



2.11. Проблема объединения фундаментальных взаимодействий микрочастиц. Теория суперсимметрии и суперструн

Вернемся снова к физике микромира в связи с рассмотрением четырех типов фундаментальных взаимодействий (первая часть нашего курса). У современных физиков возникла мысль об их объединении, подобно тому, как физики от Эрстеда до Максвелла объединили все электромагнитные и магнитные взаимодействия в единую электромагнитную теорию. В идеале ученые надеются получить полную и непротиворечивую единую теорию, в которую будут входить все частные теории со своими типами взаимодействий в качестве приближений, так что ее не нужно будет подгонять под эксперимент подбором констант.

Работа по созданию такой теории (ее принято называть *великим объединением*) ведется полным ходом. Надежды на положительный исход сейчас возросли, т.к. удалось уже объединить электромагнитное взаимодействие со слабым. Имеются и веские надежды на успех объединения в единую теорию сильного взаимодействия с электрослабым. Однако, к сожалению, пока гравитация остается в стороне. Нет до сих пор не только сколько-нибудь законченной, но даже начатой квантовой теории гравитации, по крайней мере, общепризнанной. Без предварительной разработки такой теории невозможно завершить великое объединение.

Здесь главная трудность заключается в том, что современная теория гравитации является классической и не включает в себя квантовых соотношений неопределенностей. Вообще в современных теориях одним из самых больших затруднений является появление в теории весьма неприятных бесконечностей. Для устранения их ученые мучительно придумывают различные приемы. Например, японский физик Томонага и американцы Фейнман, Швингер и Дайсон в 1944–1949 годах предложили так называемую перенормировку, которая предполагает введение новых бесконечностей для компенсации первых. Хотя этот прием и получил большое распространение, но все же его нельзя считать завершенной теорией, а можно признать лишь в качестве временного выхода.

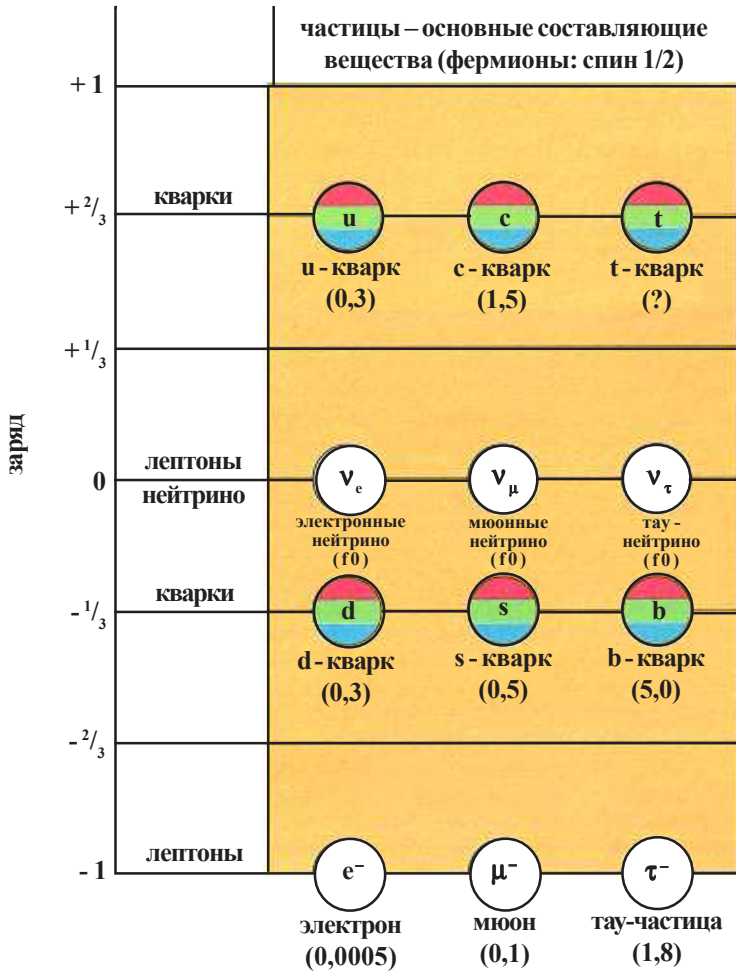














Рис. 99. Предполагаемая схема «суперсимметрии» для микрочастиц – фермионов, основных составляющих вещества



