

ФИЗИКА НАШИХ ДНЕЙ

53(092)

«ВЫ, КОНЕЧНО, ШУТИТЕ, МИСТЕР ФЕЙНМАН!»*)

Р. Ф. Фейнман

(Отрывки из книги, посвященные преподаванию физики)

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ А. Р. ХИБЕСА

Помню, как студентами мы приходили на его лекции. Он стоял перед аудиторией и улыбался всем входящим, а его пальцы выстукивали какой-то сложный ритм на черной поверхности демонстрационного стола. Когда последние студенты занимали свои места, он брал мел и начинал быстро-быстро вращать его, как профессиональный игрок покерную фишку, и продолжал счастливо улыбаться как будто бы какой-то одному ему известной шутке. А потом, все еще улыбаясь, он начинал говорить о физике, а его диаграммы и уравнения помогали нам приблизиться к его пониманию. Но отнюдь не тайная шутка заставляла смеяться и искриться его глаза, а физика. Радость физики! Радость была заразительна. Нам повезло, что мы подхватили эту болезнь. Теперь у вас есть возможность испытать радость жизни, вместе с Фейнманом.

ИЗ АВТОБИОГРАФИИ

Я родился в маленьком городке Фар-Рокуэй поблизости от Нью Йорка, на берегу моря, в 1918 г. Я жил там до 1935 г. Потом я учился 4 года в Массачусетском технологическом институте (МТИ), а с 1939 г. перешел в Принстон. Работая в Принстоне, я принял участие в Манхэттенском проекте и в апреле 1943 г. переехал в Лос-Аламос. С октября или ноября 1946-го до 1951 г. я работал в Корнелле. Я посетил Бразилию в 1950 г. и провел там еще полгода в 1951 г. Затем я перешел в Калифорнийский технологический институт, где работаю и до сих пор.

*) «Surely You're Joking, Mr. Feynman!»: Adventures of a Curious Character/R. P. Feynman; as told to R. Leighton. Ed. E. Hutchings.— N.Y.; Lnd.: W. W. Norton and Co., 1985.— Перевод О. Л. Тиходеевой.

От редакции. Книга «Вы, конечно, шутите, мистер Фейнман!» состоит из рассказов выдающегося физика-теоретика Ричарда Фейнмана о его жизни, о его пути в науке. В публикуемых отрывках Фейнман рассказывает о преподавании физики, о работе физика-теоретика, о том, как важно и как трудно сочетать научно-исследовательскую работу с преподаванием. В шутливой форме он высказывает ряд серьезных и актуальных мыслей. Фейнман настаивает на необходимости связи обучения с практикой. Он призывает к самостоятельности мысли, к творчеству, к предельной честности в науке. Рассказы Фейнмана были записаны его другом и соавтором книги Ральфом Лейтоном, который донес до читателя живой разговорный стиль повествования. Этот стиль сохранен и в переводе.

© 1985 by Richard P. Feynman and Ralph Leighton

© Перевод отрывков из книги на русский язык, издательство «Наука». Главная редакция физико-математической литературы, «Успехи физических наук», 1986

ИЗ ГЛАВЫ «КТО УКРАЛ ДВЕРЬ?»

Я вообще любил розыгрыши, когда учился в МТИ. Как-то раз в кабинете черчения один шутник взял лекало (пластмассовое приспособление для черчения гладких кривых, такую забавную штуку) и сказал: «Интересно, есть какая-нибудь формула для этих кривых?».

Я подумал и сказал: «Конечно, есть. Это совершенно особенные кривые. Вот смотри, — я взял свое лекало и стал его медленно поворачивать. — Лекало устроено таким образом, что, как его ни поворачивай, касательная к любой кривой в нижней точке всегда горизонтальна».

Все в группе стали вертеть свои лекала, подставив карандаши снизу, и обнаружили, естественно, что касательная горизонтальна. Это «открытие» всех очень взволновало, хотя мы к этому времени достаточно познакомились с высшей математикой и уже «проходили», что производная (касательная) в минимуме (в нижней точке) любой кривой равна нулю (горизонтальна). Они не сопоставили одно с другим. Они даже не узнали того, что уже «знали».

Странно устроены люди: вместо того, чтобы стараться понять, они то ли зубрят, то ли еще что-то делают. Их знания так непрочны!

Через четыре года в Принстоне я разговаривал с одним весьма опытным сотрудником Эйнштейна, который долгое время работал с гравитацией. Я дал ему задачу: «Вы улетаете в ракете с часами на борту. Другие часы остаются на Земле. Вам надо вернуться через час по земным часам. Когда вы вернетесь, ваши часы должны уйти вперед как можно больше. Согласно Эйнштейну, если вы подниметесь очень высоко над Землей, ваши часы пойдут быстрее, так как, чем выше вы находитесь в гравитационном поле, тем оно слабее и тем быстрее идут ваши часы. Но у вас есть только один час, поэтому, если вы захотите подняться очень высоко, вам придется двигаться так быстро, что скорость замедлит ваши часы. Значит, слишком высоко подниматься нельзя. Вопрос состоит в том, как именно выбрать скорость и высоту подъема, чтобы получить максимальное время на ваших часах».

Сотрудник Эйнштейна размышлял довольно долго, пока не сообразил, что ответ заключается в свободном движении тела. Если вы просто выстреливаете чем-то вверх с таким расчетом, чтобы снаряд приземлился через час, это и есть нужное движение. Это основной постулат эйнштейновской гравитации: «собственное время» максимально для истинной траектории движения. Но когда речь зашла о ракете с часами, он не узнал этого общего принципа. Получилось, как со студентами в кабинете черчения, но на этот раз уже не с глупыми первокурсниками. Так что непрочность знаний свойственна очень многим, даже среди ученых.

ИЗ ГЛАВЫ «ПОЧТЕННЫЙ ПРОФЕССОР»

Не думаю, что я смог бы обойтись без преподавания. По чисто психологическим причинам — мне надо иметь хоть что-нибудь, чтобы сказать себе, когда нет идей и ничего не выходит: «По крайней мере, я живу и что-то *делаю*, я приношу хоть *какую-то* пользу».

В 40-х годах в Принстоне я видел, что происходит с великими умами из Института высших исследований. Там специально собрали самых выдающихся ученых, дали им прекрасный дом на опушке леса: ни занятий со студентами, ни каких бы то ни было обязанностей. Бедняги могли сидеть и спокойно думать в свое удовольствие. Неплохо? Но вот у них какое-то время нет идей. Все возможности для работы есть, а идей нет. По-моему, в такой ситуации зарождаются комплекс вины и депрессия, и начинаешь беспокоиться, что идеи не приходят. Но ничего не получается. Идей все равно нет.

Ничего не выходит, так как нет *реальной* деятельности и необходимости решать *конкретные* задачи: нет контактов с экспериментаторами, не надо придумывать ответы на вопросы студентов. Ничего нет.

В любой умственной работе бывают моменты, когда все идет хорошо, и мы полны замечательных идей. В это время преподавание мешает и раздражает больше всего на свете. Но потом наступают *более длительные* неплодотворные периоды, идеи не рождаются, и, если вообще ничего не делать, сойдешь с ума. Нельзя даже сказать себе: «Я учу своих студентов».

Когда преподаешь, можно думать о самых простых вещах, в которых очень хорошо разбираешься. Это даже развлечение и удовольствие. Совсем неплохо обдумать все эти простые вопросы еще раз. Нет ли лучшего объяснения? Нет ли связанных с этой темой новых проблем? Нельзя ли тут придумать что-нибудь новое? Про простые вещи *легко* думать. Если вы не можете придумать ничего нового, не беда: студентам можно рассказать, что вы думали об этом раньше. Если вы придумаете что-то новое, будет тем более приятно.

