

УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУКФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

621.38

**КВАНТОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА И ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС \*)**  
**(Проблема планирования исследовательской работы)***Ч. Таунс*

Несомненная важность и в то же время значительная стоимость научно-исследовательской работы являются причиной постоянных попыток оценить ее пользу для нашего общества и сделать ее планирование оптимальным. При этом обычно исходят из предположения, что мы можем и должны решать вопрос о поддержке данного научного направления в зависимости от того, насколько осязаемые плоды принесет оно нации. Хотя подобные оценки вполне возможны и заслуживают внимания, я убежден, что излишнее увлечение ими часто приводит к самообману, о чем, как будет здесь показано, свидетельствуют упрямые, порой сногсшибательные факты из прошлого опыта.

Если оценивать науку только с помощью пробного камня «практических» результатов, оставив в стороне роль знаний как элемента культуры, то нетрудно, казалось бы, получить непосредственное руководство для планирования исследовательской работы. В самом деле, хорошо известно, что фундаментальные исследования дали множество новых идей и сведений, которые легли в основу развития техники. Следовательно, мы должны в первую очередь представить себе, какого типа техника понадобится в будущем, и, исходя из этого, развивать те разделы фундаментальной науки, которые дадут знания, необходимые для создания этой техники.

Очевидно, такое рассуждение не лишено смысла. Оно применимо, в частности, к тем областям науки и техники, которые к настоящему времени достаточно хорошо изучены и где мы в первую очередь ищем путей к реализации предсказуемых возможностей. Однако наша способность предвидеть практические результаты науки слишком несовершенна. Вышеизложенный подход, к сожалению, оказывается узким и дезориентирующим, если речь идет об отрезках времени в десять и более лет или о действительно новых идеях и поразительных открытиях, которые в данный момент невозможно предвидеть. К тому же такой подход дает весьма превратное представление об обстановке, необходимой для высококачественного научного исследования, и о сложных взаимоотношениях между наукой и техникой, включающих влияние прикладных наук на развитие фундаментальных наук и наоборот.

\*) Charles H. Townes, Quantum Electronics and Surprise in Development of Technology. The Problem of Research Planning, Science 159 (No. 3816), 699 (1968). Перевод Ю. В. Косичкина.

В 1964 г. Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и автору статьи Ч. Таунсу была присуждена Нобелевская премия по физике за основополагающие работы по квантовой электронике, на основе которых были созданы первые мазеры и лазеры. (Ред.)

Можно ли запланировать новую идею и новое, пока еще не известное техническое изобретение? Конечно, нет. Мы не можем доказать, что данное научное направление приведет к новым техническим достижениям, если мы пока не знаем даже сути этих достижений. С другой стороны, упорный скептик вряд ли удовлетворится тем, что данное фундаментальное исследование, даже если оно не приносит новых знаний и новых идей, приведет к важному, хотя и не известным пока успехам, полезным для общества.

Пожалуй, лучшим способом в какой-то мере объективно разобраться в этих вопросах является анализ исторического опыта. Основным заключением, которое, как мне кажется, следует из такого анализа — рассмотрение ряда примеров из истории науки, является то, что человечество систематически ошибается вследствие недостатка воображения и способности предвидеть. Мы постоянно недооцениваем возможности науки и техники в будущем. Великолепно осведомленные специалисты по планированию и ученые, пытаясь ответственно оценить важность исследования и сталкиваясь при этом с тем, что пока еще непонятно или неизвестно, слишком часто оказываются недалекими в своих прогнозах. Элемент неожиданности — постоянная составная часть технического прогресса, и это как раз то, что невероятно трудно совместить с любым из обычных принципов планирования.

Позвольте мне теперь перейти к рассмотрению частного случая, с которым мне довелось хорошо познакомиться, — квантовой электроники. Я остановлюсь на нем достаточно подробно, поскольку даже весьма специальные примеры, по-видимому, лучше, чем общие соображения, позволяют преодолеть нашу природную склонность к самоуспокоенности.

#### ПРОИСХОЖДЕНИЕ КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ

Квантовая электроника стала областью физики и техники с возникновением приборов, известных под названием мазер и лазер. В них используется новый принцип усиления — стимулированное излучение электромагнитных волн атомами и молекулами. По существу это однотипные приборы; лазер, например, первоначально назывался оптическим мазером, хотя слово мазер используется главным образом в применении к молекулярному усилению в радио- или сверхвысокочастотном диапазоне, поскольку было образовано из первых букв слов в выражении: *microwave amplification by stimulated emission of radiation — maser*. Слово лазер означает то же самое, но для оптического диапазона: *light amplification by stimulated emission of radiation — laser*.

