегда) *очень* маленький эффект. Он увеличивается с увеличением высоты, поэтому давайте сначала рассмотрим случай  $s \gg R$ , случай «часов, удаленных на бесконечное расстояние». Тогда мы имеем

$$\frac{f_s}{f_0} = 1 - \frac{gR}{c^2}$$

Для случая с часами на поверхности Земли мы принимаем  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ,  $R = 6,44 \times 10^6 \text{ м}$  и  $c = 3 \times 10^8 \text{ м/с}$  и получаем

$$\frac{f_s}{f_0} = 1 - 7 \times 10^{-10}$$

Таким образом, если взять двое одинаковых изначально синхронных часов и одни оставить на Земле, а вторые отнести «на бесконечное расстояние», то через 45 лет первые часы будут отставать только на одну секунду.

Этот крошечный сдвиг частоты еще меньше, если те и другие часы находятся близко к поверхности. Однако в 1964 году экспериментаторы сумели измерить небольшую разницу во времени, и было установлено, что она согласуется с теорией с погрешностью менее 1 %. В эксперименте использовались фотоны, проходящие вертикальное расстояние всего 22,5 м. Экспериментальная точность этого измерения составила порядка одной части

на *миллион миллиардов*! Чтобы понять, откуда взялось это число, обратите внимание, что теперь у нас есть  $s \ll R$ , следовательно, при  $s = 22,5$  м получим

$$\frac{f_s}{f_0} = 1 - \frac{gs}{c^2} = 1 - 2,45 \times 10^{-15}.$$

Для двух идентичных часов, если изначально они были согласованы, теперь потребуется 13 *миллионов* лет, чтобы разойтись на одну секунду.

Таким образом, на Земле влияние гравитации на время кажется нулевым. Например, за все время существования Земли, около четырех с половиной миллиардов лет, двое часа в предыдущем расчете разойдутся не более чем на шесть минут. А что, если мы сравним часы на Земле с часами на Солнце? Тогда формула для «часов, удаленных на бесконечное расстояние» позволит Солнцу играть роль Земли (и поэтому мы должны использовать значения радиуса Солнца и его поверхностной гравитации), а часы на поверхности Земли будут считаться часами «в бесконечности». Мы предполагаем, что сила тяготения на поверхности Земли ничтожно мала по сравнению с Солнцем, и поскольку сила тяготения на поверхности Солнца примерно в 28 раз больше, это выглядит хорошим приближением. Поэтому, используя  $R = 6,95 \times 10^8$  м и  $g = 272$  м/с<sup>2</sup>, получаем

$$\frac{f_s}{f_0} = 1 - 2,1 \times 10^{-6}.$$

Таким образом, по прошествии века на Земле эти двое часов разойдутся примерно на 9500 *лет*! Если, как в рассказе Грегори Бенфорда 1995 года «Червь в колодце», мы когда-нибудь обнаружим устье червоточины на Солнце и если мы представим, что оно было там с момента образования Земли, то у нас будет «временной туннель», через который можно уходить на 95 веков в прошлое при каждом проходе через червоточину (это меньше времени, необходимого для возвращения обратно ко входному устью).

Результат последних вычислений особенно ошеломляет, потому что гравитация Солнца в космическом масштабе довольно слабая. Однако в других областях Вселенной в интенсивных гравитационных полях нейтронных звезд и черных дыр влияние гравитации на время может быть гораздо более драматичным. Гравитационное замедление времени – это, по сути, механизм, используемый Фроловым и Новиковым для достижения временного сдвига между двумя устьями червоточины, в отличие от использования замедления времени при *перемещении* одного из устьев с высокой скоростью, о чем шла речь в разделе 6.3.

Любопытно, что писатели-фантасты, похоже, не очень-то интересовались эффектом гравитационного замедления времени. Двумя известными романами, в которых центральное место занимают поля высокой гравитации, являются классическая «Миссия гравитации» 1954 года Хэла Клемента и более позднее (1980) «Яйцо дракона» Роберта Л. Форварда. Однако замедление времени под действием силы тяжести не играет никакой роли ни в одной



из книг. В романе Клемента причины этого легко понять; гравитационное поле на гигантской планете Месклин, хотя и высокое по земным меркам (около 700g), все равно будет вызывать лишь незначительное замедление времени, и в 1954 году эти идеи не были широко известны даже в физическом сообществе. С другой стороны, роман Форварда – это разумная жизнь на нейтронной звезде с радиусом 10 километров и поверхностной гравитацией 67 миллиардов g. Подстановка этих значений в формулу для «часов, удаленных на бесконечность» дает

$$\frac{f_s}{f_0} = 1 - 0,07.$$

Часы на Земле будут идти примерно на 7 % быстрее, чем часы на нейтронной звезде. Спустя всего один год (по данным земных часов) часы на нейтронной звезде будут на 25 с лишним суток отставать от земных часов. Впрочем, у Форварда разумные существа живут быстрее землян. Он дает интересное объяснение: жизнь на нейтронной звезде основана не на химических реакциях (которые определяются исключительно слабыми взаимодействиями электронов во внешних оболочках атомов), а на гораздо более быстрых, гораздо более энергичных ядерных реакциях. Его существа живут с относительной скоростью более ста лет в час; биологическое время на звезде течет в миллион раз быстрее, чем на Земле.

Впрочем, одно произведение было написано с использованием эффекта гравитационного замедления времени, и это действительно красивая, эмоциональная история. Рассказ Пола Андерсона «Кайри» о визите космического корабля к сверхновой звезде в компании с фантастической инопланетной формой жизни – шаром разумной плазмы, способным к телепатии. Пока корабль стоит на расстоянии 500 млн километров от звезды, плазмовидное существо по имени Люцифер собирается приблизиться к черной дыре в центре взрыва и телепатически рассказать о своих находках людям на корабле. Физик в команде интересуется одним моментом:

*«Я задавался вопросом о предмете. Предположительно Люцифер пройдет совсем рядом со сверхновой. Сможете ли вы по-прежнему поддерживать с ним связь? Не слишком ли изменит частоту его мыслей эффект замедления времени?»*

В итоге Люцифер погибает в черной дыре, спасая корабль от разрушения, и человек-телепат будет слышать (чувствовать?) его предсмертный крик до конца своих дней. Как физик объясняет капитану, телепатия является мгновенной и не имеет предельного диапазона (нет никаких известных физических оснований для веры в это, но это крайне важно для эффекта истории):

*«Помни о замедлении времени. Да, он упал туда и быстро погиб. Но по времени сверхновой, а не по нашему времени. Для нас полный коллапс звезды занимает бесконечное количество лет... Он всегда будет с ней».*

Торн дал хорошее иллюстрированное пояснение того, как гравитационное замедление времени приводит к тому, что прохождение сигнала от горизонта событий черной дыры до удаленного приемника может занимать бесконечное время (даже если он излучается за конечное время).

