



ACADEMIE DES SCIENCES DE L'URSS

B. KOUZNETSOV
J. POGREBYSSKI

**LA SCIENCE
FRANÇAISE
ET
LA PHYSIQUE
MODERNE**

Moscou, 1967

А К А Д Е М И Я Н А У К С С С Р

Б. Г. КУЗНЕЦОВ
И. Б. ПОГРЕБЫССКИЙ

**ФРАНЦУЗСКАЯ
НАУКА
И
СОВРЕМЕННАЯ
ФИЗИКА**

И з д а т е л ь с т в о «Н а у к а» . М о с к в а 1 9 6 7

СОДЕРЖАНИЕ

Введение (Б. Г. Кузнецов)	5
Фундаментальная физическая идея Декарта и фундаментальная идея современной физики (Б. Г. Кузнецов)	11
Век Разума (И. Б. Погребысский)	34
Анри Пуанкаре (И. Б. Погребысский)	57
Классические и неклассические тенденции в волновой механике де Броиля (Б. Г. Кузнецов)	63

■

TABLE DES MATIÈRES

Introduction (B. Kouznetsov)	5
L'idée fondamentale de la physique de Descartes et l'idée fondamentale de la physique moderne (B. Kouznetsov)	11
L'âge de la Raison (J. Pogrebysski)	34
Henri Poincaré (J. Pogrebysski)	57
Les tendances classiques et non-classiques dans la mecanique ondulatoire de Louis de Broglie (B. Kouznetsov)	63

ВВЕДЕНИЕ

Вклад французской науки в современную физику не может быть в полной мере определен, не может быть выделен из того, что называют этим именем — современной физикой. Все содержание последней — математические приемы, теоретические конструкции, экспериментальные данные — нельзя изложить без ссылок на эксперименты и физические идеи, сделанные и высказанные во Франции, без математических понятий, появившихся в работах ряда таких мыслителей, как Лагранж и Пуанкаре, — ряда, который, впрочем, не называется именем Лагранжа и не кончается именем Пуанкаре. Если из современного курса физики вырвать страницы, на которых упоминается лагранжиан, де-бройлевы волны и аналогичные термины, то от курса ничего не останется. По-видимому, такой курс и является описанием неразделимого вклада всех национальных школ в современное учение о пространстве, времени и веществе.

В этой книжке речь идет о другом. Можно предположить, что современная физика, так радикально изменившая стиль научного мышления, позволяет по-новому взглянуть на фундаментальные направления научного прогресса и по-новому оценить идеи, которые кажутся характерными для французской научной мысли. Разумеется, в этой книжке такая задача в целом тоже не ставится. Однако именно она определяет направление научных интересов, отразившихся в нескольких, помещенных здесь очерках. Авторам очерков хотелось на небольшом числе примеров проиллюстрировать

если не связь исторической оценки французской науки с современной физикой, то по крайней мере возможность такой связи, возможность некоторой новой трактовки прошлого в свете современных тенденций физики.

Среди этих тенденций, среди противоречивых и далеко не однозначных теоретических конструкций нашего времени можно все же отыскать сравнительно общую линию развития. С ней сопоставлен очень широкий, включающий в свою очередь противоречивые течения, общий поток научной мысли, характерный для французской физики и математики XVII—XIX вв. и начала нашего столетия.

В чем же наиболее характерная черта этого потока?

Начиная с XIV в. антиаристотелевская традиция в европейской мысли дает в числе других своих плодов подтвержденные дальнейшим научным прогрессом физические выводы, т. е. выводы, которые в принципе могли получить экспериментальную проверку, получили ее и относились не к частным задачам, а к основам физической картины мира. Парижские номиналисты были наиболее яркими средневековыми предшественниками дифференциального представления движения. Это понятие будет рассмотрено в очерке, посвященном фундаментальной физической идее Декарта, и здесь можно ограничиться самым беглым пояснением. Перипатетическая картина мира была статической схемой бытия, в которой движение — по крайней мере в подлунном мире — рассматривалось как переход из одного состояния в другое, отделенное от первого конечным временем и конечным расстоянием. Такое интегральное представление сменилось у Галилея, Кеплера, Декарта и Ньютона другим, дифференциальным представлением, анализом движения в бесконечно малых пространственных и временных интервалах, от точки к точке и от мгновения к мгновению. Поведение физических объектов отныне описывается дифференциальными по своему существу законами, а с момента, когда новое представление обрело адекватную логико-математическую форму, — дифференциальными уравнениями. Эти уравнения могут быть выведены одно из другого логическим анализом. Такая возможность сделала рационализм наукой. Разум оказался способным познать природу, и такое расширение его

претензий и возможностей вызвало резкое изменение стиля человеческого мышления. Под ударом оказалась не только провиденциальная концепция природы. Поновому был поставлен вопрос о чувственно-эмпирических и логических компонентах познания. Обе эти компоненты, в той или иной форме, в той или иной мере, прямо или косвенно, были противопоставлены провиденциализму. Они, как мы увидим, не могли быть полностью отделены одна от другой, иначе им угрожала потеря физического смысла. Но это не мешало возникновению и развитию двух течений — эмпирического, которое было сформулировано, в частности, в известном девизе Лондонского королевского общества — «Nullius in verba», и рационалистического. Последнее не отрывалось от сенсуалистического, эмпирического, экспериментального заполнения логических конструкций. Оно примыкало к номиналистической традиции и именно поэтому было *физическими* течением.

Здесь можно сказать несколько слов — также предварительных — о значении связи между логикой и экспериментом в рационализме XVII—XVIII вв. в свете современной науки. Последняя устами Эйнштейна провозгласила необходимость двух критерии для выбора физической теории — ее согласованности с чувственными восприятиями и ее логической стройности. Физика второй половины XX столетия постоянно подтверждает важность такого двуединого критерия. Если же взять его в качестве исходного пункта исторической ретроспекции, то нам становятся отчетливей видны содержание и корни рационализма XVII—XVIII вв., в частности его связь с развитием французской научной мысли.

Одной из особенностей исторического процесса в XVII—XVIII вв. во Франции было сравнительно бескомпромиссное развитие рационализма, противопоставившего себя традиционным взглядам. Здесь можно ограничиться лишь намеком на социальные корни такой позиции французских рационалистов. И английская революция XVII в. и французская революция XVIII в. были интернациональными и по своим результатам и по общим истокам¹. Но каждая из них отразила особенности в одном случае Англии, в другом — Франции, и это в

¹ См. К. Маркс, Ф. Энгельс. Сочинения, т. 6. М., 1957, стр. 115.

