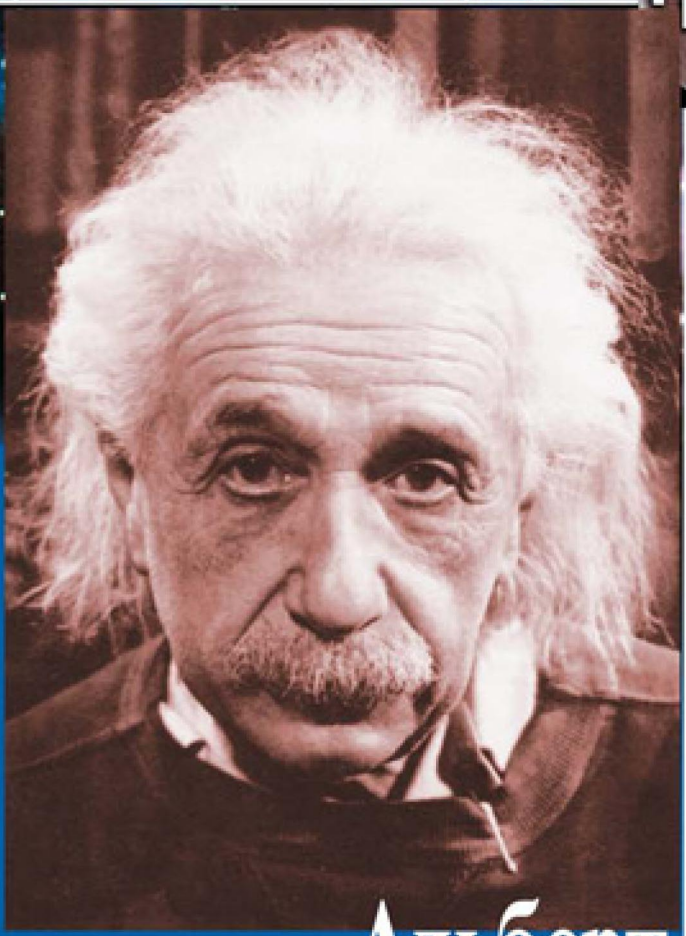
грани мира



Альберт ЭЙНШТЕЙН

Мир и физика

ББК 22.3г
Э11

Федеральная целевая программа «Культура России»
Подпрограмма «Поддержка полиграфии и книгоиздания в России»

Серия «Грани мира» основана в 2002 г.

Составитель А.Л. Самсонов

Издательство благодарит профессора Клауса Тиссена (Германия)
за помощь в подготовке сборника.

Эйнштейн А.
Э11 Мир и физика. Сборник. — М.: Тайдекс Ко, 2003. — 296 с., с илл. (Библиотека журнала «Экология и жизнь». Серия «Грани мира»).
ISBN 5-94702-013-0

В этой книге Альберт Эйнштейн предстанет перед читателем не только как великий физик, но и выдающийся мыслитель, рассуждающий о природе реальности, изучаемой в физике, о Добре и Зле, войне и мире, науке и Боге. Читатель также найдет в книге знаменитую полемику с Нильсом Бором по поводу принципа неопределенности и популярное изложение теории относительности, подготовленное самим Эйнштейном.

Книга снабжена блоком иллюстраций из жизни Эйнштейна, портретами его коллег-физиков, а также их воспоминаниями об Эйнштейне.

Для широкого круга читателей.

ББК 22.3г

ISBN 5-94702-013-0

© Составление: Самсонов А.Л., 2003
© Оформление: «Тайдекс Ко», 2003

Мотивы научного исследования. Пролог

Храм науки — строение многосложное. Различны пребывающие в нем люди и приведшие их туда духовные силы. Некоторые занимаются наукой с гордым чувством своего интеллектуального превосходства; для них наука является тем подходящим спортом, который должен им дать полноту жизни и удовлетворение честолюбия. Можно найти в храме и других: плоды своих мыслей они приносят здесь в жертву только в утилитарных целях. Если бы посланный Богом ангел пришел в храм и изгнал из него тех, кто принадлежит к этим двум категориям, то храм катастрофически опустел бы. Все-таки кое-кто из людей как прошлого, так и настоящего времени в нем бы остался. К числу этих людей принадлежит и наш Планк, и поэтому мы его любим.

Я хорошо знаю, что мы только что с легким сердцем изгнали многих людей, построивших значительную, возможно, даже наибольшую, часть науки; по отношению ко многим принятое решение было бы для нашего ангела горьким. Но одно кажется мне несомненным: если бы существовали только люди, подобные изгнанным, храм не поднялся бы, как не мог бы вырасти лес из одних лишь вьющихся растений. Этих людей удовлетворяет, собственно говоря, любая арена человеческой деятельности: станут ли они инженерами, офицерами, коммерсантами или учеными — это зависит от внешних обстоятельств. Но обратим вновь свой взгляд на тех, кто удостоился милости ангела. Большинство из них — люди странные, замкнутые, уединенные; несмотря на эти общие черты они в действительности сильнее разнятся друг от друга, чем изгнанные. Что привело их в храм? Нелегко на это ответить, и ответ, безусловно, не будет одинаковым для всех. Как и Шопенгауэр, я прежде всего думаю, что одно из наиболее сильных

Motiv des Forschens. В сб. «Zu Max Plancks — 60. Geburstag: Ausprachen in der Deutsche physikalische Gesellschaft». Karlsruhe, 1918, 29–32; Prologue. В кн.: *Planc M.* Where is science going? London, 1933, 9–14.