## 6.7. Вопросы для самостоятельных размышлений

Связь между сверхсветовыми скоростями и обратными путешествиями во времени совершила очень быстрый скачок из теоретической физики в массовую культуру. Так, например, в британском юмористическом еженедельнике Punch был впервые опубликован знаменитый (но почти всегда неправильно цитируемый) лимерик А. Х. Р. Буллера: «Жила-была молодая леди по имени Брайт, которая двигалась гораздо быстрее света, однажды она отправилась в относительный путь и вернулась прошлой ночью».

Голливуд никогда особо не отставал от Punch. Вообще-то, в этом случае он был на самом деле первым, с фильмом 1922 года, однокатушечной немой комедией «The Sky Splitter». Это был всего лишь короткометражный фильм (художественные картины обычно имели по крайней мере четыре катушки), поэтому не ясно, насколько широко он распространялся и просматривался. Это история ученого, испытывающего новый космический корабль; когда он превышает скорость света, он начинает заново переживать свою жизнь. Все это показывает, что сегодняшнее увлечение последними достижениями теоретической физики, столь распространенное в массовой культуре, не является чем-то новым. Как вы думаете, почему это так? То есть почему (например) хотя так много тех, кто увлекается научно-фантастическими фильмами о межзвездных вторжениях (таких как «День независимости» 1996 года и его продолжение 2016 года), тем не менее мало кто имеет представление о скромной вероятности таких вторжений из-за огромной величины межзвездных расстояний? Расстояния настолько огромные, что даже при скорости света требуется четыре года, чтобы добраться до ближайшей звезды-соседа Солнца, и миллионы лет, чтобы достичь ближайшей соседней галактики Млечного Пути. (Необъятность межзвездных расстояний, как уже упоминалось в тексте, является причиной увлечения варп-двигателями как в научной фантастике, так и в физике.)

В кротовых норах и космических струнных машинах времени, а также в варп-двигателях мы столкнулись с идеей отрицательной массы-энергии в форме «экзотической материи». Что-то вроде отрицательной массы появилось в художественной литературе давным-давно, в романе Джозефа Аттерли «A Voyage to the Moon» 1827 года, псевдоним Джорджа Такера, профессора нравственной философии в Университете Вирджинии. (Одним из учеников Такера был Эдгар Аллен По, который почти наверняка под влиянием книги Такера написал свою собственную лунную сказку 1835 года «Необыкновенное приключение некоего Ганса Пфааля».) Путешествие в работе Такера было приведено в действие металлом под названием лунарий, который отталкивает Землю. Это не то же самое вещество, что «Каворит» Уэллса, металлический сплав, который «прозрачен» для гравитации и который появляется в его книге 1901 года «Первые люди на Луне». Конкурентом Уэллса в жанре «научного романа» был, конечно, Жюль Верн. Уэллс был провидцем, который заглядывал далеко за пределы следующих нескольких десятилетий, в то время как Верн был «практическим инженером», который, например, доставил своих персонажей на Луну прямым методом, просто расстреляв их из 900-футовой пушки с 400 000 фунтов гункоттона! (Видение Уэллса иногда подводило его, как это было с неизбежной вероятностью появления самолетов в его «Предвидениях» 1901 года. Он полагал, что они будут разработаны к 2000 году, а может быть, даже до 1950 года, но, конечно, не ожидал их появления всего через два года...) В интервью журналу 1903 года Верн рассказал о том, как он воспринимал разницу между своей работой и работой Уэллса: «Мне кажется, что его рассказы не опираются на глубокую научную основу... Он отправляется на Марс в воздушном корабле, построенном из металла, который уничтожает закон тяготения. *C'est tre's joli* (это все очень мило), но покажите мне металл. Пусть он его и предьявит». Сегодня крик тех, кто не любит червоточины, похож на верново «покажите нам экзотическую материю!». Если бы Уэллс и Верн писали сегодня, как, по-вашему, каждый из них ответил бы на этот вызов? Было бы возможное существование (или нет) экзотической материи вопросом, с которым согласились бы оба?

Напишите короткий рассказ о временной петле, основанный на идее Лосева и Новикова об «очень старом космическом корабле», взаимодействующем с удаленной червоточиной.

Представьте себе электронную схему  $A$ , которая имеет следующее поведение: входной сигнал  $A$  – это функция времени, имеющая четко определенное максимальное значение (то, что инженеры-электрики называют пиковым значением). Выходной сигнал схемы, вырабатываемый в ответ на входной сигнал, также имеет четко определенное пиковое значение. Теперь представьте себе далее, что выходной пик происходит до входного пика. На самом деле в этом нет ничего парадоксального или невозможного, и такая схема может быть (и была) построена. Далее предположим, что мы берем выходной сигнал  $A$  и используем его в качестве входа в другую цепь  $B$ , которая, когда ее вход превышает определенный уровень, отключает вход в  $A$  до того, как этот вход достигнет своего пикового значения. Схема  $B$  также может быть построена в реальном мире. Действительно, вы можете прочитать о том, как построить  $A$  и  $B$ , в двух работах М. У. Митчелла (M. W. Mitchell) и Р. Я. Чао (R. Y. Chiao), «Causality and Negative Group Delays in a Simple Bandpass Amplifier», *American Journal of Physics*, January 1998, p. 14–19, и «Negative Group Delay and “Fronts” in Causal System: An Experiment With Very Low Frequency Bandpass Amplifiers», *Physics Letters A*, June 16, 1997, p. 133–138. Чем привлекательна эта схема для нашей книги, так это тем, что «кажется, открывает путь для варианта парадокса путешествия во времени, в котором путешественник путешествует в прошлое и убивает своего деда, прежде чем родится его собственный отец», наблюдение, сделанное в Garrison и др., «Superluminal Signals: Causal Loop Paradoxes Revisited», *Physics Letters A*, August 10, 1998, p. 19–25. Эта электронная версия парадокса бабушки действительно имеет место, если заменить «входной пик» на «дедушку» и «выходной пик» на «путешественника во времени». Но прежде чем вы подумаете, что это устройство – машина времени, будьте уверены, что ее конструкторы также показали, что, в отличие от причинно связанных бабушки и путешественника во времени, два пика не имеют такой связи. Прочтите эти три статьи и напишите краткий отчет о том, как работают цепи  $A$  и  $B$  и почему эти два пика не так связаны.