значительной мере относится к месту научной мысли в подготовке двух революций, положивших начало новому обществу в Европе. Английская революция прошла под знаменем религии, и рационалистические выводы из механики Ньютона были сделаны во Франции, где подготавливалась гораздо более радикальная революция в общественных отношениях и уже происходило гораздо более радикальное преобразование общественной мысли. Какими бы схематическими ни казались эти замечания без конкретной исторической расшифровки, мы не будем углубляться в нее и заметим только, что для Франции больше, чем для других стран Европы, характерно то, что можно было бы назвать *воинствующим рационализмом*. Возникновение воинствующего и относительно бескомпромиссного рационалистического мировоззрения характерно не только для Франции. В сущности, трагедия Гамлета — наиболее общее и впечатляющее выражение интеллектуальных коллизий Возрождения и нового времени — представляет собой переход от средневековой мысли, которая любуется стройностью своих конструкций, к мысли нового времени, которая хочет воплотиться в гармонический идеал бытия и сталкивается с трагическими трудностями такого воплощения. Французская наука не была единственной базой рационализма, претендовавшего на реальный, онтологический смысл своих выводов. Такой рационализм существовал и в других странах. Но во Франции потенциал этой тенденции был выше и поэтому она распространялась из Франции в другие страны.

Нельзя думать, что во французской науке XVII—XVIII вв. не было компромиссов. Они были, но они состояли главным образом во внешних теологических привесках, во внешних оговорках об условности выдвинутых физических картин, в эзоповом языке. Но содержание рационалистических идей, которые шли из Франции, представляло собой новую схему мироздания — рациональную схему, построенную строго логически и претендовавшую на *однозначный* характер.

Идея однозначности новой схемы мироздания делала эту схему по существу бескомпромиссной. Средневековые мыслители — далеко, впрочем, не все — говорили о неоднозначности физических схем, об одинаковой ценности схем, противоречащих одна другой, об однознач-

ности лишь абсолютной истины Откровения. Напротив, Декарт (несмотря на оговорки о «романе природы», несмотря на явную неоднозначность частных объяснений) придавал кинетической схеме мироздания однозначный, единственно истинный смысл.

Однозначность выводов рационалистической мысли связана с ее эмпирической компонентой. Если из науки ушла абсолютная истина Откровения, значит критерием однозначности становится эмпирическая проверка. В царстве чистой мысли, лишенной эмпирических проверок, научные концепции лишены «непроницаемости», они не выталкивают одна другую, они могут сосуществовать, обладая одинаковой логической стройностью. Но сенсуалистическая компонента — возможность эмпирической проверки логических выводов — придает рационалистическим схемам однозначность. Последняя согласуется с бескомпромиссным по существу характером рационализма.

Заметим (позже придется к этому не раз вернуться), что экспериментальная проверка требует некоторого ограничения чисто рационалистической строгости, точности и достоверности суждений. Квантовая механика довела это требование до явного вида. Л. Розенфельд, разъясняя смысл понятия классического объекта, к которому нельзя применить квантово-атомистическую детализацию, привел следующую забавную историю, взятую из датской литературы. Один лицензиат, готовя диссертацию, не мог остановиться в безудержном стремлении к абсолютно исчерпывающей точности и строгости предварительных исследований. Он долго занимался проблемой затачивания перьев при переносе идей на бумагу, для этого должен был исчерпать проблему выбора камня для затачивания перьев, и в конце концов в его комнатае оказалась большая минералогическая коллекция и ни одной страницы задуманного труда. Чтобы проверять, экспериментировать, действовать, нужно где-то остановиться в логической рефлексии. В сущности трагическим прообразом комической истории датского лицензиата была история датского принца, у которого безостановочная работа мысли мешала ее воплощению.

Разумеется, только *после* квантовой механики можно всерьез взглянуться в ее исторические прообразы, вернее, увидеть эти прообразы в рационалистической

мысли XVII—XVIII вв. Но этого мало. Только после появления теории относительности и квантовой механики можно увидеть неотделимость рационализма как основы развития классической науки от сенсуалистической и по существу экспериментальной традиции.

Такая ретроспективная переоценка ценностей с позиций современной физики позволяет точнее ответить на вопрос: что дала Франция мировой науке и культуре. Это один из важных вопросов научной и культурной историографии. Последняя накопила немало ответов, которые не исчерпывают — и в будущем не исчерпают — вопросы, но все точнее рисуют наиболее важные характерные черты вклада, о котором идет речь. Как уже говорилось, в этой книжке авторы не столько пытались внести в серию ответов дополнительные оттенки, сколько стремились показать значение современной физики для этой непрерывно расширяющейся серии.

Выбор мыслителей, чьи идеи сопоставляются с современной физикой, в некоторой степени субъективен. Некоторые мыслители, внесшие важный вклад в современную физику, здесь не упоминаются, потому что их творчество уже анализировалось в свете позднейших концепций. В творчестве Декарта, Лагранжа, Даламбера, Лапласа, Пуанкаре и де Бройля, по-видимому, можно увидеть нечто новое, если подойти к нему, учитывая физические идеи нашего времени и вместе с тем отыскивая у названных мыслителей модификацию и развитие основной рационалистической идеи, характерной уже для XVII в. Вероятно, квантово-релятивистская ретроспекция позволит по-новому увидеть эту идею в творчестве и других мыслителей нового времени. Но это будет сделано уже в других работах.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ ИДЕЯ ДЕКАРТА И ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ИДЕЯ СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКИ

Если рассматривать картезианскую физику в свете современной науки и искать в мировоззрении Декарта вопросы, адресованные будущему, то можно прийти к некоторому новому представлению о фундаментальной физической идее французского мыслителя. Стало почти трюизмом представление о геометризации физики, об отождествлении пространства и вещества, места и тела как об исходной идее физики Декарта. Этот трюизм, как и каждый, оказывается недостаточным, когда мы переходим к более сложным связям и опосредствованиям рассматриваемого объекта.

Рассматривать прошлое науки в свете современных концепций, это значит прежде всего обращать внимание на апории, противоречия, трудности, которые лежали в основном фарватере науки, в свое время не были разрешены, стали частью наследства, полученного последующими периодами, и толкали науку вперед. Анализ этой — «вопрошающей» — компоненты научного прогресса позволяет отчетливей увидеть и «отвечающую» компоненту — выводы науки, которые входят в ее исторически инвариантное содержание.

Является ли геометризация физики такой «вопрошающей» компонентой учения Декарта, содержит ли она нерешенную апорию, нерешенный, адресованный будущему вопрос? Постараемся показать, что геометризация физики приводит к такой апории, к такому вопросу. Постараемся также показать, что геометризация физики не могла стать физической в собственном смысле идей без дополнительной по отношению к ней, противоположной тенденции, без наделения материи негеометрическими свойствами.

Декарт писал: «Вся моя физика — это только геометрия»¹. Подобных заявлений — множество. Они еще не содержат основной апории механической картины мира, но прямо ведут к ней.