побуждений, ведущих к искусству и науке, — это желание уйти от будничной жизни с ее мучительной жестокостью и безутешной пустотой, уйти от уз вечно меняющихся собственных прихотей. Эта причина толкает людей с тонкими душевными струнами от личных переживаний в мир объективного видения и понимания. Эту причину можно сравнить с тоской, неотразимо влекущей горожанина из шумной и мутной окружающей среды к тихим высокогорным ландшафтам, где взгляд далеко проникает сквозь неподвижный чистый воздух и наслаждается спокойными очертаниями, которые кажутся предназначенными для вечности.

Но к этой негативной причине добавляется и позитивная. Человек стремится каким-то адекватным способом создать в себе простую и ясную картину мира для того, чтобы оторваться от мира ощущений, чтобы в известной степени попытаться заменить этот мир созданной таким образом картиной. Этим занимаются художник, поэт, теоретизирующий философ и естествоиспытатель, каждый по-своему. На эту картину и ее оформление человек переносит центр тяжести своей духовной жизни, чтобы в ней обрести покой и уверенность, которые он не может найти в слишком тесном головокружительном круговороте собственной жизни.

Какое место занимает картина мира физиков-теоретиков среди всех возможных таких картин? Благодаря использованию языка математики эта картина удовлетворяет наиболее высоким требованиям в отношении строгости и точности выражения взаимозависимостей. Но зато физик вынужден сильнее ограничивать свой предмет, довольствуясь изображением наиболее простых, доступных нашему опыту явлений, тогда как все сложные явления не могут быть воссозданы человеческим умом с той точностью и последовательностью, которые необходимы физику-теоретику. Высшая аккуратность, ясность и уверенность — за счет полноты. Но какую прелесть может иметь охват такого небольшого среза природы, если наиболее тонкое и сложное малодушно и боязливо оставляется в стороне? Заслуживает ли результат столь скромного занятия гордого названия «картины мира»?

Я думаю — да, ибо общие положения, лежащие в основе мысленных построений теоретической физики, претендуют быть действительными для всех происходящих в природе событий. Путем чисто логической дедукции из них можно было бы вывести картину, т. е. теорию всех явлений природы, включая жизнь, если этот процесс дедукции не выходил бы далеко за пределы творческой возможности человеческого мышления. Следовательно, отказ от полноты физической картины мира не является принципиальным.

Отсюда вытекает, что высшим долгом физиков является поиск тех общих элементарных законов, из которых путем чистой дедукции можно получить картину мира. К этим законам ведет не логический путь, а только основанная на проникновении в суть опыта интуиция. При такой неопределенности методики можно думать, что существует произвольное число равноценных систем теоретической физики; в принципе это мнение безусловно верно. Но история показала, что из всех мыслимых построений в данный момент только одно оказывается преобладающим. Никто из тех, кто действительно углубляется в предмет, не станет отрицать, что теоретическая система практически однозначно определяется миром наблюдений, хотя никакой логический путь не ведет от наблюдений к основным принципам теории. В этом суть того, что Лейбниц удачно назвал «предустановленной гармонией». Именно в недостаточном учете этого обстоятельства серьезно упрекают физики некоторых из тех, кто занимается теорией познания. Мне кажется, что в этом корень и прошедшей несколько лет назад полемики между Махом и Планком.

Горячее желание увидеть эту предустановленную гармонию является источником настойчивости и неистощимого терпения, с которыми, как мы знаем, отдался Планк общим проблемам науки, не позволяя себе отклоняться ради более благодарных и легче достижимых целей. Я часто слышал, что коллеги приписывали такое поведение необычайной силе воли и дисциплине, но мне представляется, что они не правы. Душевное состояние, способствующее такому труду, подобно религиозности или влюбленности: ежедневное старание проистекает не из какого-то намерения или программы, а из непосредственной потребности.

Он здесь вместе с нами, наш дорогой Планк; он внутренне посмеивается над этим моим ребяческим манипулированием фонарем Диогена. Наша симпатия к нему не нуждается в банальном обосновании. Пусть любовь к науке продолжает украшать ему жизнь и приведет его к разрешению им самим поставленной и значительно продвинутой важнейшей физической проблемы нашего времени. Пусть ему удастся объединить квантовую механику, электродинамику и механику в логически стройную систему.

1918 г.

* * *

Много разных людей посвящало себя науке, но не все посвящали себя науке ради самой науки. Некоторые входили в ее храм потому, что это давало им возможность проявить свое дарование. Для этой категории людей наука является своего рода спортом, занятие которым доставляет им радость подобно тому, как атлету доставляют удовольствие упражнения, развивающие силу и ловкость. Существует другая кате-

гория людей, вступающих в храм науки, с тем чтобы предоставить в ее распоряжение свой мозг, получить за это приличное вознаграждение. Такие люди становятся учеными лишь случайно, в силу обстоятельств, обусловивших выбор их жизненного пути. Если бы обстоятельства, сопутствовавшие этому выбору, были иными, эти люди могли бы стать политическими деятелями или крупными дельцами. Если бы с небес спустился ангел и изгнал из храма науки всех, кто принадлежит к этим двум категориям, то боюсь, что в храме науки почти никого бы не осталось. Но все же несколько жрецов остались бы в храме — кое-кто от прошлых времен, а кое-кто и от нашего времени. Среди последних был бы и наш Планк, и за это мы его так любим.

Я отдаю себе полный отчет в том, что при такой чистке были бы изгнаны многие из построивших значительную, может быть, даже большую часть храма науки. Но в то же время ясно, что если бы люди, посвятившие себя науке, относились только к тем двум категориям, о которых я говорил выше, то ее здание никогда бы не выросло до тех величественных размеров, которые оно имеет в настоящее время, точно так же, как не смог бы подняться лес, состоящий из одних лишь ползучих растений.