Вопросы студентов часто побуждают к новым исследованиям. Часто это глубокие вопросы, к которым я и сам время от времени возвращаюсь. Так что и мне полезно опять подумать над ними и посмотреть, не продвинусь ли я в их решении на этот раз. Студенты могут сами не до конца понимать глубину вопроса или тонкости, над которыми я размышляю, но они *напоминают* мне о проблеме, задавая вопросы из смежных областей. Не так-то просто бывает *самому себе* о ней напомнить.

Так что я считаю, что преподавание и студенты помогают жить, и я никогда не согласился бы оставить преподавание. Никогда.

Я был очень молодым профессором, и мне приходилось трудно в Корнеллском университете.

Как бы то ни было, я начал читать курс «Математические методы в физике» и еще один курс, — кажется, «Электричество и магнетизм». Кроме того, я собирался заняться наукой. Перед войной, когда я получил докторскую степень, у меня было много идей: я придумал, как заново сформулировать квантовую механику при помощи интегралов по траекториям, и было много вещей, которыми я хотел заняться.

В Корнелле я готовил свои лекции, ходил в библиотеку читать «Тысячу и одну ночь» и любоваться проходившими мимо девушками. Но когда приходило время заняться наукой, я не мог приступить к работе. Я был усталым, мне было неинтересно. Я не мог заниматься наукой! Это продолжалось, как мне тогда казалось, несколько лет. Теперь, оглядываясь назад и сопоставляя даты, я вижу, что это не могло тянуться так долго. Может быть, теперь я и не обратил бы на это особого внимания, но тогда казалось, что это никогда не кончится. Я просто никак не мог взяться ни за одну задачу. Помню, я написал одно или два предложения о какой-то задаче с гамма-лучами — и не мог продолжить. Я был убежден, что война и все остальное (смерть моей жены) просто меня опустошили.

Теперь я понимаю все гораздо лучше. Прежде всего, молодой человек не отдает себе отчета в том, сколько требуется времени, чтобы подготовить хорошие лекции, особенно в первый раз, и прочитать их, и придумать хорошие экзаменационные вопросы, и проверить, имеют ли задачи решения.

Я читал хорошие курсы, я помногу думал над каждой лекцией. Но я не понимал, что это *большая* работа! И вот я чувствовал, что выдохся, читал «Тысячу и одну ночь» и был глубоко несчастен.

В это время я то и дело получал предложения перейти на место с более высоким окладом в другой университет или в промышленную фирму. И каждое такое предложение делало меня еще несчастнее.

Я говорил себе: «Ну вот, мне делают такие замечательные предложения и не понимают, что я выдохся. Конечно, я не могу на них согласиться. От меня ждут каких-то достижений, а я ничего не могу достичь! У меня нет идей...».

Наконец, пришло приглашение из Института высших исследований: Эйнштейн... Фон Нейман... Вейль... Все эти великие умы! Они пишут мне и приглашают быть профессором *там*. И не просто профессором. Каким-то образом они узнали о моем отношении к Институту (что он слишком теоретический, что там недостаточно *настоящей* работы и реальных проблем). И вот они пишут: «Мы понимаем, что значительная часть Ваших интересов связана с экспериментальной работой и преподаванием. Мы специально договорились, чтобы Вы были у нас на особом положении. Половину времени Вы можете работать в Принстонском университете, а половину — в Институте».

Институт высших исследований! Особое исключение! Положение лучше, чем даже у Эйнштейна! Это было идеально. Это было прекрасно. Это было абсурдно!

Это было абсурдно. Другие предложения огорчали меня, но не до такой степени. Там от меня тоже ждали каких-то достижений. Но это предложение было совершенно смехотворно — оно требовало от меня абсолютно невозможного, оно было бесконечно далеко от реальности. Другие предложения были просто ошибками; это было нелепостью и абсурдом! Я пошел бриться и смеялся, думая о нем.

А потом я подумал: «Да ведь их представления обо мне совершенно фантастичны, они ждут от меня невозможного. Я не обязан оправдывать их ожидания!».

Это была блестящая мысль. Я не обязан добиваться достижений, чтобы угодить другим. Я не обязан оправдывать их ожидания. Это их ошибка, а не мой недостаток. Я не виноват, что Институт высших исследований ждет от меня слишком многого. Это явно ошибка. И как только мысль об ошибке пришла мне в голову, я понял, что это справедливо и по отношению ко всем другим местам, включая и мой собственный университет. Какой я есть, такой есть. А если они ждут от меня чего-то хорошего и готовы за это платить — что ж, это их проблемы.

В тот же день, по чудесному совпадению, Боб Вильсон, заведующий лабораторией Корнеллского университета, который, может быть, услышал, как я рассуждал об этом, а может, просто хорошо меня понимал, попросил меня зайти к нему. Он сказал мне вполне серьезно: «Фейнман, Вы хороший преподаватель, Вы хорошо работаете, и мы очень довольны. Сбудутся ли другие наши ожидания — дело случая. Приглашая профессора, мы, естественно рискуем. Получится — хорошо, не получится — плохо. Но Вы не должны беспокоиться о том, что Вы делаете и чего не делаете». Он сказал все это гораздо лучше и избавил меня от чувства вины.

А потом я подумал: «Сейчас физика как-то раздражает меня, но ведь мне *нравилось* заниматься физикой. Почему мне это нравилось? Это была игра. Я делал то, что мне хотелось. Мне было неважно, какое значение это имеет для развития ядерной физики. Важно было, чтобы мне самому нравилось и было интересно. Например, еще в школе, увидев, как вода вытекает из крана сужающейся струей, я заинтересовался тем, что определяет ее кривизну. Оказалось, это довольно легко посчитать. Мне *не нужно* было этим заниматься, это не имело значения для развития науки. Кто-то уже давно это рассчитал. Все равно: я придумывал задачи для собственного удовольствия».

Так у меня появился новый взгляд на вещи. Теперь я выдохся и никогда ничего не достигну. Ну что ж, у меня неплохое положение в университете, мне нравится преподавать. И я буду относиться к исследованиям, как к развлечению. Я буду заниматься физикой, когда мне захочется, не беспокоясь о том, насколько это важно и нужно.

На той же неделе я был в кафетерии, и какой-то парень, дурачась, подбросил тарелку в воздух. Тарелка вращалась и покачивалась, и по красной эмблеме Корнелла на ее доннышке я отчетливо видел, что она качается с меньшей частотой, чем вращается.

От нечего делать я стал рассчитывать движение вращающейся тарелки. Оказалось, что при малых углах покачивания частота вращения в два раза больше частоты качаний. Это следовало из сложного уравнения. Тогда я подумал: «А нельзя ли понять, почему получается два к одному, на более общем уровне, исходя из законов динамики?».

Не помню, как именно, но я в конце концов выяснил, как все ускорения уравновешиваются и дают два к одному.

До сих пор помню, как я пришел к Гансу Бете и сказал: «Послушай, Ганс! Я заметил интересную вещь. Вот тарелка. Она вращается так, а два к одному получается, потому что...». И я показал ему уравнения.

Он сказал: «Фейнман, все это очень интересно, но для чего это? Зачем ты это считаешь?»

Я сказал: «Ха! Да не для чего. Я считаю просто так, для удовольствия». Его реакция меня не обескуражила. Я твердо решил получать удовольствие от физики и делать все, что захочется.

Я продолжал трудиться над уравнениями качающейся тарелки. Потом я стал думать, как движутся электроны по теории относительности. Потом — об уравнении Дирака в электродинамике. А потом о квантовой электродинамике. И вдруг оказалось (все это произошло очень быстро), что я «играю», — а на самом деле работаю, — с теми же старыми задачами, которые я так любил и которыми перестал заниматься, уехав в Лос-Аламос. Это были задачи, связанные с темой моей диссертации, старые, чудесные задачи.

Это не требовало усилий. Это была легкая игра. Как будто откупорили бутылку, и все стало свободно выливаться. Я почти сопротивлялся этому! Я не думал, что делаю что-то важное, но время показало, что это было важно. Диаграммы и вся деятельность, за которую я получил Нобелевскую премию, выросли из этого баловства с качающейся тарелкой *).