Упомянутая апория состоит в следующем. В древности в природе видели качественное многообразие: пространственное качественное многообразие (одно тело отличается от других, и прежде всего от окружающих тел, субстанциальными качественными свойствами) и временное качественное многообразие (эволюция мира и эволюция каждой его части состоит в смене качественных свойств). Аристотель придал качественный характер даже пространственным свойствам — положению тел (они находятся в «естественных» либо в качественно отличных от последних, «неестественных» местах).

Античная атомистика была первой систематической попыткой свести качественные различия тел к пространственным свойствам составляющих эти тела бескачественных частиц, к числу, величине и форме атомов. Здесь и возникла фундаментальная апория. Демокрит разделил реальность на «бытие» (бескачественная материя) и «небытие» (пустое пространство). Но чем отличается первое от второго?

Эволюция механической картины мира — это ряд последовательных попыток найти подобное отличие. В частности, такой попыткой был переход от кинетического представления Декарта к динамическому представлению Лейбница и Ньютона.

Пространственный *незаполненный* объем обладает теми же предикатами, что и заполненный объем, т. е. тело. Каким же образом можно отличить тело от занятого им места? Декарт отвечает на этот вопрос вполне определенным образом. Тело и его место неотличимы. Это не феноменологическая, а субстанциальная невозможность различения тела и места. Различие не прячется от наблюдателя, а действительно не существует. Тело и место, материя и пространство тождественны.

Для физики Декарта характерно *физическое* представление о феноменологических и субстанциальных свойствах; это представление и превращает его концепцию пространства, вещества и движения в физику, отли-

¹ R. Descartes. Oeuvres. Ed. Adam et Tannery, v. II, p. 267.

чающуюся от метафизики, в частности от метафизики самого Декарта. Он следовал номиналистической традиции и продвинулся далеко вперед по сравнению с парижскими номиналистами, подготавливавшими за триста лет до Декарта переход от метафизики к физике. Традиция состояла в присвоении предиката реальности чувственно воспринимаемым объектам, и это, как уже говорилось во вводном очерке, было одним из истоков онтологического рационализма XVII в. Переход от метафизики к физике состоял в оперировании понятиями, которые обладают такими эмпирически постижимыми, вернее экспериментально постижимыми эквивалентами.

Декарт доказывал тождество материи и пространства чисто логическим путем: он отбрасывал твердость, вес, окраску, температуру и т. д. и приходил к выводу, что существование тела при этом сохраняется. Значит, оно состоит лишь в протяженности, исчезновение которой было бы исчезновением тела. На первый взгляд перед нами манипулирование понятиями, раскрывающее их логический объем, логическое содержание. Цепь рассуждений, доказывающих тождество материи и пространства, заканчивается утверждением: в идее тела содержится только трехмерная протяженность, в идее пространства — тоже только трехмерная протяженность; следовательно, тело и пространственный объем — место тела — идентичные понятия. Но в чем состоит цепь рассуждений? Декарт выбрасывает вес тела из числа субстанциальных свойств, потому что огонь — несомненное тело — не имеет, по мнению Декарта, веса. Твердость как субстанциальное свойство отбрасывается со ссылкой на дробимость тел, цвет — со ссылкой на прозрачность. Во всех случаях мы встречаем ссылки на эмпирически постижимые факты.

Эта *физическая* (характерная и даже определяющая для физики, отделившейся от метафизики) тенденция ни в коем случае не приближает Декарта к феноменализму. Декарт не отождествляет субстанциальное бытие с эмпирической постижимостью. Он видит доказательство и следствие субстанциального бытия в *принципиальной* эмпирической постижимости. Тело существует независимо от постижения, от наблюдения, от эксперимента. Но это независимое существование становится объектом физического анализа, если оно в принципе может стать

предметом экспериментального изучения, если *могут* появиться условия, при которых поведение тела проявляется в наблюдаемых явлениях. Именно поэтому у Декарта фигурируют в качестве логических доказательств мысленные эксперименты. Орудием познания остается мысль, обходящаяся пока без реальных экспериментов, но оперирующая принципиально возможными экспериментами.

В этих экспериментах некоторые свойства тел *перестают* быть в принципе наблюдаемыми — к ним относятся твердость, вес, цвет и т. д., — и Декарт выводит не-субстанциальный характер этих свойств. Но не следует ли применить критерий принципиальной эмпирической постижимости, специфический *физический* критерий, к пространственным свойствам тела, к его величине и форме?

Декарт задавал себе такой вопрос. Он хотел представить пространственные свойства тел в качестве экспериментально постижимых свойств. Мы сейчас увидим, каким образом он решил эту задачу.

Тело не может быть индивидуализировано, если оно не отличается от окружающих тел или от окружающего пространства (для Декарта это одно и то же). Интуитивное представление о теле, идентичном месту, идентичном пространственному объему, окружает этот объем некоторой пленкой, вырезывающей его из окружающей среды. Но для Декарта такая интуиция неприемлема так же, как интуитивное допущение качественной разницы между телом и средой. Как же индивидуализируется тело? В физике Декарта оно индивидуализируется движением. Если данный объем пространства движется иначе, чем окружающее пространство, то Декарт считает возможным индивидуализировать этот объем, считать его телом, а окружающее пространство — другими телами. Отсюда следует, что движение, индивидуализирующее тело, — это относительное движение, движение по отношению к соприкасающимся с ним соседним телам.

Именно такое движение Декарт назвал «движением в собственном смысле» (*le mouvement proprement dit*). Без этого движения тело не существует. Ядро ореха не существует, если оно не смещается относительно скорлупы. Напротив, «движение в обычном смысле» (*le*

movement pris selon l'usage commun») может быть отнесено к любым телам отсчета.

Разумеется, проблема не решается взаимным смещением пространственных объемов. Не решается *физики*: движение одного пространственного объема по отношению к другому пространственному объему в *принципе* не может быть эмпирически постижимо, в *принципе* не может быть зарегистрировано экспериментально, если эти объемы обладают только пространственными свойствами.

Физическое решение проблемы состоит в непроницаемости тел, которая отличает их от частей пространства. Но это решение, приобретавшее весьма различные формы с древности до наших дней (эволюция понятия непроницаемости далеко не завершена), не было решением Декарта. В картезианской физике непроницаемость не отделяет тела от пространства. Напротив, она распространяется на пространство и придает тождеству пространства и вещества физическую форму: та и другая части тождества характеризуются идентичным физическим свойством непроницаемости.

Картезианская точка зрения на пространство выражена замечанием Пьера Режи: нельзя прибавить кубический дюйм к кубическому дюйму, не получив двух кубических дюймов. Это геометрическая истина, здесь речь идет о сложении пространственных объемов. Но в данном случае геометрическая истина может быть проверена экспериментом: соединив тело объемом в кубический дюйм с другим телом того же объема, мы получаем тело, которое при измерении оказывается обладающим объемом в два кубических дюйма. Геометрические соотношения описывают соотношения реальных тел, но некоторые из них могут быть проверены эмпирически и обладать непосредственным физическим смыслом, а другие выражают более высокую степень абстракции. В этом отношении сложение объемов, о котором говорит Режи, и конгруентность геометрических фигур принадлежат к двум различным геометрическим аспектам.