---

## Словарь важных терминов и определений

---



### А

**Антиматерия** (anti-matter): экспериментально подтвержденное предсказание квантовой механики, что все фундаментальные частицы материи существуют в двух версиях («нормальная» версия и «антиматерия»). Например, позитрон – это эквивалент электрона в антиматерии, отличающийся только знаком электрического заряда. Фотон, в свою очередь, является собственной античастицей. **Субсветовая** античастица, путешествующая во времени, может рассматриваться как «нормальная» частица, движущаяся назад во времени.

**Асимптотически плоский** (asymptotically flat): если геометрия искривленного пространства-времени такова, что по мере удаления от всей материи и энергии метрика пространства-времени все больше соответствует плоскому пространству-времени Минковского, то криволинейное пространство-время называется асимптотически плоским.

### Б

**Белый карлик** (white dwarf): сгоревшая звезда с массой менее 1,4 от массы Солнца, планетарного размера с плотностью до  $10^7$  г/см<sup>3</sup>. Конечная судьба нашего Солнца.

**Блочная вселенная** (block universe): пространство-время, в котором все мировые линии полностью определены, от начала до конца (фаталистическая вселенная). В таком пространстве нет свободы воли.

**Большой взрыв** (Big Bang): сингулярность, положившая начало пространству-времени.

**Будущее** (future): совокупность событий пространства-времени, которые могут быть достигнуты с сегодняшнего дня по времениподобным мировым линиям в направлении более *позднего* времени (для каждого индивидуума будущее – это то, что еще не было испытано).

### В

**Векторное поле** (vector field): поле, характеризуемое векторной **потенциальной функцией**, такой как поле частицы со спином 1, подобной безмассовому фотону.

**Вселенная Гёделя** (Gödel universe): пространство-время, которое (в отличие от того, в котором мы живем) вращается настолько быстро, что авто-

матически генерирует **замкнутые времениподобные линии** и, таким образом, представляет собой *слабую* машину времени (см. **машина времени**). В такой вселенной путешествие во времени в прошлое было бы естественным явлением.

**Волновая функция** (wave function): математическое понятие в квантовой механике, отражающее вероятность того, что система находится в каком-либо конкретном состоянии.

**Времениподобная линия** (timelike line): **мировая линия**, на которой распространяющаяся масса-энергия всегда движется медленнее, чем свет.

## Г

**Гамма-излучение** (gamma-ray): электромагнитное излучение очень высокой энергии, очень высокой частоты. Гамма-лучи имеют частоты примерно в *десять триллионов* ( $10^{15}$ ) раз больше, чем частоты радиовещания АМ.

**Геодезическая линия** (geodesic path): кратчайший путь, соединяющий две точки в пространстве. В пространстве-времени мировая линия частицы, находящейся в свободном падении.

**Гиперпространство** (hyperspace): любое пространство четырех или более измерений (например, четырехмерное пространство-время является гиперпространством).

**Гипотеза антихронологической защиты** (anti-chronology protection conjecture): утверждение, что не существует закона физики, препятствующего появлению замкнутых времениподобных кривых (в системе координат Ли) (см. **защита хронологии**).

**Глобальная гиперболичность** (global hyperbolicity): математическая форма пространства-времени, которая подчиняется причинности, то есть не содержит замкнутых времениподобных линий.

**Гравитационное линзирование** (gravitational lensing): способность гравитационных полей изгибать и фокусировать свет.

**Гравитация 2+1** (2+1 gravity): уравнения гравитационного поля Эйнштейна в пространстве-времени с одним исключенным пространственным измерением, когда остается пространство-время с двумя пространственными измерениями и одним измерением времени; также называется «игрушечным» пространством-временем.

**Гравитон** (graviton): квантовая частица гравитации.

**Горизонт Коши** (Cauchy horizon): **поверхность Коши**, на которой начинают формироваться **замкнутые времениподобные линии**.

**Горизонт событий** (event horizon): пространственно-временная поверхность черной дыры или непересекающейся червоточины, в которой свет не может выходить во внешнюю вселенную. Она называется *горизонтом*, потому что, по определению, внешний наблюдатель не может видеть за

ее пределами и заглянуть внутрь дыры. Чтобы увидеть внутреннюю часть дыры, вы должны войти в дыру, пересекая горизонт (но тогда вы не сможете выбраться).

**Горизонт хронологии** (chronology horizon): (гипер)поверхность в пространстве-времени, которая разделяет **хрональные** и нехрональные области. Это частный случай **горизонта Коши**.

## Д

**Действие** (action): интеграл по мировой линии величины, называемой лагранжианом. Например, когда обладающая массой частица движется с нерелятивистскими скоростями через гравитационное поле, мгновенное значение лагранжиана представляет собой разницу между кинетической и потенциальной энергиями частицы. Для других типов полей (например, электромагнитных) и/или релятивистского движения в любом поле лагранжиан отличается. В любом случае, однако, фактическая мировая линия частицы – это та, для которой интегрированный лагранжиан, то есть действие, минимален. См. **наименьшее действие**.

**Действие на расстоянии** (action at a distance): прямое взаимодействие двух отдельных объектов без учета деталей того, что происходит (если вообще происходит) в области между объектами (см. также **поле**). Теория гравитации Ньютона – это действие на расстоянии, а теория гравитации Эйнштейна – теория поля.

**Детерминизм** (determinism): метафизическое убеждение, что следствия однозначно определяются причинами (что не является фатализмом).

**Дивергенция энергии-импульса** (stress-energy divergence): в общей теории относительности неограниченный рост меры плотности энергии-массы в пространстве-времени.

**Длина Планка** (Planck length): ненулевая длина в квантовой теории (около  $1,6 \times 10^{-35}$  см), ниже которой имеют значение эффекты квантовой гравитации.

## З

**Закон сохранения** (conservation law): физические величины во взаимодействующих системах, которые остаются неизменными, называются сохраняющимися. Полная энергия и полный импульс (линейный и угловой) являются сохраняющимися величинами.

**Замедление времени** (time dilation): изменение скорости отсчета времени часами, или при движении на высокой скорости, или под влиянием гравитации.