ИЗ ГЛАВЫ «О, ОПЯТЬ ЭТОТ АМЕРИКАНЕЦ!»

Что касается образования в Бразилии, то у меня был очень интересный опыт. Я вел группу студентов, которые впоследствии должны были стать преподавателями, так как возможностей для научной работы в Бразилии в то время почти не было. Мои студенты прошли уже много предметов, а это должен был быть их самый серьезный курс по электричеству и магнетизму — уравнения Максвелла и т. д.

Университет располагался в нескольких зданиях, разбросанных по городу, и я вел свои занятия в здании, окна которого выходили на залив.

Я обнаружил очень странное явление: я задавал вопрос, и студенты отвечали, не задумываясь. Но когда я задавал вопрос еще раз — на ту же тему и, как мне казалось, тот же самый вопрос, они вообще не могли ответить! Например, однажды я рассказывал о поляризации света и раздал им всем кусочки поляроида.

Поляроид пропускает свет только с определенным направлением поляризации. Поэтому я объяснил, как определить направление поляризации света по тому, темный поляроид или светлый.

Сначала мы взяли две полоски поляроида и вращали их до тех пор, пока они не пропустили максимум света. Теперь мы могли сказать, что две полоски пропускали свет, поляризованный в одном направлении: что пропускал один поляроид, могло пройти и через второй. Но потом я спросил, можно ли, имея всего один кусок поляроида, определить, в каком направлении он поляризует свет. Они совершенно не представляли себе.

Я знал, что это требует известной доли находчивости, поэтому я подсказал: «Посмотрите на залив. Как от него отражается свет?».

*) Подробная история создания Р. Фейнманом диаграммной техники изложена в его Нобелевской лекции; см.: УФН, 1967, т. 91, с. 29. (Примеч. пер.)

Все молчат.

Тогда я сказал:

— Вы когда-нибудь слышали об угле Брюстера?

— Да, сэр. Угол Брюстера — это угол, отражаясь под которым от преломляющей среды, свет полностью поляризуется.

— В каком направлении свет поляризуется при отражении?

— Свет поляризуется перпендикулярно плоскости падения, сэр.

Даже теперь я не могу этого понять. Они знали все наизусть. Они знали даже, что тангенс угла Брюстера равен показателю преломления!

Я сказал: «Ну?»

По-прежнему, ничего. Они только что сказали мне, что свет, отражаясь от преломляющей среды, как, например, воды в заливе, поляризуется. Они даже сказали, в каком направлении он поляризуется.

Я сказал: «Посмотрите на залив через поляроид. Теперь поворачивайте поляроид».

— О-о-о, он поляризован! — воскликнули они.

После длительного расследования я, наконец, понял, что студенты все запоминали, но ничего не понимали. Когда они слышали «свет, отраженный от преломляющей среды», они не понимали, что под средой имеется в виду, например, вода. Они не понимали, что «направление распространения света» — это направление, в котором вы видите что-то, когда смотрите на него, и т. д. Все только запоминалось, и ничего не переводилось в осмысленные понятия. Так что, если я спрашивал: «Что такое угол Брюстера?», я обращался к компьютеру с правильными ключевыми словами. Но если я говорил: «Посмотрите на воду», — ничего не срабатывало. У них ничего не было закодировано под этими словами.

Позже я посетил лекцию в Инженерном институте. Проходила она так: «Два тела... считаются эквивалентными... если равные вращательные моменты... производят... равное ускорение. Два тела считаются эквивалентными, если равные вращательные моменты производят равное ускорение». Студенты сидели и записывали под диктовку, а когда профессор повторял предложение, они проверяли, все ли правильно записано. Потом они писали следующее предложение и еще одно, и еще одно. Только я один знал, что профессор говорил о телах с одинаковыми моментами инерции, а уяснить это было трудно.

Я не понимал, как они смогут разобраться во всем этом. Вот речь шла о моменте инерции, но не было никакого обсуждения хотя бы такого примера: вы хотите открыть дверь и толкаете ее с одной стороны, а с другой стороны ее подпирают грузом то с краю, то у самых петель. Насколько труднее будет открыть ее в первом случае, чем во втором?

После лекции я спросил одного студента:

— Вы ведете все эти записи. Что вы с ними делаете?

— О, мы их заучиваем. У нас будет экзамен.

— А какой будет экзамен?

— Очень простой. Я могу Вам прямо сейчас назвать один из вопросов, — он заглянул в тетрадь и сказал: «В каком случае два тела считаются эквивалентными?». А ответ: «Два тела считаются эквивалентными, если равные вращательные моменты производят равные ускорения».

Так что, как видите, они могли сдавать экзамены, и «учить» все это, и не знать абсолютно ничего, кроме того, что они вы зубрили.

Потом я был в Инженерном институте на вступительном экзамене. Экзамен был устный, и мне разрешили послушать. Один абитуриент был просто великолепен. Он отлично отвечал на все вопросы. Его спросили, что такое диамагнетизм. Он ответил совершенно правильно. Потом его спросили: «Что происходит с лучом света, когда он проходит под определенным углом через слой материала определенной толщины и с определенным показателем преломления?».

— Он выходит, сместившись параллельно самому себе, сэр.

— А на сколько он сместится?

— Я не знаю, сэр, но я могу посчитать.

Он посчитал. Все было прекрасно. Но у меня к этому времени уже были подозрения.

После экзамена я подошел к блестящему молодому человеку и объяснил, что я из Соединенных Штатов и хочу задать несколько вопросов, которые никак не повлияют на результат экзамена. Для начала я спросил, может ли он привести какой-нибудь пример диамагнетика.

— Нет.

Тогда я сказал: «Представьте себе, что эта книга стеклянная, и я смотрю сквозь нее на что-нибудь на столе. Что случится с изображением, если наклонить стекло?».

— Изображение повернется, сэр, на угол, в 2 раза превышающий угол наклона.

— А вы не путаете с зеркалом?

— Нет, сэр.

Он только что сказал на экзамене, что луч света сместится параллельно самому себе, и, следовательно, изображение сдвинется в сторону, но не будет поворачиваться ни на какой угол. Он даже вычислил, насколько изображение сдвинется, но он не понимал, что кусок стекла — это и есть материал с показателем преломления и что его вычисления имели самое непосредственное отношение к моему вопросу.

В Инженерном институте я читал курс «Математические методы в физике», в котором старался научить студентов решать задачи методом проб и ошибок. Этого обычно не знают, и я начал с простых арифметических примеров. Я был удивлен, когда из восьмидесяти с лишним студентов только восемь сдали первое задание. Я произнес настоящую речь о том, что надо *пробовать* самим, а не просто сидеть и смотреть, как я решаю.

После лекции ко мне подошла небольшая делегация. Мне объяснили, что я недооцениваю их подготовку, что они могут учиться, и не решая задач, что арифметику они давно уже прошли и что заниматься такими простыми вещами ниже их достоинства.

Мы продолжали заниматься, и, независимо от того, насколько сложным становился материал, они никогда не сдавали ни одной работы. Конечно, я понимал отчето: они не могли ничего решить.

Еще одного я не мог от них добиться — вопросов. В конце концов один студент объяснил мне: «Если я задам Вам вопрос во время лекции, потом все будут говорить: «Зачем ты отнимаешь у нас время на занятиях? Мы стараемся что-то *узнать*. А ты прерываешь лекцию, задавая вопросы».

Это было какое-то непостижимое высокомерие, так как никто ничего не понимал в происходящем, и все только делали вид, что понимают. Они притворялись, что им все ясно. И если кто-то задавал вопрос, признавая тем самым, что ему не все понятно, на него смотрели сверху вниз и говорили, что он отнимает время.