Если один кубический дюйм в сумме с одним кубическим дюймом всегда дают два кубических дюйма, то эти складывающиеся объемы, очевидно, не совпадают ни в целом, ни частично и являются геометрическим описанием двух непроницаемых тел. Напротив, перенос одно-

го кубического дюйма и его наложение на другой кубический дюйм, т. е. операция, которая из двух равных объемов дает один объем, один кубический дюйм, исключает непроницаемость этих объемов. Если Декарт приписывает геометрии непроницаемость объектов и отождествляет такую непроницаемость с непроницаемостью тел, то он тем самым не только геометризирует физику, но и физикализирует геометрию. Он превращает тела в пространственные объемы, но последние обладают непроницаемостью, т. е. уже превращены в тела. Конгруэнция освобождает геометрические объекты от физических прообразов, расширяет возможность геометрических операций, позволяет отождествлять любой куб, шар, треугольник, отрезок с любым другим кубом, шаром, треугольником или отрезком той же величины. Напротив, ограничение связи двух объемов их соприкосновением и суммированием привязывает геометрические объекты к их физическим прообразам. Геометрические объекты, которым приписана конгруентность, тождественны друг другу. Геометрические объекты, о которых говорил Режи, тождественны каждый самому себе, и только самому себе. Они обладают *себетождественностью*.

Понятие себетождественности отделяет физику от геометрии и геометрическое сложение объемов от физического контакта тел. Когда речь идет о двух кубических дюймах Пьера Режи, их присоединение один к другому, дающее в сумме два кубических дюйма, основано на конгруентности двух дюймовых кубиков, без этого само понятие кубического дюйма теряет смысл. Если картезианская концепция утверждает, что два единичных кубика *всегда* дают двойной объем, значит речь идет не о геометрическом сложении, а о контакте непроницаемых тел. Именно это и сделал Декарт. Он ввел непроницаемость и себетождественность объектов в геометрию, он присвоил эти свойства пространственным объемам. Такая операция, как уже сказано, означала не только геометризацию физики, но и физикализацию геометрии. Геометрия рассматривает идеализированные, чисто пространственные свойства тел, отвлекаясь от иных. Декарт отрицает эти иные свойства, он приписывает телам только пространственные свойства и, как ему кажется, превращает физику в геометрию.

Но может ли такая превращенная в геометрию физика оперировать объектами, обладающими физическим бытием? Могут ли объемы пространства фигурировать в собственно физических конструкциях?

Для ответа на этот вопрос нужно вернуться к понятиям физического бытия и физического объекта. Физический объект обладает эвентуальной или реальной возможностью экспериментального обнаружения. Физическое бытие и состоит в принципиальной возможности экспериментального обнаружения. Принципиальная возможность эксперимента не требует экспериментатора, она является чисто объективной характеристикой. Ее можно выразить с помощью чисто объективных понятий. Физический объект (в противоположность геометрическому) воздействует на другие объекты, он участвует во взаимодействии, делающем природу единым целым, связанным каузальной гармонией.

Понятия, с помощью которых Декарт, стремясь геометризировать физику, физикализировал геометрию, выражают взаимодействие тел. Непроницаемость тела выражается — теперь мы это знаем — в действии и противодействии тел, т. е. в силах их взаимодействия. Себетождественность тела выражается в закономерном изменении его предикатов, мы можем «узнать» тело, утверждать, что перед нами все то же, тождественное себе тело, если его поведение в каждый момент изменяется закономерно, с сохранением тех или иных характеризующих поведение тела величин. Но это закономерное поведение тела включает его воздействие на другие тела. Поведение тела может иметь физический смысл лишь при условии его взаимодействия с другими телами.

Здесь — точка перехода к динамической концепции, к идеям Лейбница и Ньютона. Но эта точка находится на пути Декарта. По-видимому, пора пойти дальше традиционного противопоставления кинетической концепции Декарта и динамической — Лейбница и Ньютона. В одной из своих статей о квантовой электродинамике Фейнман, рассматривая движение позитрона как попутное во времени движение электрона, пишет, что дороги, которые казались различными при наблюдении с земли, представляются одной и той же для летчика, глядящего на них с самолета. В истории мысли встречается иногда аналогичная ситуация. Но в случае кинетической и ди-

намической традиции XVII в. она несколько сложнее. Кинетическая мелодия Декарта имеет динамический аккомпанемент. Мы попробуем сейчас убедиться в существовании такого аккомпанемента.

Сначала об основной мелодии.

Декарт, как и Галилей, рассматривает движение как *состояние* тела, а не как изменение состояния. В трактате «Мир», излагая закон инерции, Декарт говорит: «Каждая часть материи продолжает находиться в том же состоянии» («*continue toujours d'estre en un mesme état*»)¹. Каков здесь смысл термина «состояние»?

Уже в ионийских колониях Греции возникла — в качестве одной из самых фундаментальных — проблема неисчезающего субстрата бытия. В сущности она совпадала с проблемой себетождественности. Мир подвержен изменениям, его предикаты преходящи; что же гарантирует продолжающееся существование мира, причем того же самого, тождественного себе мира? По отношению к частям материи — телам — задача решалась неизменными качественными предикатами (высшая форма — стихии Аристотеля), по отношению к Вселенной — неизменной статической схемой, например перипатетической схемой естественных мест. В античной атомистике субстратом мира и тел были неизменные по форме и по числу частицы.

Великим переломом в истории этой проблемы был переход к неизменным предикатам *движения* как гарантии существования себетождественных тел. Тело остается тождественным самому себе, оно продолжает существовать не *несмотря* на изменение своего положения, а именно в силу такого изменения, которое оказывается, таким образом, неизменным *состоянием*. Именно в его неизменности и состоит картезианская гарантия себетождественности тела.

Вернемся к проблеме физического и геометрического тела. Теперь речь идет о геометрическом и физическом понимании движения. Декарт хочет приблизить движение тела к движению в геометрическом смысле: тело — это пространственный объем, и движение его не отличается от «движения», о котором говорят в геометрии: движение точки образует линию, движение последней

¹ R. Descartes. Oeuvres. Éd. Adam et Tanneguy, v. XI, p. 38.

образует поверхность, движение поверхности — геометрическое тело¹. Но движение тела выходит за рамки геометрии, если сама геометрия не физикализируется, не включает понятий непроницаемости и себетождественности тела. А такое включение требует динамических понятий, динамического аккомпанемента кинетической мелодии.