**Замкнутая времениподобная линия** (или кривая): времениподобная мировая линия конечной длины, которая не имеет концов, то есть образует замкнутый цикл в пространстве-времени. Говорят, что область пространства-времени, содержащая замкнутые временные линии, является машиной времени.

**Защита хронологии** (chronology protection): утверждение (пока еще не доказанное) о том, что машины времени и путешествие во времени невозможны из-за **обратной реакции** пространства-времени, которая приведет к **дивергенции энергии-импульса**. Популярно среди физиков как гипотеза о защите хронологии Хокинга (1992), но ранее (1971) было сформулировано в несколько иной форме писателем-фантастом Ларри Нивеном как «закон Нивена». Впоследствии Хокинг признал, что дивергенции энергии-импульса недостаточно для подтверждения его гипотезы, и китайский физик Ли-Синь Ли опроверг саму истинность этой гипотезы своей антигипотезой о защите хронологии.

**Звездные врата** (stargate): научно-фантастическое название для устья проходной **червоточины**.

**Здесь-сейчас** (here-now): точка или событие в пространстве-времени, которое разделяет прошлое, будущее и область неопределенности.

**Зеркало Ли** (Li mirror): идеально отражающая, сферическая поверхность, которая может использоваться для стабилизации **червоточины** против энергетических петель, бесконечно циркулирующих через червоточину времени (создавая тем самым неограниченные энергетические уровни, которые разрушают червоточину). Названо в честь своего китайского изобретателя.

## И

**Излучение Хокинга** (Hawking radiation): испускание частиц (энергии) черной дырой в область за пределами ее горизонта событий, что приводит к возможному испарению дыры. Это квантово-механический эффект.

**Инвариантность** (invariance): свойство, которое остается неизменным в любой системе отсчета, является инвариантным. Два примера – это расстояние между любыми двумя точками на листе бумаги (потому что оно не зависит от какой-либо конкретной системы координат) и скорость света (которая одинакова для всех наблюдателей).

**Инерциальная система отсчета** (inertial frame): любая система отсчета, в которой законы механики Ньютона верны (в инерциальных системах отсчета нет сил ускорения, и поэтому движущиеся по замкнутой траектории или «вращающиеся вокруг себя» системы отсчета не являются инерционными).

## К

**Каон** (kaon): частица, которая нарушает **теорему ТСП**.

**Квантовая гравитация** (quantum gravity): направление исследований в теоретической физике, целью которого является разработка теории, объединяющей квантовую теорию поля с искривленным пространством-временем общей теории относительности.

**Квантовая когерентность** (quantum coherence): сохранение во времени состояния квантовой системы.



**Квантовая пена** (quantum foam): см. **топология**.

**Квантовая механика** (quantum mechanics): точная физика очень маленьких объектов, то есть атомов и более мелких единиц материи.

**Квантовая теория** (quantum theory): любая теория, в которой физические величины не являются непрерывными, а меняют свои значения дискретными шагами (размер шага является квантом).

**Красное смещение** (red shift): смещение *вниз* частоты света, поступающего от всех далеких звезд из-за эффекта Доплера, вызванного расширением Вселенной. Противоположный эффект называется *синим смещением*.

**Когда-то** (elsewhen): область неопределенности (недоступности), коллекция событий пространства-времени, которые не могут быть достигнуты **здесь-сейчас** с времениподобной мировой линией.

**Космическая струна** (cosmic string): гипотетические, нитевидные пространственно-временные структуры с огромной массой-энергией и плотностью, которые могли образоваться во время Большого взрыва. Космические струны, возможно, изначально были сформированы либо в виде бесконечно длинных линий, либо в виде замкнутых петель, и именно последние считаются физически значимыми в современной Вселенной. Космические струны не нарушают условия слабой энергии (как червоточины) и теоретически могут создавать **замкнутые времениподобные линии**.

**Космологическая постоянная** (cosmological constant): дополнительный компонент, специально добавленный Эйнштейном к общей теории относительности, чтобы эта теория не предсказывала расширение Вселенной (фактически доказанное более поздними наблюдениями). Впоследствии Эйнштейн сказал, что его неспособность поверить в первоначальное предсказание общей теории относительности, указавшей на расширение Вселенной, была величайшей ошибкой его жизни. Постоянная (которая сегодня считается почти нулевой, если не точно нулевой) появляется во вращающемся пространстве-времени Гёделя во времени как определяющий фактор в минимальном радиусе замкнутой временной линии.

## М

**Масса Планка** (Planck mass): минимальная единичная масса в квантовой теории (около  $22 \times 10^{-6}$  г), но не самая маленькая ненулевая масса в квантовой теории.

**Масса-энергия** (mass-energy): знаменитое уравнение  $E = mc^2$ , лежащее в основе ядерного оружия и ядерного синтеза.

**Матрица преобразования** (boost matrix): матричная форма **преобразования Лоренца**.

**Машина времени** (time machine): в *слабом смысле* – машина, способная пересекать замкнутые **времяподобные мировые линии**, присущие

пространству-времени (например, ракета в пространстве-времени Гёделя), но не способная создавать такие мировые линии; *в сильном смысле* – это машина, способная манипулировать массой-энергией в конечной или компактной области пространства-времени, создавая замкнутые времениподобные мировые линии.

**Метрика** (metric): мера разделения между любыми двумя событиями в пространстве-времени.

**Мировая линия** (world line): траектория массы-энергии в пространстве-времени.

**Множественные миры** (many-worlds interpretation): квантово-механический взгляд на расщепление вселенных.

## Н

**Наблюдатель** (observer): физический термин для «кого-то», оснащенного записывающими средствами (такими как часы, карандаш и блокнот и т. п.).

**Наименьшее действие** (least action): общий принцип в физике, который утверждает, что **мировая линия** частицы – это та линия, которая минимизирует **действие**.

**Неевклидова геометрия** (non-Euclidean geometry): геометрия пространства-времени, изогнутая или плоская. Пространство-время не является интуитивным именно потому, что всегда трудно сопротивляться мышлению с точки зрения евклидовой геометрии средней школы, которая является просто *неправильной* геометрией.

**Нейтронная звезда** (neutron star): конечное состояние звезды с массой 1–3 массы Солнца и плотностью до  $10^{15}$  г/см<sup>3</sup>.

**Неограниченно развитая цивилизация** (arbitrarily advanced civilization): цивилизация с технологией, достаточно сложной, чтобы построить **червоточину** в пространстве-времени.