Но забудем о них. Non ragionam di lor*. Обратимся к тем, кто снискал расположение ангела. Большей частью это странные, молчаливые, одинокие люди. И все же, несмотря на то, что они похожи друг на друга, различие между ними гораздо сильнее, чем различие между теми, кого наш гипотетический ангел изгнал из храма науки.

Что заставило их посвятить свою жизнь служению науке? На этот вопрос трудно ответить вообще и никогда нельзя было бы ответить просто и категорично. Лично я склонен думать вместе с Шопенгауэром, что одним из сильнейших мотивов, побуждающих людей посвящать себя искусству и науке, является стремление избежать повседневности с ее серостью и мертвящей скукой и сбросить с себя оковы своих собственных преходящих желаний, нескончаемой вереницей сменяющих друг друга, если все помыслы сосредоточены на различного рода будничных мелочах и ограничены только ими.

К этому негативному мотиву следует добавить и позитивный. Природа человека такова, что он всегда стремился составить для себя простой и не обремененный излишними подробностями образ окружающего его мира. При этом он пытался построить картину, которая дала бы до какой-то степени реальное отображение того, что человеческий разум видит в природе. Именно это делают и поэт, и художник, и философ, и естествоиспытатель, причем каждый по-своему. В созданную им картину мира человек помещает центр тяжести своей души и таким

---

* Эквивалентно предыдущей фразе. — *Прим. ред.*

образом находит в ней тот покой и то равновесие, которые не может найти в тесном кругу повседневной жизни, требующем с его стороны непрестанных реакций.

Какое место среди различных картин мира, созданных художником, философом и поэтом, занимает картина мира, созданная физиком-теоретиком? Главной ее особенностью должна быть особая точность и внутренняя логическая непротиворечивость, которые можно выразить только на языке математики. С другой стороны, физик должен быть жестоким по отношению к материалу, который он использует. Ему приходится довольствоваться воспроизведением лишь наиболее простых процессов, доступных нашему чувственному восприятию, ибо более сложные процессы человеческий разум не может представить себе с той чрезвычайной точностью и логической последовательностью, которые столь высоко ценимы физиком-теоретиком.

Даже пожертвовав полнотой, мы должны обеспечивать простоту, ясность и точность соответствия между изображением и изображаемым предметом. Если отдавать себе отчет в том, насколько мала та часть природы, которую можно охватить и выразить с помощью точных формулировок, опуская все сколько-нибудь тонкое и сложное, то естественно задать вопрос: что же привлекательного может быть в подобной работе? Заслуживает ли результат подобного весьма ограничительного отбора громкого названия картины мира?

Я думаю, что заслуживает, ибо большинство общих законов, на которых зиждется логическая структура теоретической физики, надлежит учитывать при изучении даже наиболее простых явлений природы. Если бы эти законы были полностью известны, то теорию любого явления природы, включая теорию самой жизни, можно было бы вывести из них с помощью одних лишь абстрактных рассуждений. Я думаю, что *теоретически* такой вывод был бы возможен, но на практике такой процесс вывода лежит вне возможностей человеческого мышления. Поэтому тот факт, что в науке мы вынуждены довольствоваться неполной картиной физического мира, обусловлен не природой этого мира, а нашими собственными особенностями.

Таким образом, высшая задача физика состоит в открытии наиболее общих элементарных законов, из которых можно было бы логически вывести картину мира. Однако не существует логического пути открытия этих элементарных законов. Единственным способом их постижения является интуиция, которая помогает увидеть порядок, кроющийся за внешними проявлениями различных процессов. Эта способность к угадыванию развивается с практикой. Но можно ли утверждать, что разные физические теории могут быть в равной мере справедливыми и допустимыми? С теоретической точки зрения в этой

идее нет ничего нелогичного. Но история науки показала, что на любом этапе развития физики одна из мыслимых теоретических структур доказывала свое превосходство над всеми остальными.

Для каждого опытного исследователя ясно, что теоретическое построение в физике зависит и определяется миром чувственного восприятия, хотя не существует логического пути, следуя по которому мы могли бы от чувственного восприятия прийти к принципам, лежащим в основе теоретической схемы. Кроме того, синтез понятий, являющийся отпечатком эмпирического мира, можно свести к нескольким фундаментальным законам, на которых логически строится весь синтез. При каждом существенном продвижении вперед физик обнаруживает, что фундаментальные законы все более и более упрощаются по мере того, как развиваются экспериментальные исследования. Он удивляется, когда замечает, сколь стройный порядок возникает из того, что прежде казалось хаосом. Этот порядок нельзя считать связанным с работой его собственного интеллекта; он обусловлен одним свойством, присущим миру восприятий. Лейбниц удачно назвал это свойство «изначальной гармонией».

Физики иногда упрекают философов, занимающихся теорией познания, за то, что те не вполне оценивают этот факт. И я думаю, что именно в этом состоит смысл дискуссии, в течение нескольких лет продолжавшейся между Эрнстом Махом и Максом Планком. Последний, по всей видимости, чувствовал, что Мах не вполне оценивал стремление физиков к восприятию этой «изначальной гармонии». Именно это стремление было неиссякаемым источником терпения и настойчивости, с которой Планк отдавался самым простым вопросам, связанным с физической наукой, в то время как он мог бы поддаться искушению и пойти иными путями, которые привели бы к более привлекательным результатам.

Я часто слышал, как коллеги Планка связывали его отношение к науке с его необычайными личными дарованиями, его энергией и пунктуальностью. Думаю, что они ошибаются. То состояние ума, которое служит движущей силой в этом случае, напоминает состояние фанатика или влюбленного. Усилия, затрачиваемые в течение длительного периода времени, стимулируются не каким-то составленным заранее планом или целью. Это вдохновение проистекает из душевной потребности.