В этом вопросе Декарт далек от застывшей логически последовательной концепции. В работе Александра Койре о картезианской и галилеевской теории падения тел прослежены колебания Декарта между геометрической и собственно физической точками зрения в теории падения². Кинетическая мелодия уводит Декарта в сферу чисто пространственной, геометрической концепции *impetus*'а. Напротив, динамический аккомпанемент влечет его к картине взаимодействия тел. Физика Декарта исходит из неявной предпосылки: реальные физические объекты находятся между собой в непрерывном взаимодействии. Но в этом и состоит различие между телами и геометрическими объемами, различие, которое приобрело более отчетливый вид в динамической картине мира. Во всяком случае, мы находим у Декарта зачаточную форму очень важной идеи — представления о неразрывной связи между *бытием* тела и его взаимодействием с другими телами.

В сущности уже первое разграничение бытия и небытия как физических реальностей включало представление о взаимодействии тел, обладающих бытием. Когда Демокрит разделил физические реальности на бытие (атомы) и небытие (пустое пространство), то ему трудно было сказать, чем отличается вещество от пустого пространства, — оно как будто стало гомогенным и потеряло все предикаты, кроме пространственных. Но оно потеряло не все качественные предикаты. Пространство, заполненное материей, т. е. тело, отличается от пустого, незаполненного пространства способностью воздействовать на другие тела и претерпевать их воздействие. С тех пор механическое представление о природе определяет ударом как универсальной формой взаимодействия тел. Когда Декарт заполнил пространство веществом

¹ См.: A. Coutré. La loi de la chute des corps Descartes et Galilée. Paris, 1939, p. 49 (далее — К отр. с указанием страницы).

² К отр., р. 41—53.

ством, устранив пустоту из картины мира, понятия «физическая реальность» и «бытие» стали синонимами, а соударения тел — это первая форма взаимодействия — основным предикатом физической реальности. В этом и состоит картезианская форма «принципа бытия», играющего существенную роль в современной физике.

С этой точки зрения следует оценивать картезианскую концепцию движения по инерции. Прямолинейное движение тел Декарт называет «склонностью, которую они имеют к движению, но отличающейся от движения». У Декарта еще нет сложения инерционной «склонности» со «склонностью» — результатом центростремительной силы, но до этой идеи Лейбница и Ньютона уже недалеко. Важно подчеркнуть, что такое сложение ввело в динамический мир Ньютона силы, которые не объясняются взаимодействием тел, и это было поводом для выходящей за пределы такого объяснения концепции абсолютного пространства. Но у Декарта инерционная «склонность» не суммируется с действием внешней силы, она не реализуется благодаря такому воздействию. В этом смысле Декарт больше ньютонианец, чем сам Ньютон. В самом деле, идеалом классической науки (тем, что Эйнштейн назвал «программой Ньютона») была схема динамических эффектов, полностью объясняемых взаимодействием тел. Центробежные силы, объяснение которых апеллировало не к взаимодействию тел, а к существованию абсолютного пространства, выходило за рамки этого идеала, этой программы. У Декарта такого нарушения классического идеала нет, картезианская физика, космология и космогония — это картина вихрей, криволинейных движений, обязанных взаимодействию.

«Близкодейственный» характер картезианской концепции импульсов устраняет из картины мира абсолютное пространство. У Ньютона нерасшифрованное феноменологическое понимание сил позволяло включить в их число фиктивные, т. е. не связанные с взаимодействием, силы инерции. У Декарта нет фиктивных сил — проявлений абсолютного движения. В рамках картезианской картины мира все движения определяются взаимодействием тел и носят относительный характер.

Что же касается движения по инерции, то оно сведено к «склонности». Это нисколько не умаляет истори-

Действительно, такое представление открывает геометрии путь в онтологическую область. Но если движущаяся частица не имеет других предикатов, кроме пребывания в пространственной точке, картина движения теряет физический характер, траектория *ничем* не отличается от любой линии как бесконечного множества точек. Дифференциальное представление — это такое представление, когда в каждой точке траектории что-то происходит, и это «что-то» не сводится к пространственной локализации движущихся тел.

Представление движения стало у Декарта дифференциальным представлением, потому что движущееся тело в каждом своем положении, например частица в каждой точке своей траектории, стремится двигаться прямолинейно, но прямолинейное движение стягивается в точку, что и является физическим прообразом дифференциальной схемы. Оно стягивается в точку потому, что взаимодействие тел увлекает каждое из них в вихревое движение. Чисто геометрический взгляд приписывает телу прямолинейную эвентуальную траекторию; учет изменения скорости, например вихревого искривления траектории, «физикализирует» картину движения. Пока нет ускорения, нет особой нужды рассматривать движение от точки к точке и от мгновения к мгновению. Напротив, когда налицо ускорение, мы уже не можем гарантировать идентичность поведения частицы во всех точках; в них, вообще говоря, происходят события, а неизменная скорость оказывается частным случаем более общей, динамической картины.

Мы видим, что столь важная историческая функция картезианства, как подготовка дифференциального представления, связана с тем, что было названо динамическим аккомпанементом картезианской кинетической физики.

В свое время историческую миссию картезианства видели в том, что ее отделяет от позднейших, динамических представлений. Но сейчас мы можем правильнее и точнее определить эту миссию. Она оказалась частью единой дороги. Мы снова вернулись к этому фейнмановскому образу. Чтобы еще отчетливее увидеть непрерывную линию, идущую от Декарта к классической, и далее — к неклассической физике, следует остановиться на понятии времени в картезианской концепции движения.

Одно из самых существенных, с точки зрения современной физики, утверждений Декарта — это мгновенная передача импульсов. Импульсы передаются отдаленным телам через промежуточные тела, образующие как бы абсолютно жесткий стержень между взаимодействующими телами. Такое утверждение Декарта начинает традицию научной мысли, не менее важную с современной точки зрения, чем идея действия на расстоянии. У Ньютона силовые действия через пустоту были новой формой жестких стержней Декарта. Идея действия на расстоянии через пустоту была разрушена теорией поля как физической реальности — в последнем счете теорией Максвелла. Идея мгновенного взаимодействия была отброшена Эйнштейном.

А. Койре считает некоторые ошибочные представления Декарта, например закон падения тел, результатом устранения времени. Такое устранение выражается не только в мгновенной передаче импульса, но и в общей тенденции геометризации физики¹. Это действительно так. Но следует отметить характерное обстоятельство: в физике Декарта, в ее основных утверждениях, сказывалась геометризация движения и устранение времени, а в геометрии Декарта *implicite* присутствует время, превращающее пространство в движущуюся материю.

В «Геометрии» Декарта в качестве примера переменной величины рассматривается ордината. Речь идет не о множестве ординат, а об одной, тождественной себе (в нетривиальном смысле, т. е. обладающей различными пространственными предикатами), ординате, иначе говоря о *движущейся* ординате. Что позволяет ввести в математику понятия движения и себетождественности?