Уже в самом первом приборе механизм усиления был настолько необычным, что он не мог возникнуть как логическое развитие принципов электроники. Оказалось, что его рождение в начале 50-х годов было следствием развития такой отрасли фундаментальной науки, как радиоспектроскопия.

На чем основано это утверждение?

Да на том, что идея мазерного усиления возникла независимо в трех различных радиоспектроскопических лабораториях на базе исследований, | единодушно отвергавшихся промышленными лабораториями.

Эти три предложения появились с незначительной разницей во времени и заметно отличались по своей завершенности и практической применимости. Однако все три предложения поступили от физиков, занимавшихся радиоспектроскопией газов — фундаментальным исследованием, свойственным университетским лабораториям.

ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС — ИСТОЧНИК НОВЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ  
В НАУКЕ

Почти в равной степени существенным является и то обстоятельство, что сама радиоспектроскопия выросла из техники военных лет. Так же как и тесно примыкающая к ней радиочастотная спектроскопия, она была создана физиками, накопившими богатый опыт в электронике в течение второй мировой войны.

В частности, радиоспектроскопия — изучение взаимодействия электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона с газовыми молекулами — возникла и стала плодотворным разделом физики благодаря тому прогрессу в СВЧ технике, который был достигнут в военные годы. Иными словами, развитие техники привело к возникновению новой отрасли фундаментальной науки. Первые работы по радиоспектроскопии были выполнены у нас главным образом в промышленных лабораториях. Сразу по окончании войны четыре самостоятельные группы американских ученых в лабораториях компаний «Bell Telephone», «Westinghouse» и «RCA» и в Колумбийском университете более или менее независимо начали изучение газов с помощью электромагнитных волн СВЧ диапазона. Энтузиазм, сопутствовавший этой работе, был обусловлен ее очевидной важностью для физики. Значение техники в историческом плане подчеркивается также и тем обстоятельством, что единственная в этой четверке университетская группа в военные годы была теснейшим образом связана с СВЧ техникой и занялась радиоспектроскопией для решения важных проблем радиолокации.

Несколько позднее, чем эти четыре лаборатории, начали работы по радиоспектроскопии компания «General Electric» и ряд университетов.

## ПЕРЕМЕЩЕНИЕ РАДИОСПЕКТРОСКОПИИ В УНИВЕРСИТЕТЫ

Несомненно в промышленных лабораториях надеялись, что новая область физики даст значительные практические результаты. Я сам писал справку дирекции исследовательского отдела лабораторий «Bell Telephone» с целью убедить ее в этом. Однако спустя несколько лет четыре промышленных лаборатории, первыми начавшие работу в этой области, прекратили ее, и исследования по радиоспектроскопии полностью сосредоточились в университетах. Там радиоспектроскопия привлекла значительное количество способных студентов и опытных профессоров, поскольку она открывала возможности для изучения поведения атомов и молекул.

Причины расцвета этой области в университетах вполне понятны. Причины ее упадка в промышленности в такой же мере основательны и весьма четко характеризуют дилемму в планировании исследовательской работы. Очевидно, что четыре большие промышленные лаборатории, интенсивно занимавшиеся проблемами электроники, не понимали в то время, что исследования по радиоспектроскопии газов имеют большое значение для их деятельности.

Я не знаю, как представляли себе дело руководители лабораторий «Westinghouse» и «RCA», однако после того, как небольшие группы исследователей, довольно успешно работавших в этих лабораториях, ушли или потеряли интерес к этой проблеме, исследования не были возобновлены. В компании «General Electric» ученые, работавшие в этой области, постановлением дирекции были переключены на другую работу, казавшуюся более перспективной в коммерческом отношении. Дирекция лабораторий «Bell Telephone» решила продолжить эти исследования

силами одного старшего научного сотрудника, однако, учитывая недостаточную ценность этой работы для электроники и техники связи, не расширять ее.

Тем не менее именно в этой области двумя или тремя годами позже возникла совершенно новая техника усиления, над которой сейчас в тех же самых лабораториях работают сотни ученых и инженеров. Ясно, что недооценка потенциальных возможностей радиоспектроскопии была не простой ошибкой каждой из этих компаний или отдельных лиц. Это была закономерность.