их суперпартнеры (бозоны: спин 0)			
			+ 1
			скварки
(?)	(?)	(?)	+ ² / ₃
			+ ¹ / ₃
			слептоны (снейтрино)
(?)	(?)	(?)	0
			скварки
(?)	(?)	(?)	- ¹ / ₃
			- ² / ₃
			слептоны
(?)	(?)	(?)	- 1



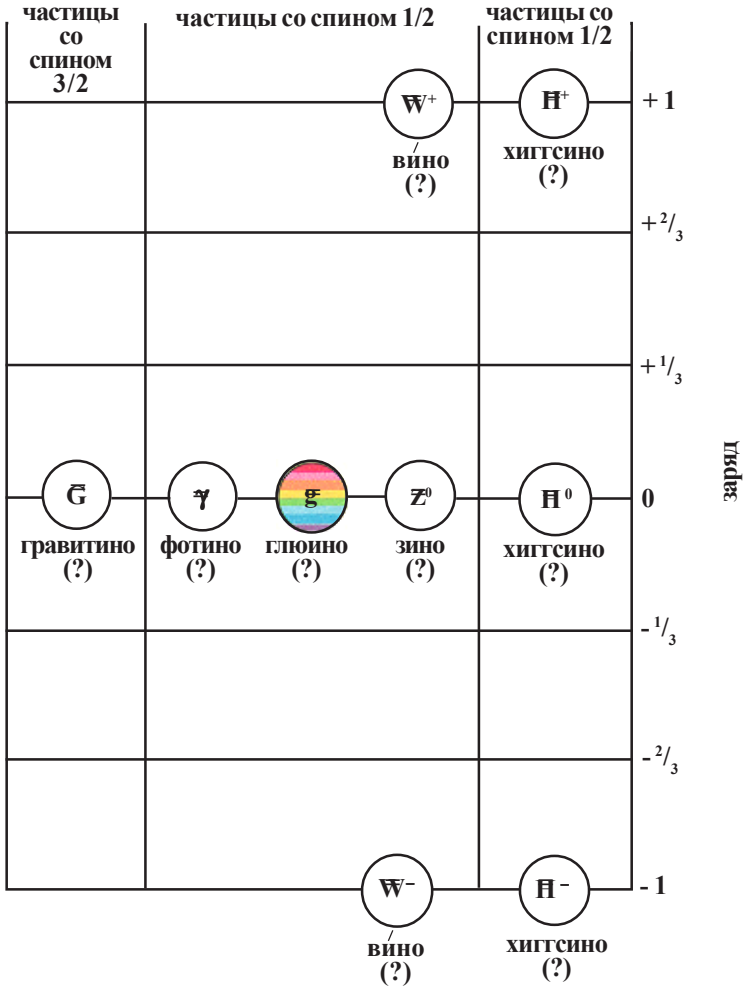
частицы, переносящие взаимодействия (бозоны)

заряд	частицы со спином 0	частицы со спином 1		частицы со спином 2	
	+1	H^+ частица Хиггса (?)	W^+ частица (81)		
+2/3					
+1/3					
0	H^0 частицы Хиггса (?)	Z^0 частица (93)	g глюон (0)	γ фотон (0)	G гравитон (0)
-1/3					
-2/3					
-1	H^- частица Хиггса (?)	W^- частица (81)			

Рис. 100. Предполагаемая схема «суперсимметрии для бозонов – переносчиков взаимодействий между фермионами



их суперпартнеры





Еще одна попытка устранения трудностей в теории разрабатывается в последнее время – введение нового типа симметрии, так называемой *суперсимметрии*. Она сводится к поискам для микрочастиц типа фермионов их бозонных двойников с целочисленными спинами в единицах \hbar . И наоборот, для бозонов их двойников – фермионов с полуцелыми спинами, но в обоих случаях с одинаковыми массами микрочастиц, что наглядно проиллюстрировано на *рис. 99*, где в схематическом виде показаны эти «двойники». Двойники фермионов носят название *слептонов* и *скварков*, а фермионы – двойники бозонов – имеют характерное окончание: *фотино* и *глюино*.