Мы можем утверждать, что перед нами та же самая ордината, а не другая, нетождественная ей, если различия в величине ординаты связаны с различиями в значениях абсцисс непрерывно действующим законом — уравнением кривой. Это не каузальный, не физический закон; вопрос о «бытии», об экспериментальной проверке уравнения, связывающего ординату с абсциссой, — бессмысленный вопрос, пока мы не знаем, какие физические объекты скрываются под этими абстрактными, геометрическими переменными. Такими объектами могут быть реальные расстояния между телами, т. е. те предикаты,

¹ К о у г ё, р. 11—54.

ческой роли картезианской концепции прямолинейного движения по инерции. У Ньютона прямолинейное движение — компонента результирующего, у Декарта прямолинейное движение — это самое простое движение (оно не требует для своего определения учета внешних воздействий), существующее лишь эвентуально и преодолеваемое взаимодействием тел, которое увлекает каждое тело в вихревое движение. Но понятие эвентуального движения сохраняется и в ньютоновой механике. В ней движение под действием силы и движение по инерции реализуются в результирующем движении, но каждая составляющая в чистом виде существует лишь эвентуально.

Картезианская «склонность» к движению — это первоначальная форма *дифференциального представления движения*, т. е. концепции пространства как непрерывного ряда точек и времени как непрерывного ряда мгновений. У Аристотеля и во всей перипатетической физике не было такого представления. Для перипатетиков движение происходит из «чего-то» во «что-то», например, движение тяжелого тела из начального положения, на некоторой высоте над землей, к «естественному» месту. Промежуточные состояния движения не рассматриваются. Кеплер отчетливо определил различие между перипатетической, интегральной концепцией движения и новым, свойственным XVII столетию дифференциальным представлением. Характеризуя свою точку зрения, ее отличие от перипатетической, Кеплер указывал на бесконечное число промежуточных состояний, посредствующих звеньев. «Там, где Аристотель,— пишет он,— видит между двумя вещами прямую противоположность, лишенную посредствующих звеньев, там я, философски рассматривая геометрию, нахожу опосредствованную противоположность, так что там, где у Аристотеля один термин „иное“, у меня два термина „более“ и „менее“»¹.

На первый взгляд дифференциальное представление, т. е. представление о бесконечном числе точек, позволяющем перейти от качественного представления к *мере*, это чисто количественное представление. Кеплер связывает его с «философским рассмотрением геометрии».

¹ J. Keppler. Opera omnia, t. I. Frankfurt, 1858, p. 423.

которые атомистика приписывала и реальному «бытию» — веществу, и реальному «небытию» — пустому пространству между телами. Но в мире таких статических прообразов геометрии нет ничего, что бы соответствовало понятию нетривиально себетождественного объекта, т. е. объекта, остающегося тождественным самому себе при изменении некоторых предикатов, например положения. Столь существенное для геометрии понятие, как *движение* точки, линии, поверхности, объема, скрывает за собой реальное движение, подчиненное законам, включающим время, — каузальным законам. Если геометризация физики была началом колоссальной по значению тенденции — создания количественно-математической классической физики, то физикализирующая геометрию тенденция Декарта была вопросом, ответ на который был дан неклассической физикой. Об этом будет сказано позже.

Физическая, включающая время в пространственно-геометрическую схему, тенденция Декарта не выводила картезианскую физику за пределы рационализма. Динамический аккомпанемент кинетической физики, учет взаимодействий тел, выход за рамки геометрических соотношений — все это вело физику к эксперименту. Но все это тем не менее не грозило построению физической картины мира с помощью логико-математической дедукции (отметим попутно, что такая дедукция у Декарта, как и у Галилея, еще не была математическим анализом, она лишь открывала ему дорогу в физику). Рационализм остался незыблемым. Онтологическая тенденция и сенсуалистические мотивы не ограничивали его. Более того, расширяли.

Последнее утверждение требует пояснений. Здесь имеется в виду следующее.

Если не учитывать динамический аккомпанемент кинетической по своей основной мелодии физики Декарта, то последняя была ограничена *поведением* тел. Существование тел было исходным понятием, которое обосновывалось не в физике, а в метафизике. Динамический взгляд на тела находит в них нечто несводимое к «кардезианскому» поведению, т. е. к взаимному смещению. Здесь точка ухода в сторону — к представлению о непространственной природе силы. Но здесь же — прямая тенденция, прямой путь к идее пространственного, но не

картезианского, не сводимого к простому смещению, бытия тел. Она содержалась в философии Спинозы, и сейчас в свете современного учения о взаимодействии (особенно в свете концепции «самодействия») представляется наиболее близкой современной физике тенденцией. Об этом речь дальше. Сейчас отметим только, что идея взаимодействия как отличия вещества от пространства, как отличия бытия от поведения, как отличия тела от его места и движения тела от его траектории, эта идея взаимодействия была расширением рационализма, включением в область рационалистического анализа не только поведения тел, но и их бытия.

Включением динамических определений в объект-рационалистического исследования делает этот объект экспериментально постижимым. Тело, которое обладает не только траекторией, но и способностью взаимодействия с другими телами, становится объектом экспериментального рационализма. Этот термин был бы искусственным применительно к XVII в., если бы мы не рассматривали в этом веке наряду с его достижениями, его позитивными ответами также его апория, его адресованные будущему вопросы.

О каком вопросе идет речь? Какая апория содержалась в том, что мы назвали экспериментальным рационализмом? Для ответа на этот вопрос нам нужно рассмотреть «трек» указанной тенденции, подобно тому, как физики определяют тип образовавшейся при распаде новой частицы по ее дальнейшему пути, по следу, который она оставляет в эмульсии. Апория логического и экспериментального постижения мира стала в физике XX в. одной из основных, причем приобрела явный характер. В частности, она была явным истоком теории относительности. Эйнштейн говорил, что физическая теория должна обладать «внешним оправданием» (быть согласована с экспериментом) и «внутренним совершенством», т. е. естественно выведена из возможно более общих посылок. Объединением этих критериев было требование принципиальной возможности экспериментально проверить исходные общие посылки физической картины мира. Из них логически выводятся следствия, подлежащие проверке, но уже в начале логического пути исходные посылки должны обладать, хотя бы интуитивно, представимым физическим смыслом, принципиальной возможностью

эмпирической проверки¹. Теория Лоренца, согласовавшаяся с опытом, была лишена «внутреннего оправдания», была выдвинута *ad hoc*. Эйнштейн вывел следствия, согласованные с опытом Майкельсона и другими эмпирическими данными, потребовав, чтобы исходные посылки теории — понятия пространства, времени, эфира, движения в эфире — были в принципе доступны эмпирической проверке.

Началом этого критерия физической содержательности и была собственно физическая тенденция в рационализме XVII в., выразившаяся в методе мысленных экспериментов Галилея и Декарта. По существу это логическое оперирование физически содержательными понятиями, в принципе допускающими экспериментальное постижение. Как уже неоднократно говорилось, экспериментальная постижимость основана на взаимодействии тел, которое позволяет им воздействовать на органы чувств — непосредственно либо через другие тела.