Я объяснял, как полезно работать сообща, обсуждать все проблемы, все до конца выяснять, но они этого не делали, потому что, задав вопрос, они уронили бы свое достоинство. Бедняги! Разумные люди, и сколько труда они тратили, но вот усвоили этот нелепый, извращенный взгляд на вещи и сделали свое «образование» бессмысленным, полностью бессмысленным. В конце учебного года студенты попросили меня сделать доклад о моем преподавании в Бразилии. На докладе должны были присутствовать не только студенты, но и профессора и правительственные чиновники, так что я взял с них обещание, что я смогу говорить все, что захочу. Мне сказали: «О чем речь! Конечно. Это свободная страна».

И вот я пришел, захватив элементарный учебник физики, по которому учились на первом курсе колледжа. Эта книга считалась особенно хорошей,

так как в ней использовались разные шрифты. Самые важные для запоминания вещи печатались жирным черным шрифтом, менее важные — побледнее и т. д.

Кто-то сразу же спросил: «Вы не собираетесь ругать этот учебник? Здесь находится автор, и все считают, что это хороший учебник».

— Вы обещали, что я могу говорить все, что хочу.

Зал был полон. Я начал с определения науки. Наука — это понимание законов природы. Потом я спросил: «Зачем развивать науку? Конечно, ни одна страна не может считаться цивилизованной, если она не ... и т. д., и т. п.» Все сидели и кивали, потому что, я знал, так именно они и думали. Тогда я сказал: «Это, конечно, абсурдно. Почему мы должны стремиться подражать другой стране? Для занятия наукой должна быть другая, *веская, разумная*, причина; нельзя развивать науку просто потому, что так делают в других странах». Потом я отметил практическую пользу научных исследований, вклад науки в улучшение условий жизни человека, и все таксе — я их немного подразнил.

Потом я сказал: «Основная цель моего доклада — показать, что в Бразилии нет научной подготовки».

Смотрю: они заволновались: «Как? Нет науки? Чуть какая-то! У нас учится столько студентов!»

Тут я рассказал им, что, приехав в Бразилию, я был поражен, как много в книжных магазинах младших школьников, покупающих книги по физике. В Бразилии очень много детей занимаются физикой, причем начинают гораздо раньше, чем дети в Соединенных Штатах. Поэтому удивительно, что мы не видим в Бразилии большого числа физиков. Отчего? Столько детей трудится изо всех сил, но все впустую.

И я привел такую аналогию: ученый занимается греческим языком и любит его. В его стране не много детей, изучающих греческий язык. Но вот он приезжает в другую страну и с радостью видит, что все учат греческий, даже самые маленькие дети в начальных школах. Он приходит на выпускной экзамен и спрашивает студента, будущего специалиста по греческому языку: «Как Сократ понимал взаимоотношение Истины и Красоты?» Студент не может ответить. Тогда ученый спрашивает: «Что Сократ сказал Платону в Третьей беседе?» Студент сияет и начинает: «Тр-р-р. . .» — и на прекрасном греческом языке повторяет слово в слово все, что сказал Сократ.

Но в Третьей беседе Сократ как раз и говорил о взаимоотношении Истины и Красоты.

Наш ученый обнаружил, что в этой стране греческий язык учат так: сначала учатся произносить звуки, потом слова, а потом предложения и целые абзацы. Студенты могли повторять наизусть, слово за словом, что сказал Сократ, не отдавая себе отчета в том, что все эти слова действительно что-то значат. Для них все это только звуки. Никто никогда не переводил их на понятный студентам язык.

Я сказал: «Вот как я представляю себе обучение детей «науке» здесь, в Бразилии». (Сильный удар, правда?)

Потом я поднял учебник, которым они пользовались: «В этой книге в одном единственном месте упоминаются экспериментальные результаты. Я имею в виду описание опыта с шариком, катящимся по наклонной плоскости. Сообщается, как далеко он укатится через одну секунду, две секунды, три секунды и т. д. Эти числа содержат «ошибки», т. е. на первый взгляд, кажется, что видишь экспериментальные данные. Все числа немного ниже или выше теоретических оценок. В книге даже говорится о необходимости учитывать экспериментальные ошибки — очень хорошо. Беда в том, что если вы станете вычислять величину ускорения свободного падения при помощи этих чисел, то получите правильный ответ. Но если шарик *действительно* катится по наклонной плоскости, он непременно крутится, и, если вы на самом деле ставите такой опыт, это дает пять седьмых правильного

ответа, так как часть энергии расходуется на вращение шарика. Так что эти единственные в книге «экспериментальные данные» — фальсификация. Никто не запускал шарика, иначе невозможно было бы получить такие результаты.

Я обнаружил кое-что еще, — продолжал я. — Наугад листая страницы и останавливаясь в любом произвольно выбранном месте, я могу показать вам, почему это не наука, а заучивание во всех случаях, без исключения. Я рискну прямо сейчас, в этой аудитории перелистать страницы, остановиться в произвольном месте, прочитать и показать вам.

Так я и сделал. Тррррр-ап — мой палец остановился на какой-то странице, и я начал читать: «Триболюминесценция. Триболюминесценция — это излучение света раздробленными кристаллами...».

Я сказал: «Вот, пожалуйста. Есть здесь наука? Нет! Здесь есть только толкование одного слова при помощи других слов. Здесь ни слова не сказано о природе: *какие* кристаллы испускают свет, если их раздробить? Почему они испускают свет? Вы можете представить, чтобы хоть один студент пошел домой и попробовал это проверить? Они не могут. Но если бы вместо этого вы написали: «Если взять кусок сахара и в темноте расколоть его щипцами, вы увидите голубоватую вспышку. То же самое происходит и с некоторыми другими кристаллами. Никто не знает, почему. Это явление называется триболюминесценцией. Тогда кто-нибудь проделал бы это дома, и это было бы изучением природы». Я использовал для доказательства этот пример, но мог взять и любой другой, — вся книга была такая.

Наконец, я сказал, что не понимаю, как можно получить образование при такой саморазвивающейся системе, когда одни сдают экзамены и учат других сдавать экзамены, но никто ничего не знает. Однако я, должно быть, ошибаюсь. В моей группе было два студента, которые учились очень хорошо. И я знаю одного физика, получившего образование исключительно в Бразилии. Так что, хотя система и очень плоха, некоторые все же ухитряются пробиться.

После доклада глава департамента научного образования поднялся и сказал: «То, что сообщил нам мистер Фейнман, тяжело слышать. Но я думаю, что он действительно любит науку и искренне озабочен. Поэтому мы должны прислушаться к его мнению. Я пришел сюда, зная, что наша система образования поражена каким-то недугом. Здесь я узнал, что у нас *рак*», — и он сел. После такого выступления и другие стали свободно высказываться. Поднялось большое волнение. Все вставали и вносили предложения. Студенты организовали комитет по предварительному размножению лекций и еще другие комитеты для разных целей.

А потом случилось нечто совершенно неожиданное. Один из упомянутых мною двух студентов встал и сказал: «Я учился не в Бразилии, а в Германии. А в Бразилию я приехал только в этом году».

Второй студент сказал что-то подобное. А названный мной профессор сказал: «Я учился здесь, в Бразилии, во время войны. Тогда все профессора, к счастью, покинули университет, и я учился самостоятельно, по книгам. Так что, на самом деле, я учился не по бразильской системе».

Этого я не ожидал. Я знал, что система никуда не годится, но что на все 100% — это было ужасно!

Я ездил в Бразилию в рамках программы, финансируемой правительством Соединенных Штатов. Поэтому в Госдепартаменте меня попросили написать отчет о моей работе в Бразилии. Я составил отчет из основных положений недавно произнесенной речи. Позже до меня дошли слухи, что некто в Госдепартаменте отреагировал так: «Вот видите, как опасно посылать в Бразилию такого наивного человека. Глупец, он может вызвать только неприязни. Он не понимает всех сложностей». Как раз наоборот. Мне-то кажется наивными рассуждения этого деятеля из Госдепартамента, потому что он представлял себе университет только по бумажкам и описаниям. Вот так.