Думаю, что Макс Планк посмеялся бы над тем, как по-детски я блуждаю здесь с фонарем Диогена. Но что я могу сказать о его величии? Величие Планка не нуждается в жалком подтверждении с моей стороны. Его труд дал один из самых мощных толчков прогрессу науки. Его идеи будут жить и работать до тех пор, пока существует физическая наука. И я надеюсь, что пример его личной жизни послужит не меньшим стимулом для последующих поколений ученых.

1932 г.

Автобиографические заметки

Вот я здесь сижу и пишу на 68-м году жизни что-то вроде собственного некролога. Делаю я это не только потому, что меня уговорили; я и сам думаю, что показать своим ищущим собратьям, какими представляются в исторической перспективе собственные стремления и искания, — дело хорошее. После некоторого размышления я, однако, почувствовал, как неполна и несовершенна должна оказаться такая попытка. Ведь как бы ни была коротка и ограничена трудовая жизнь, как бы ни преобладали в ней ошибки и блуждания, все же отобрать и изложить то, что этого заслуживает, — задача нелегкая. Когда человеку 67 лет, то он не тот, каким был в 50, 30 и 20 лет. Всякое воспоминание подкрашено тем, что представляет человек сейчас, а нынешняя точка зрения может ввести в заблуждение. Это соображение могло бы отпугнуть. Но, с другой стороны, из собственных переживаний можно почерпнуть многое такое, что недоступно сознанию другого.

Еще будучи довольно скороспелым молодым человеком, я живо осознал ничтожество тех надежд и стремлений, которые гонят сквозь жизнь большинство людей, не давая им отдыха. Скоро я увидел и жестокость этой гонки, которая, впрочем, в то время прикрывалась тщательнее, чем теперь, лицемерием и красивыми словами. Каждый был вынужден участвовать в этой гонке ради своего желудка. Участие это могло удовлетворить желудок, но никак не всего человека как мыслящего и чувствующего существа. Выход отсюда указывался прежде всего религией, которая насаждается всем детям традиционной машиной воспитания. Таким путем я, хотя и был сыном совсем нерелигиозных (еврейских) родителей, пришел к глубокой религиозности, которая, однако, уже в возрасте 12 лет резко оборвалась. Чтение научно-популярных книжек привело меня вскоре к убеждению, что в

Autobiographisches (Autobiographical Notes). В кн.: «Albert Einstein — Philosopher-Scientist», ed. by P.A. Schilpp, Evanston (Illinois), 1945, 1–95 .

библейских рассказах многое не может быть верным. Следствием этого было прямо-таки фанатическое свободомыслие, соединенное с выводами, что молодежь умышленно обманывается государством; это был потрясающий вывод. Такие переживания породили недоверие ко всякого рода авторитетам и скептическое отношение к верованиям и убеждениям, жившим в окружавшей меня тогда социальной среде. Этот скептицизм никогда меня уже не оставлял, хотя и потерял свою остроту впоследствии, когда я лучше разобрался в причинной связи явлений.

Для меня ясно, что утраченный таким образом религиозный рай молодости представлял первую попытку освободиться от пут «только личного», от существования, в котором господствовали желания, надежды и примитивные чувства.

Там, вовне, существовал большой мир, существующий независимо от нас, людей, и стоящий перед нами, как огромная вечная загадка, доступная, однако, по крайней мере отчасти, нашему восприятию и нашему разуму. Изучение этого мира манило, как освобождение, и я скоро убедился, что многие из тех, кого я научился ценить и уважать, нашли свою внутреннюю свободу и уверенность, отдавшись целиком этому занятию. Мысленный охват, в рамках доступных нам возможностей, этого внеличного мира представлялся мне наполовину сознательно, наполовину бессознательно как высшая цель. Те, кто так думал, будь то мои современники или люди прошлого, вместе с выработанными ими взглядами, были моими единственными и неизменными друзьями. Дорога к этому раю была не так удобна и завлекательна, как дорога к религиозному раю, но она оказалась надежной, и я никогда не жалел, что по ней пошел.

То, что я сейчас сказал, верно только в известном смысле, подобно тому, как рисунок, состоящий из немногих штрихов, только в ограниченном смысле может передать сложный предмет, с его запутанными мелкими подробностями. Если данная личность особенно ценит остро отточенную мысль, то эта сторона ее существа может выделяться ярче других ее сторон и в большей степени определять ее духовный мир. Может тогда случится, что в ретроспективном взгляде эта личность усмотрит систематическое саморазвитие там, где фактические переживания чередовались в калейдоскопическом беспорядке. В самом деле, многообразие внешних обстоятельств в соединении с тем, что в каждый данный момент думаешь только об одном, вводит в сознательную жизнь каждого человека своего рода атомистическую структуру. В развитии человека моего склада поворотная точка достигается тогда, когда главный интерес жизни понемногу отрывается от мгновенного и личного и все больше и больше концентрируется в

стремлении мысленно охватить природу вещей. С этой точки зрения приведенные выше схематические заметки содержат верного столько, сколько вообще может быть сказано в таких немногих словах.

Что значит, в сущности, «думать»? Когда при восприятии ощущений, идущих от органов чувств, в воображении всплывают картины воспоминания, то это еще не значит «думать». Когда эти картины становятся в ряд, каждый член которого пробуждает следующий, то и это еще не есть мышление. Но когда определенная картина встречается во многих таких рядах, то она, в силу своего повторения, начинает служить упорядочивающим элементом для таких рядов благодаря тому, что она связывает ряды, сами по себе лишенные связи. Такой элемент становится орудием, становится понятием. Мне кажется, что переход от свободных ассоциаций или «мечтаний» к мышлению характеризуется той, более или менее доминирующей, ролью, какую играет при этом «понятие». Само по себе не представляется необходимым, чтобы понятие соединялось с символом, действующим на органы чувств и воспроизводимым (со словом); но если это имеет место, то мысль может быть сообщена другому лицу.