**Нулевая геодезическая линия** (null geodesic): мировая линия фотона в пространстве-времени.

## О

**Ответная реакция** (back reaction): тенденция пространства-времени противостоять образованию **замкнутых времениподобных линий** (см. также **дивергенцию энергии-импульса**).

**Общая теория относительности** (general theory of relativity): теория искривленного пространства-времени Эйнштейна, которая объясняет гравитацию исключительно в терминах геометрии. Ее основная предпосылка заключается в том, что все законы физики должны быть одинаковыми для всех наблюдателей в любой системе отсчета. Считается, что теория поте-

ряет смысл, когда локальная плотность **массы-энергии** достигнет уровня около  $10^{94}$  г/см<sup>3</sup>. Эта плотность настолько огромна (плотность воды составляет всего 1 г/см<sup>3</sup>), что не существует какого-либо известного механизма ее достижения во вселенной, за исключением другого **Большого взрыва**. Смотрите также **плотность Планка**.

**Ориентированное во времени пространство-время** (temporally orientable spacetime): любое пространство-время, в котором направление времени в каждой точке совпадает с направлением времени в его соседних локальных точках.

## П

**Палп-фикшн** (pulp-fiction, pulp): старые научно-фантастические журналы, напечатанные в 1940-х годах на недорогой бумаге из грубой древесной массы.

**Парадокс близнецов** (twin paradox): вывод из специальной теории относительности о том, что ход часов замедляется на движущемся объекте.

**Парадокс дедушки** (grandfather paradox): классический парадокс путешествий во времени, когда путешественник убивает в прошлом своего предка, непосредственно связанного с будущим рождением путешественника во времени. Путешественник во времени, просто убивающий себя самого в младшем возрасте, – самая прямая форма этого парадокса.

**Парадокс обратимости** (reversibility paradox): уравнения физики не содержат **стрелы времени**; то есть они работают одинаково хорошо со временем, бегущим вперед или назад.

**Парадокс повторения** (recurrence paradox): утверждение, что если вы будете ждать достаточно долго, то каждая система будет бесконечно часто возвращаться в каждое из предыдущих состояний.

**Парадокс причинности** (bilking paradox): последствия нарушения причинно-следственной петли. Например, предположим, что путешественник во времени строит машину времени, используя чертежи, которые он получил несколько лет назад от таинственного незнакомца. Теперь он понимает, что незнакомцем был он сам и использовал машину времени, чтобы отправиться в прошлое и дать своему младшему я чертежи (см. **петля времени**). Более сложный парадокс возник бы в случае, если бы путешественник во времени построил машину времени, убедился, что она работает, а затем решил не посещать свою младшую личность, чтобы передать чертежи.

**Параллельные миры** (parallel worlds): одновременное существование множества (возможно, бесконечного) версий реальности в гиперпространстве.

**Параллельный перенос** (parallel transport): процедура перемещения вектора вокруг любой замкнутой кривой в пространстве, чтобы определить, является ли это пространство плоским или искривленным.

**Петля времени** (causal loop): временной цикл, содержащий событие, вызванное более *поздним* событием, которое само по себе вызвано более ранним событием (см. пример в **парадоксе причинности**).

**Планковское время** (Planck time): интервал времени в квантовой теории (около  $5,3 \times 10^{-44}$  секунды), ниже которого эффекты квантовой гравитации становятся важными. Время, необходимое для прохождения **длины Планка** со скоростью света.

**Плотность Планка** (Planck density): плотность массы-энергии, которая различает классическое и квантовое пространство-время; около  $10^{94}$  г/см<sup>3</sup>, что равняется массе Планка, деленной на куб **длины Планка**.

**Поверхность Коши** (Cauchy surface): **пространственно-подобная** гиперповерхность, которая пересекается ровно один раз с каждой **времени-подобной мировой линией**, не имеющей конечной точки. Знание условий на такой поверхности однозначно определяет пространство-время во всех других точках. См. также **глобальная гиперболичность**.

**Позитрон** (positron): античастица электрона (см. антиматерия).

**Поле** (field): если физический закон является **локальным**, то это понятие описывается дифференциальными уравнениями, которые связывают то, что «происходит» в каждой точке пространства-времени, с тем, что «происходит» в его близко расположенных соседних точках. Например, электромагнетизм – это теория поля, описываемая набором уравнений в частных производных, называемых *уравнениями Максвелла*.

**Полиция времени** (time police): персонажи в научной фантастике, на которых возложена (ненужная!) работа по предотвращению изменения времени путешественниками во времени.

**Постоянная Планка** (Planck constant): фундаментальная постоянная в квантовой теории  $h$ , связанная с дискретной природой квантовых эффектов. (Если бы  $h$  имела значение ноль, а не фактическое значение около  $6,6 \times 10^{-34}$  Дж/с, то даже микромир был бы непрерывным).

**Потенциальная функция** (potential function): функция, первые производные которой делают возможным построение полей.

**Превосходящее энергетическое условие** (dominant energy condition): **слабое энергетическое условие** плюс утверждение, что наблюдаемый поток энергии никогда не бывает **сверхсветовым**.

**Преобразование Лоренца** (Lorentz transformation): уравнения из специальной теории относительности, которые описывают, как связаны пространственные и временные измерения двух относительно движущихся наблюдателей.

**Приливная сила** (tidal force): сила, испытываемая неточечной массой (с пространственным расширением) в неоднородном гравитационном поле. Такие силы стремятся одновременно сжимать и растягивать вытя-

нутые массы. Черные дыры и горловины червоточины могут генерировать огромные приливные силы на расширенных массах, таких же маленьких, как человеческое тело. Интересно, что чем массивнее черная дыра, тем меньше ее приливные силы на расстояниях за пределами **горизонта событий**. Однако независимо от массы черной дыры приливные силы бесконечны в центре кривизны **сингулярности**.

**Принцип неопределенности** (uncertainty principle): утверждение в квантовой механике, согласно которому определенные пары величин не могут быть *одновременно* измерены со сколь угодно малой ошибкой. Местоположение и импульс – одна такая пара; энергия и время – другая.

**Принцип реинтерпретации** (reinterpretation principle): утверждает, что отрицательная масса-энергия, движущаяся вперед во времени, является положительной массой-энергией, движущейся назад во времени, и наоборот.

**Причинность** (causality): метафизическое утверждение, что каждое событие вызвано предшествующим событием. Путешествие во времени в прошлое по своей сути нарушает причинность.