ИЗ ГЛАВЫ «НЕ МОГЛИ БЫ ВЫ РЕШИТЬ УРАВНЕНИЕ ДИРАКА?»

Впервые посетив Японию, я очень захотел побывать там еще раз и сказал, что готов приехать в любой университет по их выбору. Японцы организовали целую серию визитов в разные места по несколько дней в каждом месте.

И повсюду физики рассказывали мне, над чем они работают. Мне называли общую проблему и начинали писать кучу уравнений.

— Подождите минутку, — говорил я, — у этой проблемы есть какие-нибудь конкретные проявления?

— Ну, есть, конечно.

— Хорошо, приведите мне пример.

Я могу только так. Я ничего не способен понять в общем, если не имею в голове конкретного примера и не слежу за его развитием. Некоторые сначала думают, что я какой-то заторможенный и не понимаю сути дела, потому что я задаю так много «глупых» вопросов: «А на катоде плюс или минус? А анионы здесь или там?»

Но позже, когда человек заберется в самую чащу своих уравнений и скажет что-то, я говорю: «Постойте! Здесь ошибка. Так не может быть!».

Человек смотрит на уравнения и, конечно, через некоторое время находит ошибку и удивляется: «Как это, я сначала ничего не понимал, а теперь в путанице всех этих уравнений нашел ошибку?».

Он думает, что я шаг за шагом следовал за его математическими выкладками. Но я этого не делал! У меня есть свой физический пример того, что он хочет проанализировать, а опыт и интуиция помогают мне представить его свойства. Поэтому, когда уравнение говорит, что дело обстоит каким-то образом, а я знаю, что так быть не может, я вскакиваю и кричу: «Постойте! Здесь ошибка!».

Поэтому и в Японии я не понимал и не мог обсуждать чужие работы, пока мне не приводили физического примера, а его обычно не могли найти. Или приводили неудачный пример, который можно было проанализировать более простым способом.

Так как я постоянно просил не показывать мне математические уравнения, а объяснять физический смысл их работ, итоги моего визита были подведены в статье, размноженной на мимеографе, под названием «Фейнмановские бомбардировки и наши реакции».

ИЗ ГЛАВЫ «ОТБОР УЧЕБНИКОВ ПО ОБЛОЖКАМ»

Мне позвонил известный в Пасадене юрист, входивший в Совет штата по образованию. Он спросил, не хочу ли я принять участие в работе Комиссии штата по составлению учебных планов, которая выбирала новые учебники для калифорнийских школ. В штате действовал закон, по которому все учебники для средних школ должны были утверждаться Советом по образованию. Поэтому была организована комиссия для предварительного отбора книг. Эта комиссия рекомендовала Совету, какие книги выбрать.

Оказалось, что многие книги были посвящены новому методу обучения арифметике, получившему название «новая математика». А так как обычно эти книги видели только учителя и должностные лица системы просвещения, было решено, что хорошо бы привлечь к оценке учебников кого-то, кто профессионально пользуется математикой, кто представляет себе конечный продукт и понимает, зачем надо учить детей математике.

Должно быть я испытывал в это время угрызения совести по поводу моего неучастия в правительственных программах и согласился стать членом комиссии.

Сразу же начались письма и телефонные звонки от издателей. Мне говорили: «Мы очень рады, что Вы вошли в комиссию, так как мы всегда

хотели, чтобы ученые...» и «Замечательно, что ученый вошел в комиссию, так как наши книги имеют научную ориентацию...». Но говорили и другое: «Мы хотели бы объяснить, о чем наша книга...» и «Мы будем очень рады оказать Вам любую помощь в оценке наших книг...». Это казалось мне совершенно диким. Я объективный ученый, и я думал, что, так как ученики и учителя будут иметь дело только с учебниками и пособиями, то любые дополнительные сведения, исходящие от издательства, будут лишь мешать. Поэтому я отказывался от всяких разговоров с издателями и всегда отвечал: «Ничего не надо объяснять. Я уверен, что книги говорят сами за себя».

Мне рассказали, как обычно происходит оценка новых учебников. Члены комиссии рассылают довольно большое число экземпляров каждой книги учителям и административным работникам своего района. Потом собираются отзывы. У меня не было обширных знакомств среди учителей и чиновников. Кроме того, я считал, что, читая книги, смогу и сам определить, нравятся они мне или нет. Так что я решил читать все сам.

Через несколько дней мне позвонил работник книжного склада и сказал: «Мы готовы отправить Вам книги, мистер Фейнман. Получается триста фунтов».

Я был ошеломлен.

— Ничего, мистер Фейнман. Мы найдем кого-нибудь, чтобы помочь Вам их прочитать.

Этого я не понимал: или вы книги читаете, или вы их не читаете. У себя в кабинете, внизу, я завел для них специальную полку (они заняли семнадцать футов) и привялся за те книги, которые должны были обсуждаться на следующем заседании. Мы собирались начать с учебников для начальной школы.

Это была большая работа, и я целыми днями трудился у себя внизу. Моя жена говорила, что семья живет, как на вулкане: «Некоторое время все тихо, а потом внезапно трах-та-ра-рах!!!» — на первом этаже начинается извержение вулкана.

Дело в том, что книги были отвратительные. В них было много неверного. Они были поспешно написаны. Чувствовалось стремление к точности, но приводились примеры (вроде автомобилей на улице для «множества»), в которых почти все было хорошо, но всегда оставались некоторые неточности. Определения были нестрогими. Все было неоднозначно. Видно было, что авторы не совсем ясно представляли себе, что такое точность, «подделывались». Они учили тому, чего сами толком не понимали и что было, по существу, бесполезно для ребенка.

Я понял их замысел. После «Спутника» многие думали, что мы отстаем от русских, и тогда обратились к математикам, чтобы они включили в программы обучения новые интересные математические понятия. Математику хотели сделать привлекательной для детей, которым она казалась скучной.

Приведу пример: в этих учебниках говорилось о разных системах счисления — пятеричной, шестеричной и т. д., — чтобы показать все возможности. Это может заинтересовать ребенка, который знает, что такое десятичная система. Для такого ребенка это будет развлечением. Но у них получилось, что *каждый* ребенок должен изучить другую систему счисления! А потом начался обычный кошмар: «Переведите эти числа из семеричной системы в пятеричную». Перевод из одной системы в другую — *совершенно бесполезная вещь*. Если вы умеете это делать, то, возможно, для вас это будет интересно, не умеете — забудьте об этом. Это никому не нужно.

Как бы то ни было, я все читал и читал это множество книг, и ни в одной не говорилось о применении арифметики в науке. Если и были какие-то примеры использования арифметики (а в основном это была абстрактная современная ерунда), они касались покупки марок.

Наконец, я добрался до книги, в которой говорилось: «Математика широко используется в науках. Мы приведем пример из астрономии, науки

о звездах». Переворачиваю страницу и читаю: «Красные звезды имеют температуру четыре тысячи градусов, желтые звезды имеют температуру пять тысяч градусов...», — ладно. Дальше: «Зеленые звезды имеют температуру семь тысяч градусов, голубые звезды имеют температуру десять тысяч градусов, а фиолетовые звезды имеют температуру... (какое-то большое число)». Зеленых и фиолетовых звезд не бывает, но для других звезд цифры приблизительно верные. Все в общих чертах вроде правильно, но все время сбоит. И так везде: все написано кем-то, кто не знает, о чем он, собственно, пишет. В результате, хоть что-нибудь всегда выходит неправильно! *Не понимаю*, как мы собираемся хорошо учить, если учебники пишут люди, которые не совсем понимают то, о чем пишут. И книги получаются безобразные. Совершенно безобразные!