### СОЦИОЛОГИЯ ИЗОБРЕТЕНИЯ МАЗЕРА

В университетских лабораториях, развиваясь на базе последних достижений электроники того времени, радиоспектроскопия стала точным и мощным методом изучения различного типа взаимодействий молекул с электромагнитными волнами, отличным от методов обычной спектроскопии.

Моя собственная работа, тогда уже в Колумбийском университете, успешно развивалась в окружении целого ряда исследований по родственной радиочастотной спектроскопии, которые выполнялись по контракту с весьма дальновидными армейскими службами.

В результате развития идей, имевших прямую связь с принципами радиотехники, в 1951 г. в Колумбийском университете был изобретен мазер, а немного позже поступили другие предложения по использованию стимулированного излучения для получения эффекта усиления. Одно было выдвинуто в Физическом институте им. Лебедева в Советском Союзе, другое — в Мерилендском университете.

Следует отметить, что фундаментальные исследования в Советском Союзе сосредоточены главным образом в Академии наук СССР, многие из сотрудников которой преподают в университетах, и что именно этот ближайший эквивалент наших университетских исследовательских лабораторий стал местом изобретения.

К 1954 г. в результате нашего сотрудничества с Дж. Гордоном и Г. Цайгером был создан первый успешно работавший генератор с новым принципом усиления. Не считая нескольких ученых прикладного профиля, изобретение вызвало весьма слабый интерес в промышленности. Я не могу утверждать, что ученые, имевшие отношение к мазеру, были значительно дальновиднее, чем промышленные организации. Важно другое: в академических учреждениях (и это является одним из их решающих преимуществ) отдельный профессор в общем самостоятельно решает, что заслуживает внимания и что может дать результат. Поэтому в академическом мире имеет место разнообразие научных интересов и существуют условия для использования интуиции и энтузиазма отдельных лиц, что трудно осуществимо в промышленных организациях с их жестким планированием и установившейся системой подчинения. Они лучше приспособлены для детальной разработки четко поставленных задач. Но новый, неожиданный подход к проблеме чаще всего появляется в коллективах, интенсивно занимающихся фундаментальными исследованиями. Например, когерентное усиление посредством использования вынужденного излучения и идея о постепенных квантовых переходах, в отличие от квантовых скачков, были сравнительно легко восприняты академическими кругами, но вызвали характерное удивление ученых, занимающихся прикладными исследованиями.

Кроме того, хотя сейчас существует много разновидностей мазеров, два наиболее разработанных первоначальных варианта практически

реализуемых мазерных систем, представленные Колумбийским университетом и Физическим институтом им. Лебедева, по ряду причин основывались на использовании молекулярных пучков и штарк-эффекта, методов весьма распространенных в академической среде, но довольно чуждых промышленным лабораториям.

Отдельные радиотехнические представления оказались также полезными, например, для понимания процесса регенерации и роли когерентного усиления. Это было свойственное радиоспектроскопии сочетание электроники и молекулярной спектроскопии, обеспечившее благоприятные условия для изобретения лазера.

Генератор с использованием нового механизма усиления был изготовлен довольно быстро. Однако создание реально работающего усилителя потребовало большего времени. Вероятно, первая четкая идея о применении твердых парамагнитных материалов для создания практически пригодного усилителя возникла в результате посещения мною и моими сотрудниками Высшей нормальной школы в Париже, где я встретился с физиками, изучавшими парамагнитные материалы, и узнал о некоторых, ранее мне не известных свойствах этих материалов.

Отчасти похожую идею независимо выдвинул профессор Стрэндберг, занимавшийся радиоспектроскопией в Массачусетском технологическом институте. Он заинтересовал ею профессора Бломбергена из Гарвардского университета, в свое время занимавшегося изучением парамагнитных явлений, который разработал вариант лазера, являющийся и в настоящее время наиболее пригодным для работы в режиме усиления.

Открывавшиеся возможности вызвали все большую заинтересованность промышленных лабораторий, вследствие чего первый работоспособный усилитель на парамагнитных материалах построили Феер, Сквилл и Зайдель в лабораториях «Bell Telephone».

С этого момента по всей стране лаборатории прикладных исследований стали интенсивно и успешно заниматься квантовыми усилителями СВЧ диапазона.