По какому же праву, спросит теперь читатель, оперирует этот человек так бесцеремонно и кустарно с идеями в такой проблематической области, не делая притом ни малейшей попытки что-либо доказать? Мое оправдание: всякое наше мышление — того же рода; оно представляет собой свободную игру с понятиями. Обоснование этой игры заключается в достижимой при помощи нее возможности обозреть чувственные восприятия. Понятие «истины» к такому образованию еще совсем не применимо; это понятие может, по моему мнению, быть введено только тогда, когда имеется налицо условное соглашение относительно элементов и правил игры.

Для меня не подлежит сомнению, что наше мышление протекает в основном, минуя символы (слова), и к тому же бессознательно. Если бы это было иначе, то почему нам случается иногда «удивляться», притом совершенно спонтанно, тому или иному восприятию? Этот «акт удивления», по-видимому, наступает тогда, когда восприятие вступает в конфликт с достаточно установившимся в нас миром понятий. В тех случаях, когда такой конфликт переживается остро и интенсивно, он в свою очередь оказывает сильное влияние на наш умственный мир. Развитие этого умственного мира представляет собой в известном смысле преодоление чувства удивления — непрерывное бегство от «удивительного», от «чуда»*.

---

* Слова «чудо» и «удивление» имеют в немецком языке один и тот же корень «Wunder». — *Прим. перев.*

Чудо такого рода я испытал ребенком 4 или 5 лет, когда мой отец показал мне компас. То, что эта стрелка вела себя так определенно, никак не подходило к тому роду явлений, которые могли найти себе место в моем неосознанном мире понятий (действие через прикосновение). Я помню еще и сейчас — или мне кажется, что я помню, — что этот случай произвел на меня глубокое и длительное впечатление. За вещами должно быть что-то еще, глубоко скрытое. Человек так не реагирует на то, что он видит с малых лет. Ему не кажется удивительным падение тел, ветер и дождь, он не удивляется на луну и на то, что она не падает, не удивляется различию между живым и неживым.

В возрасте 12 лет я пережил еще одно чудо совсем другого рода: источником его была книжечка по евклидовой геометрии на плоскости, которая попалась мне в руки в начале учебного года. Там были утверждения, например, о пересечении трех высот треугольника в одной точке, которые хотя и не были сами по себе очевидны, но могли быть доказаны с уверенностью, исключавшей как будто всякие сомнения. Эта ясность и уверенность произвели на меня неописуемое впечатление. Меня не беспокоило то, что аксиомы должны быть приняты без доказательства. Вообще мне было вполне достаточно, если я мог в своих доказательствах опираться на такие положения, справедливость которых представлялась мне бесспорной. Я помню, например, что теорема Пифагора была мне показана моим дядей еще до того, как в мои руки попала священная книжечка по геометрии. С большим трудом мне удалось «доказать» эту теорему при помощи подобных треугольников; при этом мне казалось, однако, «очевидным», что отношение сторон прямоугольного треугольника должно полностью определяться одним из его острых углов. Вообще мне казалось, что доказывать нужно только то, что не «очевидно» в этом смысле. И предметы, с которыми имеет дело геометрия, не казались мне другой природы, чем «видимые и осязаемые» предметы, т. е. предметы, воспринимаемые органами чувств. Это примитивное понимание основано, конечно, на том, что бессознательно учитывалась связь между геометрическими понятиями и наблюдаемыми предметами (длина — твердый стержень и т. п.). Возможно, что это понимание лежит в основе известной кантовской постановки вопроса относительно возможности «синтетического суждения априори».

Хотя это выглядело так, будто путем чистого размышления можно получить достоверные сведения о наблюдаемых предметах, но такое «чудо» было основано на ошибке. Все же тому, кто испытывает это «чудо» в первый раз, кажется удивительным самый факт, что человек способен достигнуть такой степени надежности и чистоты в отвлеченном мышлении, какую нам впервые показали греки в геометрии.

Раз я позволил себе прервать начатый с грехом пополам некролог, я уже не буду стесняться выразить здесь в нескольких фразах свое гносеологическое кредо, хотя кое-что из этого было уже попутно сказано ранее. Эти мои убеждения складывались медленно и сложились много позднее; они не соответствуют тем установкам, которые у меня были, когда я был моложе.

Я вижу, с одной стороны, совокупность ощущений, идущих от органов чувств; с другой стороны, совокупность понятий и предложений, записанных в книгах. Связи понятий и предложений между собою — логического характера; задача логического мышления сводится исключительно к установлению соотношений между понятиями и предложениями по твердым правилам, которыми занимается логика. Понятия и предложения получают смысл, или «содержание», только благодаря их связи с ощущениями. Связь последних с первыми — чисто интуитивная и сама по себе не логической природы. Научная «истина» отличается от пустого фантазирования только степенью надежности, с которой можно провести эту связь или интуитивное сопоставление, и ничем иным. Система понятий есть творение человека, как и правила синтаксиса, определяющие ее структуру. Хотя системы понятий сами по себе логически совершенно произвольны, но их связывает то, что они, во-первых, должны допускать возможно надежное (интуитивное) и полное сопоставление с совокупностью ощущений; во-вторых, они должны стремиться обойтись наименьшим числом логически независимых элементов (основных понятий и аксиом), т. е. таких понятий, для которых не дается определений, и таких предложений, для которых не дается доказательств.