**Пространство-время** (spacetime): материал, из которого строится реальность. Все, что существует, – вселенная – это совокупность событий в пространстве-времени. Плоское пространство-время не имеет гравитации, тогда как искривленное пространство-время является источником гравитации.

**Пространственно-подобная линия** (spacelike): мировая линия, на которой распространяющаяся масса-энергия будет превышать скорость света.

**Пространство-время Минковского** (Minkowski spacetime): плоское пространство-время специальной теории относительности. В этом пространстве-времени нет гравитации, нет искривления пространства-времени (поэтому оно плоское) и нет возможности перемещаться во времени назад.

**Прошлое** (past): коллекция событий пространства-времени, которые могут достигать «здесь-сейчас» через времениподобные мировые линии, направленные из более раннего времени (для каждого человека прошлое – это то, что уже испытано).

**Путешествие сознания** (mind travel): путешествие сознания во времени без сопровождения телом или каким-либо другим физическим артефактом.

## Р

**Радио Дирака** (Dirac radio): научно-фантастический прибор для отправки информации с бесконечной скоростью, которая по этой причине движется назад во времени (см. также **ультрасветовой**).

**Разделение вселенных** (splitting universes): идея о том, что каждое решение заставляет реальность разделяться на отдельные копии, идентичные во всех отношениях, за исключением каждого из различных возможных результатов решения.

**Римское кольцо** (Roman ring): машина времени, состоящая из двух или более проходимых **червоточин**, соединенных в замкнутой последовательности.

## С

**Самосогласованность** (self-consistency): утверждение, что события на **замкнутой времениподобной линии** никогда не должны противоречить друг другу. Традиционно приписывается российскому физику **Игорю Новикову**, который со своими коллегами показал, что это не самостоятельное предположение, а скорее следствие принципа наименьшего действия.

**Сверхсветовой** (superluminal): быстрее света.

**Световой конус** (light cone): светоподобная поверхность в пространстве-времени, которая в каждой точке пространства-времени отделяет прошлое от будущего и от того, что здесь и сейчас.

**Светоподобная линия** (lightlike): мировая линия **фотона** (или любой другой формы массы-энергии, движущейся со скоростью света).

**Свобода воли** (free will): условие, которое выполняется, когда мы можем выбрать то, что мы делаем. В блочной вселенной нет свободной воли.

**Сексуальный парадокс** (sexual paradox): особый тип причинно-следственной петли, когда связанные события на петле времени «спарены» (каламбур!) посредством репродуктивного секса. Пример – путешественник во времени в прошлое, который становится своим собственным предком.

**Сильное энергетическое условие** (strong energy condition): утверждение, что гравитация всегда (то есть локально) притягивает. Червоточины нарушают это условие.

**Сингулярность** (singularity): либо область в пространстве-времени, где кривизна становится бесконечной, а законы физики нарушаются, либо точка в пространстве-времени, за пределы которой мировые линии не могут быть расширены. Сингулярности первого рода называются гравитационными, а сингулярности второго рода называются неполными. **Большой взрыв** был гравитационной сингулярностью, как и центр черной дыры. В **черной дыре Шварцшильда** гравитационная сингулярность является точкой, тогда как в **черной дыре Керра–Ньюмана** это протяженная область в форме кольца.

**Система отсчета** (frame of reference): пространственно-временная система координат.

**Скалярное поле** (scalar field): поле, описываемое скалярной потенциальной функцией, такой как поле частицы со спином 0, например массивного каона и тахиона.

**Слабое энергетическое условие** (weak energy condition): утверждение, что наблюдаемая плотность массы-энергии всегда (т. е. локально) неотрицательна. Квантовая механика предсказывает (и это было экспериментально подтверждено), что есть исключения.

**Собственное время** (proper time): хронометраж часов наблюдателя.

**Событие** (event): точка в пространстве-времени.

**Сокращение Лоренца–Фицджеральда** (Lorentz-FitzGerald contraction): вывод из специальной теории относительности о том, что видимый стационарному наблюдателю движущийся объект будет сокращен по длине вдоль направления движения. Через много лет после работы Эйнштейна было показано, что объект также будет вращаться.

**Сохранение вероятности** (conservation of probability): закон, который говорит, что сумма вероятностей системы, развивающейся из любого данного начального состояния во все возможные конечные состояния, должна быть равна единице. Закон нарушается в случае квантовых полей в искривленном пространстве-времени, и это называется нарушением унитарности.

**Специальная теория относительности** (special theory of relativity): теория Эйнштейна о плоском пространстве-времени, которая предполагает, что гравитации не существует (гравитация является результатом геометрии искривленного пространства-времени). Его основная предпосылка заключается в том, что законы физики должны казаться одинаковыми для наблюдателей в разных инерциальных системах отсчета.

**Спин** (spin): мера собственного углового момента частицы, отличного от любого орбитального углового момента, которым она также может обладать.

**Стрела времени** (arrow of time): утверждение, что время, кажется, имеет направление – что есть разница между прошлым и будущим. Есть несколько разных стрел: психологическая (мы помним прошлое и предвидим будущее), термодинамическая (организованные системы эволюционируют в направлении дезорганизации), электромагнитная (радиоволны распространяются вдали от своих источников) и космологическая (расширение Вселенной направлено в будущее).

**Субсветовой** (subluminal): медленнее, чем свет.

## Т

**Тахион** (tachion): частица (пока что гипотетическая), которая всегда движется быстрее света, поэтому ее **мировая линия** всегда пространственно-подобная.

**Теорема Белла** (Bell's theorem): неравенство, которое либо выполняется, либо не выполняется, в зависимости от того, является ли, соответственно, квантовая механика нелокальной или локальной.

**Теорема ТСП** (TCP theorem): утверждение, что один возможный физический процесс превращается в другой возможный физический процесс при обращении времени, заряда и четности (различие между «левым» и «правым»). См. также **каон**.

**Тензор** (tensor): математическое обобщение скалярных и векторных понятий. Уравнения гравитационного поля Эйнштейна представляют собой дифференциально-тензорные уравнения (например, метрический тензор содержит информацию о кривизне пространства-времени), тогда как уравнения Ньютона и Максвелла являются значительно более простыми, скалярными и векторно-дифференциальными уравнениями соответственно.

**Тензорное поле** (tensor field): поле, описываемое тензорной **потенциальной функцией**, такой как поле частицы со спином 2, подобной безмассовому гравитону.