## ЛАЗЕР

С 1957 г. я увлекся идеей применения нового метода в более коротковолновых диапазонах, поскольку было ясно, что молекулы и атомы способны усиливать колебания несравнимо более коротковолновые, чем те, которые удавалось усиливать с помощью вакуумных ламп. Я узнал, что мой друг Артур Шавлов, работавший тогда в лабораториях «Bell Telephone», также думает в этом же направлении, и мы немедленно объединили наши усилия. Именно он предложил использовать резонатор Фабри — Перо для селекции мод очень коротких электромагнитных волн оптического диапазона. Здесь, вероятно, сыграло роль то обстоятельство, что Шавлов, спектроскопист по образованию, использовал в свое время в диссертационной работе резонатор Фабри — Перо — экспериментальный прием, опять-таки свойственный главным образом университетским спектроскопистам.

Результатом нашего сотрудничества была первая до конца разработанная идея лазера. Новый прибор был настолько далек от обычных представлений, что его практическая ценность была очевидна далеко не каждому. Патентный отдел компании «Bell Telephone» вначале отказался запатентовать наш усилитель или генератор оптического диапазона, поскольку, как было объяснено, оптические волны никогда не были сколько-нибудь полезными для связи и, следовательно, изобретение имеет слабое отношение к деятельности «Bell System».

Однако достоинства оптического мазера, позднее названного лазером, вскоре стали достаточно понятны, так что ряд лабораторий как в университетах, так и в промышленности сильно заинтересовались им. В частности, немного позже отдала заметное предпочтение этому прибору и дирекция лабораторий «Bell Telephone». Первая реально работающая система — рубиновый лазер — была создана Майманом в компании «Hughes Aircraft». Вскоре после этого были изготовлены лазеры других типов: один в «Bell Telephone» по идее Джавана и другой в компании «IBM» Сорокином и Стивенсоном.

Становилось очевидным, что крупнейшие промышленные лаборатории страны приступили к интенсивному освоению новой области. С тех пор квантовая электроника развилась до своего нынешнего уровня и стала приносить годовой доход около 200 млн. долларов, причем ожидается, что к 1970 или 1971 г. эта цифра увеличится до одного миллиарда долларов.

В описанное мною время следовавшие одна за другой идеи об усовершенствовании и расширении сферы применения нового принципа усиления появлялись главным образом в процессе фундаментальных исследований. Некоторые принципы были совершенно новыми, другие уже были известны и использовались в фундаментальных исследованиях. Их авторами являлись почти исключительно ученые, работавшие в области радиоспектроскопии. Фактически все, кого я упоминал или на кого ссылался выше, обладали значительным опытом в этой области.

Естественно, что вначале 60-х годов потребность промышленных и правительственных лабораторий в таком персонале была чрезвычайно велика.

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Что же дает это открытие?

Было бы трудно перечислить все многообразие его применений. Так как новый метод позволил усиливать и управлять электромагнитным излучением в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах, аналогично тому как электроника позволяла делать это в радиодиапазоне, достаточно лишь подумать о пользе света и электроники самих по себе, и сразу станет ясно, что их союз найдет применение почти в любом разделе техники. Приведу несколько примеров.

Мазерный принцип усиления позволяет приблизиться к созданию идеально чувствительного усилителя, т. е. прибора, успешно усиливающего один квант излучения.

В СВЧ диапазоне новый усилитель обладает чувствительностью, примерно в сто раз превышающей все то, что было доступно раньше. Хотя к настоящему времени появились некоторые другие типы хороших усилителей, квантовый усилитель остается (и, по-видимому, всегда будет оставаться) наиболее чувствительным детектором СВЧ колебаний. Такой усилитель особенно необходим для создания эффективных систем деловой трансокеанской связи с использованием спутников, для научных измерений, требующих большой чувствительности, для космической связи в масштабах солнечной системы.

Постоянство атомных свойств и низкий уровень шумов делают мазер точнейшими в мире часами. Водородный мазер настолько стабилен, что расчетная ошибка часов на его основе составляет всего лишь одну секунду за 300 000 лет хода.

Так как новые методы позволяют усиливать световые волны, стало возможным генерировать свет с почти бесконечно высокой интенсивностью. Уже сейчас лазеры дают свет во много миллионов раз более интенсивный, чем то, что было возможно прежде.