Предложение верно, если оно выведено внутри некоторой логической системы по принятым правилам. Содержание истины в системе определяется надежностью и полнотой ее соответствия с совокупностью ощущений. Вернее, предложение заимствует свою «истинность» из запаса истины, содержащегося в системе, его заключающей.

Замечание к историческому развитию. Юм ясно понял, что некоторые понятия, например понятие причинности, не могут быть выведены из опытных данных логическим путем. Кант, убежденный в том, что без некоторых понятий обойтись нельзя, считал эти понятия в их принятой форме необходимыми предпосылками всякого мышления и отличал их от понятий эмпирического происхождения. Я же уверен, что это разграничение ошибочно и не охватывает естественным образом задачу. Все понятия, даже и ближайшие к ощущениям и переживаниям, являются с логической точки зрения произвольными положениями, точно так же, как и понятие причинности, о котором в первую очередь шла речь.

Возвращаюсь теперь к некрологу. В возрасте 12–16 лет я ознакомился с элементами математики, включая основы дифференциального и интегрального исчислений. При этом на мое счастье мне попались книги, в которых обращалось не слишком много внимания на логическую строгость, зато хорошо была выделена везде главная мысль. Все это занятие было поистине увлекательно; в нем были взлеты, по силе впечатления не уступавшие «чуду» элементарной геометрии, — основная идея аналитической геометрии, бесконечные ряды, понятие дифференциала и интеграла. Мне посчастливилось также получить понятие о главнейших результатах и методах естественных наук по очень хорошему популярному изданию, в котором изложение почти везде ограничивалось качественной стороной вопроса (бернштейновские естественнонаучные книги для народа — труд в 5–6 томов); книги эти я читал, не переводя дыхания. К тому времени, когда я в возрасте 17 лет поступил в Цюрихский политехникум в качестве студента по физике и математике, я уже был немного знаком и с теоретической физикой.

Там у меня были прекрасные преподаватели (например, Гурвиц, Минковский), так что, собственно говоря, я мог бы получить солидное математическое образование. Я же большую часть времени работал в физической лаборатории, увлеченный непосредственным соприкосновением с опытом. Остальное время я использовал главным образом для того, чтобы дома изучать труды Кирхгофа, Гельмгольца, Герца и т. д. Причиной того, что я до некоторой степени пренебрегал математикой, было не только преобладание естественнонаучных интересов над интересами математическими, но и следующее своеобразное чувство. Я видел, что математика делится на множество специальных областей, и каждая из них может занять всю отпущенную нам короткую жизнь. И я увидел себя в положении буриданова осла, который не может решить, какую же ему взять охапку сена. Дело было, очевидно, в том, что моя интуиция в области математики была недостаточно сильна, чтобы уверенно отличить основное и важное от остальной учености, без которой еще можно обойтись. Кроме того, и интерес к исследованию природы, несомненно, был сильнее; мне как студенту не было еще ясно, что доступ к более глубоким принципиальным проблемам в физике требует тончайших математических методов. Это стало мне выясняться лишь постепенно, после многих лет самостоятельной научной работы. Конечно, и физика была разделена на специальные области, и каждая из них могла поглотить короткую трудовую жизнь, так и не удовлетворив жажды более глубокого познания. Огромное количество недостаточно увязанных эмпирически фактов действовало и здесь подавляюще. Но здесь я скоро научился выиски-

вать то, что может повести в глубину, и отбрасывать все остальное, все то, что перегружает ум и отвлекает от существенного. Тут была, однако, та загвоздка, что для экзамена нужно было напихивать в себя — хочешь не хочешь — всю эту премудрость. Такое принуждение настолько меня запугивало, что целый год после сдачи окончательного экзамена всякое размышление о научных проблемах было для меня отравлено. При этом я должен сказать, что мы в Швейцарии страдали от того принуждения, удушающего настоящую научную работу, значительно меньше, чем страдают студенты во многих других местах. Было всего два экзамена; в остальном можно было делать более или менее то, что хочешь. Особенно хорошо было тому, у кого, как у меня, был друг, аккуратно посещавший все лекции и добросовестно обрабатывавший их содержание. Это давало свободу в выборе занятия вплоть до нескольких месяцев перед экзаменом, свободу, которой я широко пользовался; связанную же с ней нечистую совесть я принимал как неизбежное, притом значительно меньшее, зло. В сущности, почти чудо, что современные методы обучения еще не совсем удушили святую любознательность, ибо это нежное растеньице требует наряду с поощрением прежде всего свободы — без нее оно неизбежно погибает. Большая ошибка думать, что чувство долга и принуждение могут способствовать находить радость в том, чтобы смотреть и искать. Мне кажется, что даже здоровое хищное животное потеряло бы жадность к еде, если бы удалось с помощью бича заставить его непрерывно есть, даже когда оно неголодно, и особенно, если принудительно предлагаемая еда не им выбрана.