**Топология** (topology): структура пространства (включая пространство-время) без учета метрики. То есть топология касается только того, как пространство связано, а не того, как далеко друг от друга находятся точки в пространстве. Топологи считают уместным любое растягивание или сжатие пространства, при условии что вы не порвете его и не сделаете отверстия в этом пространстве. Самая простая топология – это топология *односвязного* пространства, в котором если вы строите любую замкнутую поверхность, которая полностью лежит в пространстве вокруг любой точки пространства, то любая другая точка внутри поверхности также находится в этом пространстве. Пространство с дырой в нем, очевидно, не проходит этот тест и поэтому называется *многосвязным*. *Квантовая пена* пространства-времени имеет многосвязную топологию. Классическое пространство-время общей теории относительности считается односвязным *до* появления червоточин.

**Трубка Красникова** (Krasnikov tube): определенная **метрика** пространства-времени (или «деформация»), позволяющая **сверхсветовое** путешествие, но с большим трудом, и требующая огромной отрицательной энергии. Две трубки Красникова можно превратить в машину времени. Названа в честь своего российского изобретателя.

## У

**Уравнения гравитационного поля** (gravitational field equations): совокупность связанных уравнений в частных производных (нелинейных, тензорных), которые являются общей теорией относительности. Они считаются наиболее сложными уравнениями во всей математической физике. Они показывают, как локальная кривизна пространства-времени зависит от локальной массы-энергии пространства-времени. Уравнения не зависят от **топологии** пространства-времени.

**Уравнение Клейна–Гордона** (Klein-Gordon equation): дифференциальное уравнение, описывающее распространение волн частиц с нулевым спином, таких как тахионы и каоны. Это релятивистски верно.

**Ультрасветовой** (ultraluminal): движение настолько **сверхсветовое**, что кажется, будто масса-энергия движется назад во времени (см. также радио Дирака).



**Унитарность** (unitarity): см. сохранение вероятности.

**Усовершенствованное решение** (advanced solution): предсказание Максвеллом уравнений электромагнитного поля радиоволн, которые путешествуют в прошлое (см. также **радио Дирака**).

**Усредненное условие нулевой энергии** (averaged null energy condition): утверждение, что усредненное значение наблюдаемой плотности массы-энергии по всей **нулевой геодезической** является неотрицательным.

**Усредненное слабое энергетическое условие** (averaged weak energy condition): утверждение, что усредненное значение наблюдаемой плотности массы-энергии вдоль всей любой **временеподобной мировой линии** является неотрицательным.

## Ф

**Фактор Лоренца** (Lorenz factor): вездесущее выражение в квадратном корне, которое встречается во многих релятивистских вычислениях, таких как замедление времени, сокращение длины и изменение массы со скоростью. Например, масса  $m$  движущегося тела зависит от его скорости  $v$  и изменяется как

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - (v/c)^2}},$$

где  $m_0$  – масса покоя (то есть масса при  $v = 0$ ) и где  $c$  обозначает скорость света (около 300 000 км/с). Знаменатель – это фактор Лоренца.

**Фатализм** (fatalism): метафизическая вера в то, что все события были предопределены с начала времен.

**Флуктуация вакуума** (vacuum fluctuation): процессы создания и уничтожения частиц/античастиц, допускаемые даже в так называемом пустом пространстве по принципу неопределенности квантовой механики.

**Фотон** (photon): квантовая частица электромагнетизма. Фотон с частотой  $f$  имеет энергию  $hf$ , где  $h$  – **постоянная Планка**.

## Х

**Хрональные области** (chronal regions): те части пространства-времени, которые не имеют замкнутых времениподобных кривых.

**Хронон** (chronon): название **планковского времени** в научной фантастике.

## Ц

**Цилиндр Типлера** (Tipler cylinder): бесконечно длинный цилиндр, изготовленный из сверхплотной материи, вращающийся вокруг своей длинной оси настолько быстро, что он деформирует пространство-время так, чтобы об-

разовались замкнутые времениподобные линии, которые окружают цилиндр. Может использоваться как машина времени для путешествий как в будущее, так и в прошлое (но не до времени, предшествующего созданию цилиндра).

## Ч

**Червоточина** (wormhole): структура пространства-времени (нарушающая оба энергетических условия, слабых и сильных, если является проходимой), соединяющая две точки одного и того же пространства-времени (или даже двух разных пространств-времен, т. е. двух разных вселенных), с времениподобной траекторией, на прохождение которой требуется меньше времени, чем фотону, движущемуся между двумя точками вне червоточины. Червоточина является проходимой, если у нее нет горизонтов событий, и такие червоточины, по-видимому, можно превратить в машину времени, иногда называемую туннелем времени, – см. **машину времени** (сильную) – путем создания сдвига времени (с использованием **замедления времени**) между двумя створами червоточины, если квантовые эффекты не запрещают машины времени (все еще открытый вопрос).

**Черная дыра** (black hole): область пространства-времени, где гравитация настолько сильна, что ничто не может оттуда уйти, включая свет. Черные дыры образуются, когда достаточно массивные звезды (см. **белый карлик** и **нейтронная звезда**) выгорают и подвергаются гравитационному коллапсу. Черная дыра с массой, равной 10 массам Солнца, будет иметь радиус около тридцати километров. Черные дыры могли также возникнуть в Большом взрыве, и если так, они теоретически могли бы быть любой массы и размера; черная дыра с массой Земли будет иметь диаметр менее половины дюйма.

**Черная дыра Керра–Ньюмана** (Kerr-Newman black hole): вращающаяся черная дыра. Она может иметь или не иметь электрический заряд.

**Черная дыра Рейсснера–Нордстрёма** (Reissner-Nordstrom black hole): сферически симметричная, невращающаяся электрически заряженная черная дыра.

**Черная дыра Шварцшильда** (Schwarzschild black hole): сферически-симметричная, невращающаяся черная дыра. Она может иметь или не иметь электрический заряд.

**Четвертое измерение** (fourth dimension): либо время, либо четвертое пространственное измерение.

## Э

**Экзотическая материя** (exotic matter): материя, которая нарушает одно или оба из слабых/сильных энергетических условий.

**Электрон** (electron): фундаментальная частица массы (несущая один квант отрицательного электрического заряда), которая вращается вокруг

ядер атомов и играет центральную роль в определении химических свойств элементов и их соединений.

**Энтропия** (entropy): мера неупорядоченности (случайности) системы. Энтропия играет центральную роль в термодинамической стреле времени.