Фокусируя лазерные лучи и точно управляя ими, можно сверлить отверстия в преломляющих материалах, таких, как алмаз, точно подгонять параметры элементов электронных схем и делать хирургические операции. В качестве хирургического инструмента лазер особенно полезен при оперировании внутри глаза, поскольку его использование позволяет в этом случае не трогать наружные ткани.

Лазер является наиболее точным инструментом для измерения расстояний. С его помощью в лабораторных условиях удалось обнаружить изменения расстояний, равные  $1/100000$  атомного диаметра.

Когерентность лазерного света дает возможность производить интерферометрические измерения с точностью до долей длины световой волны при расстояниях во много миль. Это уже сейчас используется для предсказания землетрясений, а также для очень точной механической обработки.

Направленность лазерного луча делает его удобным инструментом в гражданском строительстве, при бурении тоннелей, прокладке каналов и дорог. В фотографии появилась возможность намного увеличить скорость съемки за счет более интенсивного освещения. Но еще более поразительно использование лазера как основы нового вида фотографии, названного голографией. Свет лазера, прошедший через голографический снимок, дает реальное трехмерное изображение с избытком деталей и замечательной глубиной фокуса. Среди других применений лазерных пучков можно назвать радиолокацию, приборы для ориентации слепых, обработку, хранение и выдачу информации. В будущем к этому перечню возможно добавятся беспроводная передача мощности, цветное телевидение с большим экраном и самая дешевая техника связи.

#### ПРОБЛЕМА ПЛАНИРОВАНИЯ И РЕАЛИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД

Представим себе теперь положение человека, взявшегося 20 лет назад планировать каждое из этих технических усовершенствований — более чувствительный усилитель, более точные часы, новый метод сверления, новый инструмент для глазной хирургии, более точное измерение расстояний, трехмерную фотографию и т. д. Хватило ли бы у него дальновидности и смелости предложить широкое изучение взаимодействия волн СВЧ диапазона с молекулами в качестве основы для разрешения любой из этих проблем? Конечно, нет.

За более чувствительным усилителем он обратился бы к специалистам в этой области, которые, затратив значительные усилия, подняли бы чувствительность в два, но не в сто раз.

Для изготовления более точных часов он, вероятно, нанял бы тех, кто имеет соответствующий опыт в вопросах хронометрии; для повышения интенсивности источников света он подобрал бы совершенно другую группу ученых или инженеров, которые едва ли могли бы надеяться на увеличение интенсивности в миллион и более раз, даваемое лазером. Чтобы повысить точность измерений или улучшить фотографию, он попытался бы усовершенствовать уже известные методы и, вполне возможно, добился бы некоторого улучшения, но не на порядок величины. Новые идеи и представления, а также атмосфера научного исследования — вот что оказалось необходимым для разрешения всех этих проблем.

Существует по крайней мере внешнее сходство между поисками новых технических идей и поисками счастья: в обоих случаях лучшим иногда оказывается окольный путь.

Известно мало непосредственных, хотя и примитивных, способов достижения счастья. Ими могут быть переселение в лучший дом или всего лишь порция мороженого. Однако в большинстве случаев результаты

бывают более ощутимыми, если превыше всего ставится интерес к самому делу, а не к тем выгодам, которые можно из него извлечь. Точно так же непосредственное, планируемое развитие техники, конечно, полезно и им нельзя пренебрегать, но сводить все только к этому в высшей степени неразумно. Успех может быть несоизмеримо большим, если поощрять то, что делается на основе стремления к знаниям и открытиям как таковым.

Американцы чрезвычайно практичны, и им трудно представить себе, что результаты лучше всего достигаются отнюдь не с помощью четкого планирования и хорошей старательной работы. Однако мы слишком часто убеждались, что в своих суждениях о практической ценности специфического научного исследования, а в некоторых случаях — даже технического усовершенствования, наиболее осведомленные и добросовестные люди оказывались неспособными усмотреть важнейшие черты будущего.

В истории существуют примеры еще более показательные, чем квантовая электроника. Фактически неожиданность в развитии техники является нашим неизменным спутником.

#### ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА — ТОЖЕ НЕОЖИДАННОСТЬ

Совершенно аналогичный случай имел место в ядерной физике. Вывод Эйнштейна об эквивалентности массы и энергии уже в начале этого века должен был навести на мысль о таящихся здесь возможностях.