Но этой книгой, во всяком случае, я был *доволен*, так как первый раз видел пример того, как арифметика используется в науке. Я был *несколько* недоволен, когда читал про температуру звезд. Несколько, потому что все было более или менее правильно, просто допустили ошибку. Затем шли задачи. Такие: «Джон и его отец вышли посмотреть на звезды. Джон видит две голубые звезды и красную звезду. Его отец видит зеленую звезду и две желтые звезды. Какова суммарная температура звезд, которые видит Джон и его отец?» — и я взрываюсь от бешенства.

Моя жена называла это «вулкан внизу». Но ведь я привел только один пример, а так было *постоянно*. *Постоянный бред!* Абсолютно бессмысленно складывать температуру двух звезд. Никто никогда этого не делает, кроме, может быть, единственного случая, когда хотят вычислить *среднюю* температуру, но уж никак не *суммарную* температуру всех звезд! Ужасно! Все это была только игра, чтобы заставить вас складывать, и авторы не понимали того, о чем писали. Казалось, что читаешь текст почти без типографских ошибок, и вдруг — целое предложение задом наперед. Математика выглядела именно так. Совершенно безнадежно!

И вот я пришел на первое совещание. Другие члены комиссии поставили оценки некоторым книгам, и меня тоже спросили, каковы *мои* оценки. Мои оценки часто отличались от всех прочих, и меня спрашивали: «Почему Вы оценили эту книгу так низко?»

Я объяснял, что в ней имеются следующие недостатки на страницах таких-то. У меня все было записано.

Они обнаружили, что я настоящий клад: я всегда мог им детально объяснить, чем хороша или плоха та или иная книга. Все мои оценки были основаны.

А если я спрашивал, почему какая-то книга получила у них высокую оценку, то в ответ слышал: «А что Вы думаете о книге...?». Вместо ответа меня спрашивали, что я думаю, и никак нельзя было понять, почему они оценивают книги так, а не иначе.

Очередь дошла до книги, которая была частью трехтомного сборника, выпускаемого одним издательством, и меня спросили, что я о ней думаю.

Я сказал: «Эту книгу мне не прислали со склада, но две другие были хорошие».

Кто-то попытался повторить вопрос «Что Вы думаете об этой книге?».

— Я уже сказал, что мне ее не прислали. Так что я не могу о ней судить.

Работник книжного склада был здесь же и сказал: «Извините, я могу все объяснить. Я не прислал Вам эту книгу, так как она не была еще закончена. По правилам мы должны иметь каждую книгу к определенному сроку, а издатель задержался с ней на несколько дней. Поэтому нам прислали макет книги с обложкой и пустыми страницами внутри. Компания приносит свои извинения и надеется, что трехтомник будет обсужден, несмотря на задержку третьего тома».

Оказалось, что этот пустой макет был оценен некоторыми членами комиссии! Они не могли поверить, что книги не было, ведь оценки-то были.

Более того, оценки у несуществующей книжки были выше, чем у двух других. То обстоятельство, что книги не было, ничуть не помешало ее оценке.

Я подумал, что система работает так: когда вы раздаете книги людям, им нет до этих книг никакого дела. Они заняты, они думают: «Ну, ведь не я один должен это прочитать — многие. Так что не важно, что я там напишу». И ставят наобум оценку. *Некоторые*, по крайней мере. Не все, но *некоторые* так делают. Потом вы получаете отзывы, и вы не знаете, *почему* именно эта книга получила меньше всего отзывов, т. е. на одну книгу пришло, допустим, десять отзывов, а на другую только шесть. Дальше вы усредняете все полученные оценки; естественно, вы не учитываете неприсланные отзывы. Так что полученная цифра кажется вам вполне разумной. При этом усреднении попросту упускается из виду то, что внутри обложки абсолютно ничего нет!

Я построил эту теорию, увидев, что случилось в нашей комиссии. Пустую обложку оценили только шесть из десяти членов, а остальные книжки — восемь или девять человек из десяти. Результат усреднения получился не хуже, чем результат усреднения восьми или девяти оценок. Все были очень смущены, когда это выяснилось, и это придало мне уверенности. Оказалось, другие члены комиссии проделывали большую работу, раздавая книги, собирая потом отзывы, посещая все собрания, приемы, где издатели давали им пояснения к своим книгам прежде, чем они успевали их прочитать. Я был единственным в комиссии, кто сам читал все книги и не получал от издательства никакой информации, кроме той, что содержалась в самих книгах и должна была, в конце концов, попасть в школы.

Эта проблема — как лучше составить мнение о книге: внимательно ее изучив или собрав много отзывов от людей, невнимательно ее просмотревших, — напоминает известную задачу. Никому не позволено видеть китайского императора. Спрашивается, какой длины нос у китайского императора? Чтобы это выяснить, предлагается обойти всю страну и у каждого жителя спросить, что он думает о длине носа императора. Потом вывести *среднее арифметическое*. Ответ будет очень «точным», так как вы усредните гигантское множество мнений. К сожалению, таким способом ничего не узнаешь. Среднее арифметическое, выведенное даже из очень широкого диапазона мнений незаинтересованных и невнимательных людей, не улучшает вашего понимания ситуации.

Окончательно решило исход дела и заставило меня, наконец, отказаться от работы в комиссии то обстоятельство, что в следующем году мы должны были обсуждать учебники по естественным наукам. Я подумал, что они, может быть, будут другими, и взял несколько посмотреть.

Но и здесь было то же самое: что-то, на первый взгляд, приемлемое, оказывалось при ближайшем рассмотрении ужасным. Например, одна книга начиналась четырьмя картинками: заводная игрушка, автомобиль, мальчик на велосипеде и еще что-то. И под каждой картинкой вопрос: «Что приводит это в движение?»

Я подумал: «А, понимаю. Они хотят рассказать о механике — как пружины работают внутри игрушки; о химии — как работает автомобильный двигатель; о биологии — как работают мускулы».

Такие вопросы любил мой отец: «Что приводит это в движение? Да все движется, потому что солнце светит». И мы бы веселились, обсуждая это.

— Нет, игрушка работает, потому что пружина заведена, — сказал бы я.

— А почему заведена пружина? — спросил бы отец.

— Я ее завел.

— А почему ты можешь двигаться?

— Потому, что я ем.

— А пища получается только потому, что солнце светит.

Так родилось бы понимание того, что движение — это просто *преобразованная* солнечная энергия.

Перевоорачиваю страницу. Ответ для заводной игрушки: «Энергия приводит ее в движение». И для мальчика на велосипеде: «Энергия приводит его в движение». Для всего — «Энергия приводит это в движение». Но это совершенно бессмысленно. Представьте, что было бы написано: «Вакаликс». Вот вам общий принцип: «Вакаликс приводит это в движение». Это не прибавляет знаний. Ребенок ничего не узнает, это просто слово!

Они должны были посмотреть на заводную игрушку, рассмотреть внутри пружинки, разобраться с ними, разобраться с колесиками и оставить в покое «энергию». Позже, когда дети поймут, как на самом деле работает заводная игрушка, можно обсудить и более общее понятие «энергия».

Кроме того, вообще неправильно говорить «энергия приводит что-то в движение». Потому что, если что-то останавливается, вы можете с тем же успехом сказать: «Энергия остановила его». Они имели в виду переход запасающей энергии в другие формы, что представляет собой очень тонкую особенность понятия «энергия». В этих примерах энергия не возрастает и не убывает, она просто переходит из одного вида в другой. И когда тело останавливается, энергия переходит в тепло, в общий хаос.

Но такие это были книги. Написанное в них сбивало с толку, было бесполезно, запутано, неоднозначно и частично неправильно. Как можно изучать науку по таким книгам, я не понимаю. Потому что это не наука.

Когда я увидел все эти ужасные книги с теми же недостатками, что и книги по математике, я почувствовал, что во мне опять начинается вулканический процесс. К этому времени я был измучен чтением математических книг и уже убедился в тщетности моих усилий. Поэтому, представив себе еще год таких усилий, я вышел из комиссии.