Что же отличает критерий физической содержательности у Декарта и неявный динамический аккомпанемент картезианской физики от аналогичных тенденций в механике Галилея?

Основное состоит в прямолинейном характере движения по инерции, в том, что внес Декарт в исходные понятия классической механики и классической физики. У Галилея предоставленные себе тела — тела, находящиеся на поверхности Земли и участвующие в ее суточном вращении, сама Земля, другие планеты — движутся по круговым орбитам. Галилей отрицал роль тяготения в движении планет; они обращаются по круговым орбитам без физических агентов; такие орбиты характеризуют их неизменное состояние. Подобная концепция, если говорить о ее позднейших эквивалентах, соответствует скорее однородности криволинейного пространства. Когда Декарт ввел понятие прямолинейного движения по инерции и криволинейного движения под влиянием соударения тел, впервые возникло представление о *кривизне траектории* как выражении взаимодействия тел.

Далее Ньютона связал кривизну траекторий с *силами*. Но силы были псевдонимом взаимодействий. Конечно, лишь в идеале; классический идеал механического объ-

¹ А. Эйнштейн. Физика и реальность. М., изд-во «Наука», 1965, стр. 136—140.

яснения природы именно и состоял в представлении о взаимодействиях, скрывавшихся под этим псевдонимом. В «Математических началах натуральной философии» произошел отход от классического идеала: силы инерции были объяснены не взаимодействием тел, а существованием абсолютного пространства. Общая теория относительности была в этом смысле возвратом от механики Ньютона к тому, что Эйнштейн назвал «программой Ньютона», к классическому идеалу науки.

Пожалуй, уже можно перейти к сопоставлению картезианской физики с квантовой физикой. Если известное сближение фундаментальной идеи Декарта — геометризации физики и физикализации геометрии — с теорией относительности кажется сравнительно естественным, то ее сближение с квантовой физикой представляется невозможным или искусственным. Но это впечатление сохраняется лишь до тех пор, пока мы делаем акцент на одной стороне дела, на геометризации физики, и игнорируем ее связь с физикализацией геометрии. Чтобы подчеркнуть их связь, следует предварительно остановиться на «более картезианском» фарватере современной физики — теории относительности.

Теория относительности рассматривает мир как схему мировых линий. Это, казалось бы, идея картезианская в обычном смысле, геометризирующая физику. Но четырехмерные линии, фигурирующие в теории относительности, вовсе не геометрические понятия, а физико-геометрические, т. е. картезианские в более точном смысле. Исходное требование физического понимания, выдвинутое теорией относительности, состоит в том, что координаты тела и измерение этих координат имеют смысл только в том случае, если они привязаны к реальным телами отсчета. Правда, теория относительности игнорирует взаимодействие тела отсчета с телом, у которого измеряются координаты или их производные¹. Теория

¹ В «Творческой автобиографии» Эйнштейн пишет: «Необходимо было составить себе ясное представление о том, что означают в физике пространственные координаты и время некоторого события. Физическое толкование пространственных координат предполагало наличие жесткого тела отсчета (система отсчета), которое к тому же должно находиться в более или менее определенном состоянии движения (инерциальная система). При заданной инерциальной системе координаты означали результаты определенных измерений жесткими (неподвижными) стержнями» (см. А. Эйнштейн. Физика и реальность, стр. 151).

относительности вводит далее представление об измерении времени с помощью часов, которые вместе с пространственным телом отсчета образуют четырехмерное тело отсчета. Оно, как сказано, представляется способным определять пространственно-временную локализацию данного тела без взаимодействия, вызывающего изменения во взаимодействующих телах. Но Эйнштейн прекрасно понимал условность такого представления. В одном из писем к Морису Соловину Эйнштейн говорит, что тела, с помощью которых измеряют предметы, влияют на их размеры, и по этому поводу заключает: «Если не грешить против разума, нельзя вообще ни к чему прийти»¹.

В этой фразе содержится не ограничение рационализма, а его новая форма: классические рационалистические схемы реализуются, если некоторые тела освободить от детализации, учитывающей влияние взаимодействия при измерении. Что касается теории относительности, Эйнштейн отдавал себе полный отчет в том «грехе против разума», который заключен в постулате тела отсчета с абсолютно гарантированной пространственной и времененной градуировкой.

Такая гарантированная градуировка тел отсчета вытекает из игнорирования микроскопической структуры этих тел. В «Творческой автобиографии» Эйнштейн пишет:

«Сделаем теперь критическое замечание о теории в том виде, как она охарактеризована выше. Можно заметить, что теория вводит (помимо четырехмерного пространства) два рода физических предметов, а именно: 1) масштабы и часы, 2) все остальное, например электромагнитное поле, материальную точку и т. д. Это в известном смысле нелогично; собственно говоря, теорию масштабов и часов следовало бы выводить из решения основных уравнений (учитывая, что эти предметы имеют атомную структуру и движутся), а не считать ее независимой от них. Обычный образ действия имеет, однако, свое оправдание, поскольку с самого начала ясна недостаточность принятых постулатов для обоснования теории масштабов и часов»².

¹ A. Einstein. Lettres à Solovine. Paris, 1956, p. 129.

² А. Эйнштейн. Физика и реальность, стр. 153.

Таким образом, «грех против разума» искупается признанием греха, открывающим дорогу к его исправлению. Такая дорога шла в сторону квантовой физики. Последняя на первый взгляд искупает «грех против разума», отказываясь в общем случае от схемы определенных мировых линий. Действительно, согласно принципу неопределенности каждая пространственно-временная локализация частицы означает ее взаимодействие с прибором, регистрирующим положение частицы, и с прибором, регистрирующим время. Такое взаимодействие препятствует точному измерению интенсивности взаимодействия — энергии и импульса частицы. И, наоборот, регистрация этих переменных — взаимодействие с приборами другого типа — препятствует точной локализации. Отсюда следует, что точное определение координат и времени (т. е. мировой точки частицы) не может быть совмещено с точным определением переменной, которой пропорционален импульс частицы — скорости ее (т. е. направления мировой линии в данной мировой точке).

Такая граница точности мировых линий кажется границей объяснения мира с помощью схемы мировых линий, тем самым — разрывом исторической линии, идущей от Декарта в современную науку.

Но присмотримся к вопросу несколько ближе. Квантовая механика — не только отрицание классической механики. Вместе с тем она (беспрецедентная ситуация!) теряет смысл без классических понятий определенного положения, импульса, времени, энергии. В самом деле, квантовая механика не только отрицает понятие мировой линии, но и в некотором смысле открывает ему дорогу в микромир. Волновое уравнение дает для каждой точки и для каждого момента совершенно точное значение вероятности встречи с частицей. Но вероятность связана с переменной, к которой она относится, своеобразной дополнительностью. «Вероятность» — это в данном случае вероятность достоверного события, достоверного пребывания электрона в данной точке в данный момент. В свою очередь, если мы говорим о неопределенном событии, о его вероятности, то значение самой этой вероятности представляется достоверным.