Обратимся теперь к физике, какой она представлялась в то время. Несмотря на то, что в отдельных областях она процветала, в принципиальных вещах господствовал догматический застой. В начале (если таковое было) Бог создал ньютоновы законы движения вместе с необходимыми массами и силами. Этим все и исчерпывается; остальное должно получиться дедуктивным путем, в результате разработки надлежащих математических методов. Опираясь на эту основу и в особенности применяя уравнения в частных производных, XIX столетие дало так много, что это должно вызывать удивление всякого мыслящего человека. Ньютон, вероятно, первый продемонстрировал в своей теории распространения звука плодотворность метода дифференциальных уравнений в частных производных. Эйлер создал уже основы гидродинамики. Но более детальное построение механики дискретных масс как основы всей физики было достижением XIX века. На студента наибольшее впечатление производило не столько построение самого аппарата механики и решение сложных задач, сколько достижения механики в областях, на первый взгляд совсем с ней не связанных: механическая теория света, которая

рассматривала свет как волновое движение квазитвердого упругого эфира, и прежде всего кинетическая теория газов. Здесь следует упомянуть независимость теплоемкости одноатомных газов от атомного веса, вывод уравнения состояния газа и его связь с теплоемкостью, а главное — численную зависимость между вязкостью, теплопроводностью и диффузией газов, которая давала и абсолютные размеры атома. Эти результаты служили одновременно подтверждением механики как основы физики и подтверждением атомной гипотезы, которая тогда уже твердо укрепилась в химии. Однако в химии играли роль только отношения атомных масс, а не их абсолютные величины, поэтому там атомную теорию можно было рассматривать скорее как наглядную аналогию, а не как познание действительного строения материи. Независимо от этого, глубочайший интерес вызывало и то, что статистическая теория классической механики была в состоянии вывести основные законы термодинамики; по существу, это было сделано уже Больцманом.

Нельзя поэтому удивляться, что физики прошлого века видели в классической механике незыблемое основание для всей физики и даже для всего естествознания; они неустанно пытались обосновать на механике и максвелловскую теорию электромагнетизма, медленно пробивавшую себе дорогу. Максвелл и Герц в своем сознательном мышлении также считали механику надежной основой физики, хотя в исторической перспективе следует признать, что именно они и подорвали доверие к механике как основе основ всего физического мышления. Эрнст Мах в своей истории механики потряс эту догматическую веру; на меня — студента — эта книга оказала глубокое влияние именно в этом отношении. Я вижу действительное величие Маха в его неподкупном скепсисе и независимости; в мои молодые годы на меня произвела сильное впечатление также и гносеологическая установка Маха, которая сегодня представляется мне в существенных пунктах несостоятельной. А именно: он недостаточно подчеркнул конструктивный и спекулятивный характер всякого мышления, в особенности научного мышления. Вследствие этого он осудил теорию как раз в тех ее местах, где конструктивно-спекулятивный характер ее выступает неприкрыто, например в кинетической теории.

Прежде чем приняться за критику механики как основы физики, нужно сначала высказать несколько общих положений о точках зрения, или критериях, с которых вообще можно критиковать физические теории. Первый критерий очевиден: теория не должна противоречить данным опыта. Но насколько очевидным кажется это требование само по себе, настолько тонким оказывается его применение. Дело в том, что часто, если не всегда, можно сохранить данную общую теоретическую основу, если только приспособлять ее к фактам при помощи

более или менее искусственных дополнительных предположений. Во всяком случае, в этом первом критерии речь идет о проверке теоретической основы на имеющемся опытном материале.

Во втором критерии речь идет не об отношении к опытному материалу, а о предпосылках самой теории, о том, что можно было бы кратко, хотя и не вполне ясно, назвать «естественностью» или «логической простотой» предпосылок (основных понятий и основных соотношений между ними). Этот критерий, точная формулировка которого представляет большие трудности, всегда играл большую роль при выборе между теориями и при их оценке. Речь идет здесь не просто о каком-то перечислении логически независимых предпосылок (если таковое вообще возможно однозначным образом), а о своего рода взвешивании и сравнении несоизмеримых качеств. Далее, из двух теорий с одинаково «простыми» основными положениями следует предпочесть ту, которая сильнее ограничивает возможные априори качества систем (т. е. содержит наиболее определенные утверждения). Относительно «области применимости» теорий мне можно здесь не говорить ничего, поскольку мы рассматриваем только такие теории, предметом которых является вся совокупность физических явлений.

Второй критерий можно кратко характеризовать как критерий «внутреннего совершенства» теории, тогда как первый относится к ее «внешнему оправданию». К «внутреннему совершенству» теории я причисляю также и следующее: теория представляется нам более ценной тогда, когда она не является логически произвольным образом выбранной среди приблизительно равноценных и аналогично построенных теорий.

Недостаточную определенность моих утверждений в двух последних абзацах я не буду оправдывать недостатком отведенного мне в печати места; я прямо признаю, что так сразу я не могу, а, может быть, и вообще не в состоянии заменить эти намеки точными определениями. Однако я считаю, что более точная формулировка возможна. Во всяком случае, мы видим, что между «авгурами» большею частью наблюдается полное согласие в суждении о «внутреннем совершенстве» теорий и в особенности о степени их «внешнего оправдания».

Переходим теперь к критике механики как основы физики.

С точки зрения первого критерия (проверка на опыте) включение волновой оптики в механическую картину мира должно было вызывать серьезные сомнения. Если считать, что свет должен рассматриваться как волновое движение в упругом теле (в эфире), то это тело должно быть всепроникающей средой. В силу поперечности световых волн среда эта должна быть в основном подобна твердому телу, однако она должна быть несжимаемой, чтобы продольные волны не сущес-

твовали. Этот эфир должен был вести рядом с обычной материей призрачное существование, поскольку он как будто не оказывал никакого сопротивления движению «весомых» тел. Чтобы объяснить показатели преломления прозрачных тел, а также процессы испускания и поглощения света, пришлось бы принять путаные взаимодействия между двумя родами материи; это не только не было выполнено, но даже никто этого серьезно и не пробовал.

Далее, электромагнитные силы заставили ввести электрические массы, которые, хотя и не обладали заметной инертностью, оказывали друг на друга воздействие; в отличие от силы тяготения это взаимодействие имело полярный характер.