В первой половине 30-х годов сенсационные успехи ядерной физики дали новый толчок размышлениям о возможности получения ядерной энергии. Однако в 1933 г. газета «Herald Tribune» поместила оценку этих возможностей под заголовком «Лорд Резерфорд смеется над теорией обуздания энергии в лабораториях».

Резерфорда по праву можно назвать величайшим физиком-экспериментатором тех дней и отцом ядерной физики. В Англии в том же самом зале, где поколение назад великий физик того времени лорд Кельвин провозгласил атом неделимым, Резерфорд рассказывал о расщеплении атомного ядра. Он заявил: «Энергия, выделяющаяся при распаде атома, чрезвычайно мала. Каждый, кто надеется, что эти преобразования станут источником энергии, исповедует вздор».

Профессор Раби из Колумбийского университета в интервью, данном в то же время, подтвердил вычисления Резерфорда и тем самым, конечно, и его основные заключения. Писали, что профессор Ла-Мер (также из Колумбийского университета) заявил: «Мне приятно слышать призыв лорда Резерфорда прекратить грубые спекуляции в этой области».

Конечно, были и другие мнения. Из тех, кого опросила газета «Herald», профессора Шелдон из Нью-Йоркского университета и Э. Лоуренс из Калифорнийского все еще сохраняли некоторую надежду.

Мысль об использовании ядерной энергии в течение нескольких лет не воспринималась всерьез научной общественностью и едва ли была аргументом в поддержку ядерной физики. Более того, стало проявляться заметное беспокойство среди физиков, планирующих организаций и в промышленных кругах в связи с тем, что слишком много ученых обратилось к ядерной физике и что слишком много внимания уделяется этому практически бесполезному разделу физики.

Дирекция компании «General Electric», интенсивно занимавшейся вопросами энергетики, приняла в то время решение не разворачивать каких-либо ядерных исследований ввиду бесперспективности атомной энергетики.



Всего лишь пять лет спустя после того, как Резерфорд вынес свой приговор, было обнаружено непредвиденное явление деления ядра и неожиданно проблема ядерной энергии предстала перед всеми физиками в совершенно другом свете. Успех не был гарантирован, но теперь стало ясно, в каком направлении надо предпринимать шаги.

Основные знания и подготовленный персонал, к счастью, уже имелись, благодаря любознательности университетских ученых, проявленной в предыдущие годы. Этот фундамент и помощь европейских ученых были решающим обстоятельством для Соединенных Штатов и их союзников.

#### ДРУГИЕ ПРИМЕРЫ

Транзистор — другое выдающееся техническое достижение, представляет собою, в противоположность тому, что говорилось выше, пример успешного планирования исследовательской работы.

М. Келли из лабораторий «Bell Telephone» предугадал, что физика твердого тела во многих своих аспектах будет важна для деятельности этой компании. Он образовал группу физиков, желавших заниматься исследованиями в этой области. Он не думал, по крайней мере вначале, о создании транзистора. Но именно этот его план фундаментальных исследований в области физики твердого тела с учетом интересов техники и привел к созданию транзистора и родственных ему приборов заметно раньше, чем в большинстве других промышленных лабораториях того времени.

Интересным примером, иллюстрирующим проблему предвидения в области техники, где основные физические явления достаточно хорошо известны, является история авиации.

Лорд Рэлей один из величайших физиков XIX в., знавший, без сомнения, достаточно хорошо соответствующую область физики, говорил в 1896 г.: «У меня нет ни малейшей веры в возможность воздушной навигации, помимо использования воздушного шара». За этим последовала суровая критика в конгрессе по поводу «разбазаривания» государственных средств на попытки Лэнгли построить аппарат тяжелее воздуха. Все это происходило всего за семь лет до успешной «навигации» братьев Райт над песками Китти-Хоук.

Можно было бы также проследить возникший после этого интересный спор на тему, будет ли аэроплан иметь большое значение или нет. В конце концов людям понадобились летательные аппараты, и могущество техники снова одержало блестящую победу.

#### ГДЕ ЖЕ ИСТИНА?

Выше мы рассмотрели некоторые из тех случаев, когда реальной оказывалась фантазия, а не трезвый реализм.