Возникает естественный вопрос: зачем это нужно? Дело в том, что в существующей стандартной теории фундаментальных взаимодействий мы имеем дело с двумя типами микрочастиц – бозонами (например, фотонами) и фермионами (например, электронами и протонами). Бозоны – микрочастицы, основное назначение которых быть переносчиками взаимодействия между фермионами. Напомним, что фотоны играют основную роль при электромагнитных взаимодействиях между электрически заряженными фермионами, а пионы трех типов (π^+ , π^- , π^0) являются связующими звеньями при взаимодействии фермионов – нуклонов, т.е. переносят ядерные взаимодействия.

Фермионы считаются носителями как бы самой «материи», а бозоны – переносчиками взаимодействия между ними. Такое разделение микрочастиц особенно упрочилось после успехов в микрофизике в середине XX века, главным образом, в связи с открытием множества новых микрочастиц и развитием квантово-полевых методов расчета, когда микрочастицы (фермионы и бозоны) резко разделились по своим основным свойствам. В суперсимметрии поставлена основная задача – устранить принципиальное различие между носителями «материи» фермионами и носителями взаимодействий – бозонами. *Вторая* ее задача уходит уже в глубокую математику, поэтому лишь отметим, что решение ее с использованием суперсимметрии позволяет резко сократить все неприятности, связанные с появлением бесконечностей, которые возникают в обычной теории.

Гипотеза о существовании суперсимметрии стала теперь одной из центральных идей в стремлении физиков построить единую квантовую теорию поля, объединяющую все четыре



типа фундаментальных взаимодействий, включая и до сих пор неуловимое гравитационное взаимодействие. Здесь еще очень много трудностей и нерешенных задач, и физики ждут помощи от более мощных ускорителей, которые должны помочь им в успешном разрешении этой важнейшей на сегодня проблемы микрофизики.

В качестве некой иллюстрации метода суперсимметрии можно привести задачу суперсимметричного осциллятора. Энергия обычного квантового осциллятора во внешнем магнитном поле равна:

$$\varepsilon = (n + 1/2 + \sigma)\omega_H,$$

где ω_H – циклотронная частота, равная:

$$\omega_H = |e|B/mc,$$

а $\sigma = \pm 1/2$ спиновое квантовое число. Поэтому мы можем представить энергию осциллятора в виде:

$$\varepsilon = (|e|B/mc) \times [(n_B + 1/2) + (n_F + 1/2)],$$

где первое слагаемое дает энергетические уровни бозонного осциллятора с бозонными номерами уровней n_B , а второе – энергетические уровни фермионного осциллятора с номерами n_F .

Следует также отметить, что, начиная с 1984 года, общее мнение ученых сильно склонилось в сторону исследования так называемых *суперструнных теорий*. Основными в этом подходе к объяснению явлений в микромире выступают непривычные для наших прежних модельных представлений о микромире идеи об одномерных образованиях в виде бесконечно коротких кусочков одномерных линий – «струн», размеры которых порядка планковской длины 10^{-33} см. Концы таких струн либо *свободные*, либо *замкнутые*, что наглядно изображено на *рис. 101 а–е*. Открытая или свободная струна и ее мировая линия (или, лучше сказать, мировая полоса) имеет вид листа (*рис. 101а*). Замкнутая струна и ее мировая полоса имеет вид цилиндра (*рис. 101б*). На *рис. 101в* изображены мировые линии двух открытых струн, соединяющихся в одну, а на *рис. 101г* мировые линии двух слившихся замкнутых струн – соединения замкнутых струн напоминают две штанины брюк или две соединенные трубы. Струны могут как объединяться, так и разъединяться, и тогда *рис. 101в* и *101г* надо читать в обратном направлении.