Через некоторое время я узнал, что книга, в которой энергия приводила все в движение, будет рекомендована комиссией Совету по образованию. Я сделал одно последнее усилие. На заседаниях комиссии публике разрешалось выступать с замечаниями, и я встал и сказал, почему я считаю эту книгу плохой.

Человек, заменивший меня в комиссии, возразил: «Эту книгу одобрили шестьдесят пять инженеров такой-то авиастроительной компании». Я не сомневался, что в этой компании работало несколько очень хороших инженеров. Но шестьдесят пять человек — это много. Диапазон способностей такого числа людей должен быть весьма широк. Так что среди них наверняка были и совсем никчемные. Это была опять проблема усреднения длины императорского носа или оценки книги, состоящей из одной обложки. Было бы гораздо лучше, если бы компания выбрала самых способных своих инженеров и предложила оценить книгу именно им. Я не считал себя умнее шестидесяти пяти человек, но умнее среднестатистической одной шестидесяти пятой — конечно. Я ничего не смог доказать, и книга была одобрена Советом.

ИЗ ГЛАВЫ «НАУКА САМОЛЕТОПОКЛОННИКОВ» *)

В средние века процветало множество нелепых идей, вроде того, что рог носорога повышает потенцию. Затем люди придумали метод, как отделить плодотворные идеи от неплодотворных. Метод состоял в проверке того, работает идея или нет. Этот метод, конечно, перерос в науку, которая развивается настолько успешно, что теперь мы живем в век науки. И живя в век науки, мы уже с трудом понимаем, как вообще могли существовать знахари, если ничего из того, что они предлагали, не действовало или действовало очень слабо.

Но даже в наши дни приходится встречать множество людей, которые рано или поздно втягивают тебя в обсуждение НЛЮ или астрологии, или

*) Эта глава основана на речи перед выпускниками Калифорнийского Технологического института в 1974 г.

какой-то формы мистицизма, или расширения границ сознания, новых типов мышления, экстрасенсорного восприятия и т. п. Я пришел к выводу, что все это *не* относится к науке.

Большинство людей верит в такое количество чудес, что я решил выяснить, почему это происходит. Сначала я исследовал различные мистические идеи и опыты. Я занимался экстрасенсами и пси-феноменами, где последним всеобщим увлечением был Ури Геллер, человек, про которого говорили, что он сгибает ключи, проводя по ним пальцем. По его приглашению я отправился к нему в гостиницу, где он должен был сгибать ключи и читать мысли на расстоянии. Чтения мыслей не получилось. Мне кажется, никто не может читать мои мысли. Потом мой сын держал ключ, а Ури Геллер тер его, но ничего не произошло. Тогда он сказал, что это лучше получается в воде, и вот представьте себе такую картину: все мы стоим в ванной, льется вода, он трет ключ пальцем под водой — и ничего не происходит. Я так и не смог расследовать этот феномен.

Потом я стал думать: а во что еще мы верим? (Тут я вспомнил о знахарях — как легко было бы с ними покончить, установив, что их средства на самом деле не действуют.) И я нашел вещи, в которые верит еще *больше* людей, например в то, что мы знаем, как надо учить. Существуют целые школы новых методов чтения, и математических методов, и т. п., но если присмотреться, вы увидите, что люди читают все меньше, во всяком случае, не больше, чем раньше, несмотря на то, что мы систематически развиваем эти методы. Вот вам знахарское средство, которое не действует. В этом надо разобраться. Почему они думают, что их методы должны работать? Другой пример — что делать с преступниками? Очевидно, что мы не можем добиться успеха. Мы создали много новых теорий, но не добились сокращения числа преступлений.

Однако все это считается наукой. И, по-моему, обычные люди, которые судят с позиций здравого смысла, запуганы этой псевдонаукой.

Мы должны по-настоящему всмотреться в неработающие теории и в ту науку, которая наукой не является.

Я думаю, что упомянутые мной педагогические и психологические дисциплины — это пример того, что я назвал бы наукой самолетопоклонников. У тихоокеанских островитян есть религия самолетопоклонников. Во время войны они видели, как приземляются самолеты, полные всяких хороших вещей, и они хотят, чтобы так было и теперь. Поэтому они устроили что-то вроде взлетно-посадочных полос, по сторонам их разложили костры, построили деревянную хижину, в которой сидит человек с деревяшками в форме наушников на голове и бамбуковыми палочками, торчащими как антенны — он диспетчер, — и они ждут, когда прилетят самолеты. Они делают все правильно. По форме все верно. Все выглядит так же, как и раньше, но все это не действует. Самолеты не садятся. Я называю упомянутые науки науками самолетопоклонников, потому что люди, которые ими занимаются, следуют всем внешним правилам и формам научного исследования, но упускают что-то главное, так как самолеты не приземляются.

Теперь мне, конечно, надлежит сообщить вам, что именно они упускают. Но это почти так же трудно, как и объяснить тихоокеанским островитянам, что им следует предпринять, чтобы как-то повисить благосостояние своего общества. Здесь не отделаешься чем-то простым, вроде советов, как улучшить форму наушников. Но я заметил отсутствие *одной* черты во всех науках самолетопоклонников. То, что я собираюсь сообщить, мы никогда прямо не обсуждаем, но надеемся, что вы все вынесли это из школы: вся история научных исследований наводит на эту мысль. Поэтому стоит назвать ее сейчас со всей определенностью. Это научная честность, принцип научного мышления, соответствующий полнейшей честности, честности, доведенной до крайности. Например, если вы ставите эксперимент, вы должны сообщать обо всем, что, с вашей точки зрения, может сделать его несостоятельным. Сооб-

щайте не только то, что подтверждает вашу правоту. Приведите все другие причины, которыми можно объяснить ваши результаты, все ваши сомнения, устраненные в ходе других экспериментов, и описания этих экспериментов, чтобы другие могли убедиться, что они действительно устранены.

Если вы подозреваете, что какие-то детали могут поставить под сомнение вашу интерпретацию, — приведите их. Если что-то кажется вам неправильным или предположительно неправильным, сделайте все, что в ваших силах, чтобы в этом разобраться. Если вы создали теорию и пропагандируете ее, приводите все факты, которые с ней не согласуются так же, как и те, которые ее подтверждают. Тут есть и более сложная проблема. Когда много разных идей соединяется в сложную теорию, вы должны убедиться, что теория объясняет не только те факты, которые явились начальным толчком к ее созданию. Законченная теория должна предсказывать и что-то новое, она должна иметь какие-то дополнительные следствия.

Короче говоря, моя мысль состоит в том, что надо стараться опубликовать *всю* информацию, которая поможет другим оценить значение вашей работы, а не одностороннюю информацию, ведущую к выводам в заданном направлении.

Весь наш опыт учит, что правду не скроешь. Другие экспериментаторы повторяют ваш эксперимент и подтвердят или опровергнут ваши результаты. Явления природы будут соответствовать или противоречить вашей теории. И хотя вы, возможно, завоюете временную славу и создадите ажиотаж, вы не заработаете хорошей репутации как ученый, если не были максимально старательны в этом отношении. И вот эта честность, это старанье не обманывать самого себя и отсутствует большей частью в научных исследованиях самолетопоклонников.

Их основная трудность происходит, конечно, из сложности самого предмета и неприменимости к нему научного метода. Однако надо заметить, что это не единственная трудность. Как бы то ни было, но самолеты не приземляются.

На множестве опытов мы научились избегать некоторых видов самобмана. Один пример: Милликен измерял заряд электрона в эксперименте с падающими масляными каплями. И получил несколько заниженный, как мы теперь знаем, результат. Его незначительная ошибка объяснялась тем, что использовалось неверное значение для вязкости воздуха. Интересно проследить историю измерений заряда электрона после Милликена. Если построить график этих измерений как функцию времени, видно, что каждый следующий результат чуть выше предыдущего, и так до тех пор, пока результаты не остановились на некотором более высоком уровне.