**Эфир** (ether): вещество, которое, как когда-то считалось, заполняет все пространство, чтобы позволить излучению «через что-то распространяться» (в отличие от простого вакуума). Специальная теория относительности показала, что эфир является ненужным понятием, поскольку он не имеет наблюдаемых проявлений (физики утверждают, что если что-то невозможно обнаружить, то бессмысленно говорить об этом как о части науки).



---

# Предметный указатель

---



## А

Анахрония, 63  
Архивное прошлое, 115

## Б

Белая дыра, 128  
Бутстрэп, 47

## В

Взаимная обусловленность, 73  
Взаимное распространение.  
См. Принцип неопределенности  
Время  
абсолютное, 60  
квантовое, 40  
многомерное, 106  
настоящее, 104  
объективное, 105  
осознанное, 106  
относительное, 60  
психологическое направление, 104  
сейчас, 104  
собственное, 25  
Вселенная  
блочная, 89  
Геделя, 36

## Г

Гипотеза  
защиты хронологии, 29  
локальности, 343  
о часах, 162

## Горизонт

Коши, 317  
событий, 43  
хронологии. См. Горизонт Коши

Гравитационная микролинза, 325  
Гравитационное красное смещение, 347  
Гуголплекс, 123

## Д

Диаграмма пространства-времени  
Минковского, 91, 142

## З

Замкнутая петля  
времениподобная, 80  
причинно-следственная, 79, 217

## И

Инерциальная система отсчета, 135  
Инфляционная модель, 126  
Инфляция Вселенной, 323

## К

Каон, 72  
Каустик, 325  
Конечное прошлое, 65  
Коэффициент формы, 157  
Кривые  
времениподобные, 14  
Кротовая нора. См. Червоточина

## Л

Лампочка Нерлиха, 77  
Линии  
времениподобные, 14  
космического момента, 291  
мировые, 14  
Личное прошлое, 26

## М

Массивный объект компактного  
ореола, 324  
Машина времени  
сильная, 15  
слабая, 15  
Метавремя, 177  
Метрика расстояния, 150  
Мир, 88

Мировая линия, 142  
 времениподобная, 144  
 геодезическая, 143  
 пространственно-подобная, 145  
 Мнимая масса покоя, 272  
 Мост Эйнштейна–Розена, 83

**Н**

Настоящее, 107  
 Независимое направление, 84

**О**

Обратная реакция, 40  
 Ограничение квантовой гравитации, 40  
 Осязаемое настоящее, 112  
 Относительность одновременности, 95  
 Отрицательная масса, 312

**П**

Парадокс, 174  
 избегания, 80  
 повторения, 122  
 самопричинности, 47  
 Предускорение, 78  
 Преобразование Галилея, 135  
 Лоренца, 136  
 Принцип реинтерпретации, 273, 295  
 самосогласованности, 192  
 Причинно-следственная система, 213  
 Причинность, 104  
 обратная, 75  
 прямая, 75  
 релятивистская, 71  
 Пробабелизм, 115  
 Пространство-время, 88  
 асимптотически плоское, 158  
 геодезически неполное, 42, 156  
 романовское, 328

**Р**

Ретроспективная молитва, 194  
 Романовская конфигурация, 328

**С**

Самообусловленность, 74  
 Связь, нарушающая хронологию, 213  
 Сейчас, 107, 112  
 Сигнатура лоренцева, 154  
 риманова, 154  
 Силы самовоздействия, 78  
 Сингулярность, 41  
 нулевая неполнота, 156  
 Слабо взаимодействующие массивные частицы, 324  
 Сокращение Лоренца–Фицджеральда, 131  
 Сохранение вероятности, 214  
 Стрела времени термодинамическая, 121, 126  
 электромагнитная, 128

**Т**

Тахион, 272  
 Теорема взаимности, 73  
 Теория альтернативных вселенных, 211  
 истории, эргодическая, 216  
 квантовой гравитации, 40  
 Термодинамическое равновесие, 119  
 Точка мира, 88  
 Убегающее решение, 78

**У**

Угол дефицита, 334  
 сокращения, 334  
 Ультрасветовая скорость, 294  
 Уравнения Максвелла решение запаздывающее, 257  
 опережающее, 257  
 Условие Коши, 123  
 энергетическое сильное, 313  
 слабое, 312  
 слабое усредненное, 314

**Ф**

Формула замедления времени, 130

Функция красного смещения, 157

**Х**

Хронон, 40

**Ц**

Цилиндр Типлера, 48

**Ч**

Часы

фотонные, 82, 129

Эйнштейна–Ланжевена, 129

энтропийные, 119

Червоточина, 83

Черная дыра

вращающаяся, 43

заряженная, 43

Керра–Ньюмена, 43

радиус Шварцшильда, 43

Шварцшильда, 43

**Э**

Энтропия, 119

Эфир, 86

Эффект

Лензе–Тирринга, 301

увлечения инерциальных систем, 301

**А**

Average weak energy condition, AWEC, 314

**С**

Closed timelike curves, CTC, 14

Closed timelike lines, CTL, 14

**М**

Massive compact halo object, MACHO, 324

**Р**

Reinterpretation principle, RP, 295

**W**

Weakly interacting massive particles,

WIMP, 324

Книги издательства «ДМК Пресс» можно заказать в торгово-издательском холдинге «Планета Альянс» наложенным платежом, выслав открытку или письмо по почтовому адресу:  
115487, г. Москва, 2-й Нагатинский пр-д, д. 6А.  
При оформлении заказа следует указать адрес (полностью), по которому должны быть высланы книги; фамилию, имя и отчество получателя.  
Желательно также указать свой телефон и электронный адрес.  
Эти книги вы можете заказать и в интернет-магазине: [www.a-planeta.ru](http://www.a-planeta.ru).  
Оптовые закупки: тел. (499) 782-38-89.  
Электронный адрес: [books@aliants-kniga.ru](mailto:books@aliants-kniga.ru).

Пол Дж. Нахин

**Тайна машины времени:  
путешествия во времени в физике, философии и фантастике**

Главный редактор *Мовчан Д. А.*  
[dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com)  
Перевод *Яценков В. С.*  
Корректор *Синяева Г. И.*  
Верстка *Луценко С. В.*  
Дизайн обложки *Мовчан А. Г.*

Формат 70×100 1/16.  
Гарнитура «PT Serif». Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 30,39. Тираж 200 экз.

Веб-сайт издательства: [www.dmkpress.com](http://www.dmkpress.com)

Отпечатано в ПАО «Т8 Издательские Технологии»  
109316, Москва, Волгоградский проспект, д. 42, корпус 5