То, что раньше считалось микрочастицами, в струнных теориях представляет собой собственные колебания одномерных струн, то есть волны, которые бегут по этим струнам. Испускание и поглощение микрочастиц связано с объединением и разъединением струн. На *рис. 101д* и *е* показано, как надо себе представлять в струнной теории гравитационное взаимодействие между Солнцем и Землей. В обычной стандартной теории микрочастиц оно рассматривалось как излучение Солнцем гравитона и его последующего поглощения Землей (*рис. 101д*), что в теории суперструн изображено *H*-образным соединением трубок (*рис. 101е*). Уже есть первые робкие указания, что предлагаемая теория может быть

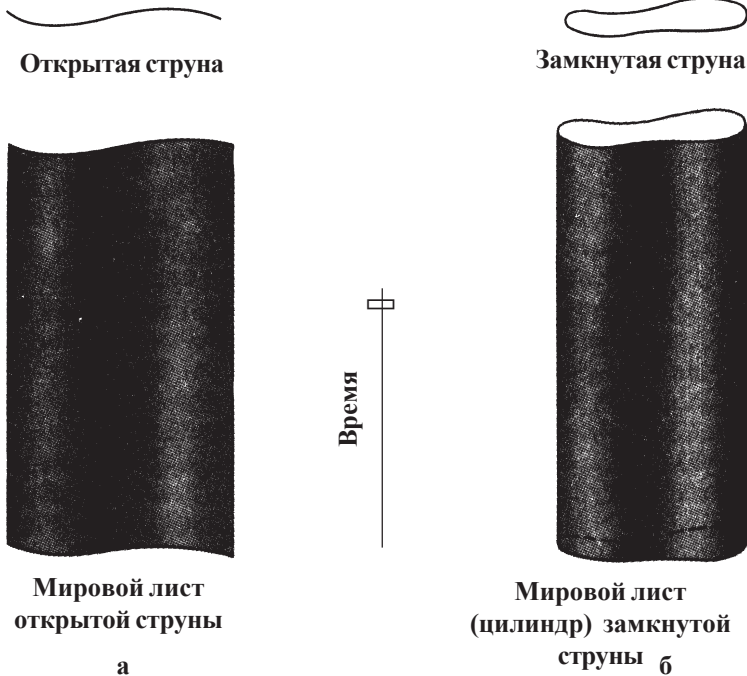
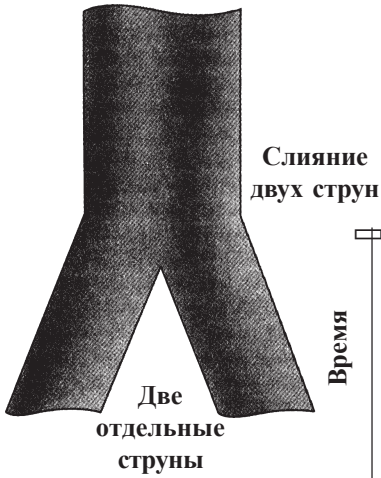


Рис. 101. Иллюстрации к теории суперструн: а) мировой лист открытой струны; б) мировой цилиндр для замкнутой струны; в) расщепление мирового листа для открытой струны на два отдельных листа; г) такое же расщепление для цилиндра замкнутой струны; д), е) гравитационное взаимодействие солнца и Земли через гравитоны.



Одна целая струна

Одна целая струна

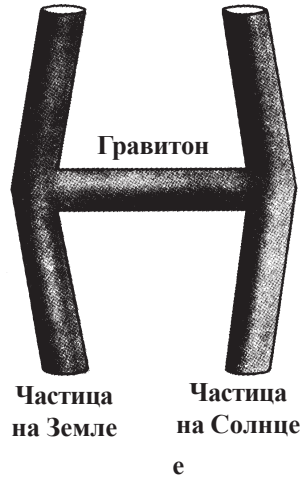


Мировой лист двух открытых струн, соединяющихся друг с другом

Мировой лист двух замкнутых струн, соединяющихся друг с другом

в

г





использована и для включения гравитации в общее объединение фундаментальных взаимодействий, но здесь еще остается много трудностей. Отметим, что суперструнная теория многомерная, т.е. имеет более четырех уже известных нам измерений, в различных вариантах – 26 или 12.