Почему же сразу не обнаружили, что число несколько больше? Ученые стыдятся этой истории, так как очевидно, что происходило следующее: когда получалось число слишком отличающееся от результата Милликена, экспериментаторы начинали искать у себя ошибку. Когда же результат не очень отличался от величины, полученной Милликеном, он не проверялся так тщательно. И вот слишком далекие числа исключались и т. п. Теперь мы знаем про все эти уловки и больше не страдаем таким заболеванием.

К сожалению, долгая история того, как люди учились не дурачить сами себя и руководствоваться полнейшей научной честностью, не включена ни в один известный мне курс. Мы надеемся, что вы усвоили ее из самого духа науки.

Итак, главный принцип — не дурачить самого себя. А себя как раз легче всего одурачить. Здесь надо быть очень внимательным. А если вы не дурачите сами себя, вам легко будет не дурачить других ученых. Тут нужна просто обычная честность.

Я хотел бы добавить нечто, не самое, может быть, существенное для ученого, но для меня важное: вы как ученый не должны дурачить непрофессионалов. Я говорю не о том, что нельзя обманывать жену и водить за нос

подружку. Я не имею в виду те жизненные ситуации, когда вы являетесь не ученым, а просто человеком. Эти проблемы оставим вам и вашему духовнику. Я говорю об особом, высшем, типе честности, который предполагает, что вы как ученый сделаете абсолютно все, что в ваших силах, чтобы показать свои возможные ошибки. В этом, безусловно, состоит долг ученого по отношению к другим ученым и, я думаю, к непрофессионалам.

Например, я был несколько удивлен словами моего друга, занимавшегося космологией и астрономией. Он собирался выступать по радио и думал, как объяснить, какова практическая ценность его работы. Я сказал, что ее просто не существует. «Да, но тогда мы не получим финансовой поддержки для дальнейших исследований», — ответил он. Я считаю, что это нечестно. Если вы выступаете как ученый, вы должны объяснить людям, что вы делаете. А если они решат не финансировать ваши исследования, — что ж, это их право.

Одно из следствий этого принципа: задумав проверить теорию или объяснить какую-то идею, всегда публикуйте результаты, независимо от того, каковы они. Публикуйте результаты только одного сорта, мы можем усилить нашу аргументацию. Но мы должны публиковать *все* результаты.

Я считаю, что это так же важно и тогда, когда вы консультируете правительственные организации. Предположим, сенатор обращается к вам за советом: следует ли бурить скважину в его штате? А вы считаете, что лучше сделать скважину в другом штате. Если вы не опубликуете своего мнения, мне кажется, это не будет научной консультацией. Вас просто используют. Если ваши рекомендации отвечают пожеланиям правительства или каких-то политических деятелей, они используют их как довод в свою пользу; если не отвечают, — их просто не опубликуют. Это не научная консультация.

Но еще более характерны для плохой науки другие виды ошибок. В Корнелле я часто беседовал со студентами и преподавателями психологического факультета. Одна студентка рассказала мне, какой она хочет провести эксперимент. Кто-то обнаружил, что при определенных условиях, X, крысы делают что-то, A. Она хотела проверить, будут ли крысы по-прежнему делать A, если изменить условия на Y. Она собиралась поставить эксперимент при условиях Y и посмотреть, будут ли крысы делать A.

Я объяснил ей, что сначала необходимо повторить в ее лаборатории тот, другой, эксперимент — посмотреть, получат ли она при условиях X результат A, а потом изменить X на Y и следить, изменится ли A. Тогда она будет уверена, что единственное изменение в условия эксперимента внесено ею самой и находится под ее контролем.

Ей очень понравилась эта новая идея, и она отправилась к своему профессору. Но он ответил: «Нет, делать этого не надо. Эксперимент уже поставлен, и вы будете терять время». Это было году в 1947-м или около того, когда общая политика состояла в том, чтобы не повторять психологические эксперименты, а только изменять условия и смотреть, что получится.

И в наши дни имеется определенная опасность того же, даже в прославленной физике. Я был потрясен тем, что мне рассказали об эксперименте с дейтерием, поставленном на большом ускорителе Национальной ускорительной лаборатории. Для сравнения результатов этих опытов с тяжелым водородом с результатами опытов с легким водородом предполагалось брать данные чужого эксперимента, проведенного на другой установке. Когда руководителя эксперимента спросили, почему, он ответил, что эксперимент с легким водородом не был включен в программу, так как время на установке очень дорого, а новых результатов этот эксперимент не даст. Люди, отвечающие за программу Национальной ускорительной лаборатории, так стремятся к новым результатам в рекламных целях (чтобы получить больше денег), что готовы обесценить сами эксперименты, составляющие единственный смысл их деятельности. Экспериментаторам у них часто бывает трудно выполнять свою работу так, как того требует научная честность.

Но и в психологии не все эксперименты так плохи. Например, было поставлено множество экспериментов, в которых крысы бежали по разнообразным лабиринтам, но они почти не давали результатов. И вот в 1937 г. человек по фамилии Янг (Young) поставил очень интересный опыт. Он устроил длинный коридор с дверьми по обе стороны. С одной стороны впускали крыс, а с другой стороны находилась пища. Янг хотел узнать, можно ли научить крыс всегда входить в третью по счету дверь от того места, где их впустили в коридор. Нет. Крысы сейчас же бежали к той двери, за которой еда была в прошлый раз. Возник вопрос: как крысы узнают дверь? Ведь коридор был прекрасно изготовлен и весь был совершенно однообразный. Очевидно, что-то отличало эту дверь от других. Янг очень аккуратно выкрасил все двери, так что поверхность их стала абсолютно одинаковой. Крысы все равно различали двери.

Потом Янг подумал, что крысы ориентируются по запаху, и при помощи химических средств стал менять запах после каждого опыта. Крысы все равно находили дверь. Потом он решил, что крысы, как и всякие разумные существа, могут ориентироваться по свету и расположению вещей в лаборатории. Он изолировал коридор, но крысы находили дверь. Наконец, он понял, как крысы это делают: они узнавали дорогу по тому, как под их лапами звучит пол. Этому он смог помешать, установив свой коридор на песке. Таким образом он закрывал одну за другой все лазейки и, в конце концов, перехитрил крыс и научил их входить в третью дверь. И ни одним из условий нельзя было пренебречь.

С научной точки зрения это первоклассный эксперимент. Такой эксперимент придает смысл всей деятельности с бегущими крысами, так как выявляет истинные ключи к разгадке их поведения. Кроме того, этот эксперимент показывает, какие условия надо соблюдать, чтобы добиться точности и строгости в экспериментах с крысами.

Я изучил дальнейшую историю этих исследований. В следующих экспериментах не было ссылок на Янга. Никто не использовал его приемов — коридор не ставился на песок, и вообще никто не принимал таких мер предосторожности. Просто по-старому продолжали запускать крыс, не обращая внимания на великие открытия Янга, а на его работы не ссылались, так как он не открыл ничего нового в поведении крыс. На самом деле он открыл все, что надо делать, чтобы узнать что-то о крысах. Но не замечать подобных экспериментов — типично для науки самолетопоклонников.

В своей речи, посвященной уходу с поста директора Института парапсихологии, м-р Райн (Rhine) говорит о создании нового учебного заведения. Одна из его рекомендаций заключается в том, что надо обучать только таких студентов, которые уже в достаточной степени проявили свои экстрасенсорные способности. И не тратить времени на ищущих и заинтересованных людей, у которых только иногда что-то получается. Это очень опасная образовательная политика — учить студентов только тому, как получать определенные результаты, вместо того, чтобы учить их ставить эксперименты по всем правилам научной честности.

Я хочу пожелать вам одной удачи — попасть в такое место, где вы сможете свободно исповедывать ту честность, о которой я говорил, и где ни необходимость упрочить свое положение в организации, ни соображения финансовой поддержки — ничто не заставит вас поступиться этой честностью. Да будет у вас эта свобода.