Возникает законный вопрос: можем ли мы вообще определить ценность того или иного фундаментального исследования для техники будущего и на чем должны основываться наши планы? Насколько мне известно, знающие, ответственные люди, пытаясь тщательно взвешивать все аргументы и в то же время не сильно рисковать, почти неизбежно оказывались слишком близорукими. Кроме того, все, кто занимается планированием, вынуждены считаться с жесткими бюджетными ограничениями, поэтому они слишком часто принимают решение в пользу того, что более доступно пониманию на данном этапе, отчего их планы, к сожалению, оказываются весьма недалекими. Создается впечатление, что научная фантастика и потребности людей часто бывают более надежными

советчиками при определении путей технического прогресса, чем трезво мыслящие государственные деятели.

За гранью времени, до которой мы можем ясно видеть, а она составляет едва ли более десяти лет, достижения техники всегда оказываются неожиданными, неизбежно превосходящими наши предположения.

Как создать обстановку, наилучшим образом благоприятствующую открытиям и полезным изобретениям?

Я не хотел бы преуменьшать роль планомерных исследований в тех случаях, когда речь идет о реализации предсказуемых возможностей. В такой ситуации работа организованных групп, не отвлекающихся от основной цели, может быть очень эффективной, а иногда единственно необходимой. С другой стороны, условия, при которых полезность является высшим принципом, ограничивают диапазон мышления, и при этом неизбежно возникает риск пройти мимо того, что называется счастливой технической находкой и принципиально новой идеей. Я могу сформулировать три полезных предложения:

1. Должна быть создана обстановка искреннего уважения к знанию и открытию как таковым в той же мере, как и по отношению к практическим результатам.

2. Если мы хотим в полной мере использовать любознательность человека, его тягу к познанию, мы должны доверять интуиции талантливых и работоспособных исследователей в вопросе о том, что является интересным или плодотворным.

3. Если нация хочет застраховать себя от потери самых сенсационных открытий, она должна обеспечить поддержку тем научным направлениям, которые находятся на переднем крае познания, даже если они кажутся бесполезными.

Я намеренно сосредоточил внимание на материальных результатах науки. Однако следует упомянуть, что при таком подходе почти всегда остается в тени другой важный и совершенно реальный аспект науки и знания — их культурная ценность.

Представление человека об окружающем его мире и о самом себе, возникшее в результате научного исследования, есть нечто более ценное, чем просто «практический результат» в узком смысле. Открытие новых явлений, их понимание расширяет наш кругозор, является источником нового вдохновения, дает удовлетворение нашей врожденной любознательности и укрепляет уверенность в достижимости самых великих целей. Рассматривать науку исключительно с точки зрения ее практического выхода было бы так же нелепо, как доказывать важность музыки для человечества, ссылаясь лишь на кассовые сборы.

Конечно, фундаментальные научные исследования оказывают большое влияние на производительность труда и благосостояние общества, и об этом можно дискутировать, но не следует забывать и о других ценностях, поставленных на карту.

#### БЛИЗКОЕ И ДАЛЕКОЕ

Последние двадцать лет были плодотворными в исследовательской работе и богаты новыми идеями. Тем не менее я сильно обеспокоен наметившейся, на мой взгляд, в Соединенных Штатах тенденцией отдавать предпочтение ближайшим целям и излишне концентрировать внимание на полезности. В будущем это может существенно повредить нашему техническому развитию и нашему ведущему положению.

После того, что я говорил об ограниченности человеческих возможностей в предвидении практических результатов исследования, я не

собираюсь теперь сам заниматься предсказыванием, а хочу лишь указать на непрерывность истории и постоянство человеческой природы.

Теперь стало ясно, что среди многих областей науки, относительно которых предстоит принимать решение, находятся физика высоких энергий и космические исследования. И то и другое чрезвычайно интересно, но дорого стоит. Мало что полезного можно ожидать от физики высоких энергий, так же как и от большей части работ по исследованию космоса. Тем не менее мы должны разобраться в этом с точки зрения как культуры, так и прикладной, помня о том, что на нашей совести близорукие тенденции прошлого, наша склонность выдавать свою неспособность предвидеть полезный выход за действительное отсутствие этого выхода и легкость, с которой мы отвергали возможность того, что спустя несколько лет становилось реальностью в этом беспокойном мире науки.

И если мы по отношению к этим или другим областям окажемся недальновидными, слишком робкими или слишком безразличными, то при современных темпах науки и техники наш просчет станет очевидным не только будущему поколению страны, но и лично нам, в наше время.

Калифорнийский университет, Беркли,  
США