Любопытно, что сотрудник Института теоретической и экспериментальной физики в Москве А.Ю. Морозов в своем фундаментальном обзоре под названием: «Теория струн – что это такое?» так характеризует ее предмет: «Если пытаться кратко охарактеризовать предмет теории струн в его современном понимании, то придется признать, что это не столько конкретная теория или схема, сколько большая *совокупность идей и методов*, призванных дать широкое обобщение стандартного формализма квантовой теории поля и открыть для нее множество новых возможностей и приложений. В этом смысле теория струн – раздел математической физики, имеющий самостоятельную ценность, независимо от успеха конкретных попыток построить на ее основе модель того или иного физического явления... и теория струн с известным успехом играет свою роль в плане постановки новых математических задач, одновременно указывая возможные пути их решения».

Посмотрим, как современная теория отвечает на вопрос о том, может ли существовать единая теория всех сил природы. Например, согласно Хокингу, возможны три варианта ответа:

1. Полная единая теория действительно может существовать, и мы ее в конце концов построим.

2. Окончательной теории Вселенной нет, а есть просто бесконечная последовательность теорий, которые дают все более точное описание Космоса.

3. Теории Вселенной не существует, события не могут быть предсказаны далее некоего предела и происходят произвольным образом и беспорядочно.

В пользу третьего варианта ответа некоторые ученые выдвигают тот довод, что существование полной системы законов ограничивало бы свободу Бога, если бы Он передумал и решил вмешаться в наш мир. Впрочем, ответственность за это лежит на религии, а не на науке.

Второй вариант ответа связан с существованием бесконечной последовательности все более и более точных теорий и пока согласуется с нашим опытом. Гравитация после ее



2.11. Проблема объединения фундаментальных...

«квантования» может, по видимому, наложить ограничения на эту последовательность вложенных одна в другую матрешек и привести к окончательному решению, т.е. к первому варианту ответа.

Отрицательный ответ на первый вариант Хокинга не будет означать, что мы не сможем предсказывать события вообще. Во-первых, наши предсказания ограничены принципом неопределенностей. Во-вторых, мы не умеем решать точно даже задачи классической теории, например, известную простейшую задачу трех тел в механике Ньютона. Законченная, единая непротиворечивая теория – лишь первый шаг. Наша цель – полное понимание всего происходящего и нашего собственного существования. Мы живем в удивительном мире. Нам, дотошным и любознательным людям, хочется понять то, что мы видим вокруг нас, и спросить, каково происхождение Вселенной, какое место мы занимаем в ней и откуда мы и она взялись? Почему все происходит именно так, а не иначе?

Для ответа на поставленные «проклятые» вопросы мы принимаем некую картину мира. Такой картиной может быть, как сказала одна старая и почтенная леди на лекции знаменитого Бертрана Рассела, просто башня из стоящих друг на друге черепахах, несущих на себе плоскую Землю, а, может быть, и теория суперструн. Но отличие в этих двух возможностях все же есть: черепахи уважаемой леди – просто вздорная выдумка, а за суперструнами лежит титанический труд ученых всего мира. Наука освободилась от идей Духов, которые, по мнению древних людей, управляли всем на свете, и пошла по своему трудному и тернистому пути «дотошного» эксперимента. При этом она отказалась от механистической доктрины лапласовского детерминизма, открыв соотношения неопределенностей Гейзенберга и принцип дополнительности Бора.

Сейчас перед нами стоит грандиозная задача «проквантовать» классическую теорию гравитации. Ученым подчас некогда спросить себя: почему есть Вселенная и почему именно она такая, а не иная? В прежние времена ответ на такой вопрос был делом философов, но они и раньше, и теперь беспомощны в современной сложнейшей математической «кухне» и потому должны уступить дорогу теоретической физике. Даже один из самых известных философов современности Виттгенштейн, как пишет в своей книге физик



2.11. Проблема объединения фундаментальных...

Хокинг, воскликнул: «Единственно, что еще осталось философам – это анализ языка!» Какое унижение для философии с ее великими корифеями от Платона до Гегеля...

Если мы сумеем создать полную теорию великого объединения, то со временем ее поймет каждый разумный человек. И тогда все могут принять участие в дискуссии – почему существует Вселенная, почему она такая и почему мы оказались в ней!

Если будет найден ответ на эти вопросы, то он станет полным триумфом человеческого разума, ибо тогда нам станет понятен «замысел Бога», если Он существует, – добавим мы!