Причиной, в конце концов побудившей физиков отказаться после долгих колебаний от веры в возможность построить всю физику на основе ньютоновой механики, была электродинамика Фарадея—Максвелла. Эта теория вместе с опытами Герца, ее подтвердившими, показала, что существуют электромагнитные процессы, по существу своему оторванные от всякой весомой материи, а именно волны, представляющие собой колебания электромагнитных «полей» в пустом пространстве. Кто хотел сохранить механику как основу физики, тот должен был дать механическое толкование уравнениям Максвелла. Над этим и стали трудиться усерднейшим образом, но совершенно бесплодно, тогда как самые уравнения во все большей степени выявляли свою плодотворность. Люди привыкли оперировать с этими полями как с самостоятельными реальностями, не вдаваясь в их механическую природу. Так почти незаметно взгляд на механику как на основу физики был оставлен; это произошло потому, что приспособление механики к опытным фактам оказалось безнадежным. С тех пор существуют две системы элементарных понятий: с одной стороны, взаимодействующие на расстоянии материальные точки, а с другой — непрерывное поле. Это состояние физики, в котором отсутствует единая ее основа, является как бы переходным; при всей его неудовлетворительности оно далеко еще не преодолено...

Теперь о критике механики как основы физики с точки зрения второго, «внутреннего», критерия. При современном состоянии науки, когда механический фундамент уже оставлен, такого рода критика может иметь лишь методический интерес. Однако она весьма пригодна в качестве примера такой аргументации, которая в будущем должна при выборе между теориями играть тем большую роль, чем дальше отстоят их основные понятия и аксиомы от непосредственно наблюдаемого; при таких обстоятельствах сопоставление выводов теории с опытом становится все сложнее и затруднительнее. Здесь следует в первую очередь упомянуть одно соображение Маха, которое, впрочем, было совершенно ясно уже и

Ньютону («опыт с ведром»). С точки зрения чисто геометрического описания, все «жесткие» системы отсчета являются в логическом отношении равноправными. Однако уравнения механики (и уже первый закон Ньютона) справедливы лишь в некоторых из этих систем отсчета, а именно в «инерциальных» системах, составляющих особый класс. При этом характер системы отсчета как материального тела оказывается несущественным. Необходимость брать именно инерциальную систему отсчета должна быть поэтому обусловлена чем-то лежащим вне тех предметов (масс, расстояний), о которых идет речь в теории. В качестве такого определяющего обстоятельства Ньютон ввел «абсолютное пространство» как некоего вездесущего активного участника всех механических процессов. Под «абсолютным» Ньютон, очевидно, разумеет «не подверженное влиянию масс и их движений». Положение усугубляется тем, что предполагается существование бесконечного множества инерционных систем, движущихся друг относительно друга равномерно и без вращения, причем эти системы отсчета предполагаются выделенными среди всех остальных жестких систем отсчета.

По мнению Маха, в действительно рациональной теории инертность должна, подобно другим ньютоновским силам, происходить от взаимодействия масс. Это мнение я долгое время считал в принципе правильным. Оно неявным образом предполагает, однако, что теория, на которой все основано, должна принадлежать тому же общему типу, как и ньютонова механика: основными понятиями в ней должны служить массы и взаимодействия между ними. Между тем нетрудно видеть, что такая попытка решения не вяжется с духом теории поля.

Тем не менее, маховская критика сама по себе вполне обоснована. Это особенно ясно видно из следующей аналогии. Представим себе людей, строящих механику; пусть при этом они знают только небольшую часть земной поверхности и не имеют возможности видеть звезды. Они будут склонны приписывать вертикальному измерению пространства (направление ускорения при падении) особые физические свойства. На этом основании они придут к заключению, что поверхность земли преимущественно горизонтальна. Положим, что они не поддаются соображению, что пространство в геометрическом отношении изотропно, и что поэтому нельзя строить основные физические законы так, чтобы из них следовало наличие привилегированного направления; эти люди, вероятно, будут склонны утверждать (подобно Ньютону), что вертикаль абсолютна, что это показывает опыт, и с этим приходится считаться. Выделение вертикалей перед всеми другими направлениями совершенно аналогично выделению инерциальных систем перед другими жесткими координатными системами.

Содержание

Часть 1
Воспоминания, диалоги, споры 5
Мотивы научного исследования. Пролог 6
Автобиографические заметки 12
Автобиографические наброски 49
Эрнст Мах 56
Природа реальности. Беседа с Рабиндранатом Тагором 63
Истоки войн. Переписка между Альбертом Эйнштейном
и Зигмундом Фрейдом 67
Сократовский диалог 81
Наука и Бог. Диалог 88
Физика и реальность 93
Принципы теоретической физики 123
Основы теоретической физики 126

Часть 2
Парадоксальность физики 137
Познание прошлого и будущего в квантовой механике 138
О соотношении неопределенностей 141
О методе теоретической физики 142
Можно ли считать квантовомеханическое описание
физической реальности полным? 148
Н. Бор. Можно ли считать квантовомеханическое описание
физической реальности полным 156

Часть 3
Физики и физика 169
В. Гейзенберг. Теория относительности. Беседа с Эйнштейном . . 170
М. Борн. Статистические теории Эйнштейна 193
М. Борн. Воспоминания об Эйнштейне 207

Приложения

Приложение 1.
Работы Эйнштейна по теории относительности в популярном изложении 225
$E = mc^2$ настоятельная проблема нашего времени 226
Относительность: сущность теории относительности 230
Относительность и проблема пространства 237

Приложение 2.
Из редко публикуемых работ Эйнштейна 253
Теоретическая атомистика 254
Элементарная теория полета и волн на воде 269
Причины образования извилин в руслах рек и так называемый закон Бэра 273

Приложение 3.
К биографии Эйнштейна 277
Основные даты жизни А. Эйнштейна 278