Далее. Мы не просто заменяем значения переменных значениями их вероятностей. Квантовая механика позволяет переходить от значений вероятности таких событий,

как пребывание частицы в данной точке, к самому событию, к достоверному приписыванию частице определенных координат. Правда, она это делает за счет неопределенности импульса. Аналогичным образом за счет неопределенности координат квантовая механика позволяет получать в соответствующей мере достоверную и определенную, однозначную информацию об импульсе частицы.

Такая информация о каждой переменной частицы (за счет сопряженной переменной) не может быть получена без тела взаимодействия, например диафрагмы с узким отверстием, через которое проходит частица (при этом взаимодействие делает неопределенным ее импульс, но зато можно получить точные данные о координатах частицы в момент прохождения) или диафрагмы с легко открывающейся дверцей, которой частица передает свой импульс (при этом взаимодействие делает неопределенным положение частицы в момент прохождения, но позволяет узнать ее импульс), и т. п.

Освобождена ли квантовая механика от «греха против разума»? Далеко не в полной мере. Тело взаимодействия называется *классическим объектом*. Классическим потому, что он освобожден от квантовой детализации, от учета поведения составляющих его частиц, которые так же, как и проходящая через диафрагму частица, не обладают в общем случае определенными динамическими переменными. Классическое представление макроскопического тела взаимодействия, игнорирование его микроструктуры, его квантовой микроскопической природы,— оно-то и позволяет распространить классическое понятие на микромир. приписать микрочастицам классические переменные.

Таким образом, квантовая механика не устраниет схему мировых линий и соответственно не противостоит картезианской традиции. Она заполняет каждую мировую линию эвентуальными взаимодействиями частицы с классическими объектами, и эти взаимодействия превращают геометрический четырехмерный образ в физический ценой размывания мировой линии. Процессы квантового взаимодействия (т. е. взаимодействия с классическими объектами) не сводятся к переходу от одной мировой точки к другой. Они придают частице физическое бытие, а мировой линии — физический смысл.

Физическое бытие частицы, может быть, следовало бы назвать некартезианским бытием. Но здесь необходимы две оговорки. Во-первых, такой термин был бы законным, если бы Декарт правильно определил содержание своей фундаментальной физической идеи фразой: «Моя физика — геометрия». Но мы видели, что фундаментальная идея Декарта оставалась физической, что французский мыслитель наделил части пространства, тождественные с веществом, динамическими свойствами. Поэтому выражение «некартезианское бытие» будет правильным, если иметь в виду только первую половину фундаментальной характеристики: геометризация физики — физикализация геометрии.

Но даже если мы учтем эту поправку, то сразу же скажемся перед другим возражением, гораздо более существенным, относящимся не к историко-научным уточнениям, а к существу понятия физического бытия.

Оно, как мы видели, требует, чтобы мировая линия была заполнена «некартезианскими» (пока сохраним этот термин) событиями. Тогда предложение, относящееся к движению, будет иметь не только сказуемое («как движется»), но и подлежащее («что движется»). Но все дело в том, что микроскопические «некартезианские» события не имеют физического смысла без «картизанского» аспекта. Нарушающие определенность мировой линии микроскопические процессы имеют физический смысл в той мере, в какой существует мировая линия.

Это становится ясным, когда физика концентрирует свое внимание на микроскопических и ультрамикроскопических процессах. Такая концентрация внимания характерна для теории элементарных частиц, для физики высоких энергий, для релятивистских квантовых концепций — все эти наименования относятся к одному и тому же направлению физической мысли. Оно переносит на авансцену науки события, которые происходят в ультрамикроскопических пространственно-временных областях с размерами порядка 10^{-13} см и 10^{-24} сек. То, что происходит в этих областях, по-видимому, нельзя описать, пользуясь образом тождественной себе частицы, движущейся от точки к точке и от мгновения к мгновению. Здесь речь идет скорее о возникновении частиц того или иного типа, о процессах, которые объясняют различия между типами частиц, спектр их масс, зарядов и т. д.

Все, что мы знаем об этих ультрамикроскопических процессах, показывает, что их описание не может полностью отбросить макроскопические понятия непрерывного движения тождественных себе частиц. Предположим, что такие движения являются макроскопическим результатом процессов трансмутации частиц в клетках дискретного пространства-времени¹. Но трансмутация — это изменение массы писка, заряда, времени жизни, спина и других свойств, которые выражаются в длине и форме мировой линии частицы. Поэтому дело не только в необходимости учитывать заполнение «картизанского» бытия «некартизанскими» событиями, а в том, что одно из этих понятий теряет смысл без другого. Непрерывные движения в качестве кирпичей мироздания не уступят своей роли элементарным трансмутациям. По-видимому, само понятие «кирпичи мироздания» не соответствует современным тенденциям физики.

Разумеется, схемы дискретного пространства-времени и элементарных трансмутационных актов так же неоднозначны, как и большинство других условных конструкций в теории элементарных частиц. Но каждая из этих конструкций иллюстрирует тенденцию, которая обладает сравнительно достоверным характером: современная физика исходит из дополнительности: 1) схемы мировых линий и 2) заполняющих эти линии «некартизанских» процессов. По-видимому, эта идея является фундаментальной. Она-то и позволяет в исторической ретроспекции увидеть «тонкую структуру» картизанства, не только главную «картизанскую» линию, но и динамическую «некартизанскую» компоненту.

Пользуясь этими понятиями и наименованиями, об условности которых уже шла речь, можно отметить наличие в современной физике некоторой иерархии разделов, все более или, если угодно, все менее «картизанских». Эти разделы посвящены различным полям. Рассмотрим их в порядке убывания «картизанской» компоненты. В наибольшей степени ей соответствует гравитационное поле. Нам почти ничего не известно о его микроструктуре, о гравитонах, о трансмутациях последних.

¹ Б. Г. Кузнецов. Этюды о Эйнштейне. М., изд-во «Наука», 1965, стр. 317—329. — B. Kuznetsov. Complementarity and Relativity. «Philosophy of Science», V, № 3, 1966.

Гравитационное поле успешно геометризовано общей теорией относительности. Но именно здесь, в общей теории относительности, в теории гравитационного поля, раньше всего наметились затруднения, которые могут быть преодолены при выходе за пределы геометризации. Эйнштейн стремился перейти от общей теории относительности как теории тяготения к более общей теории, охватывающей и другие поля, в первую очередь электромагнитное поле. Путь дальнейшей геометризации, поиски более общей, чем риманова, четырехмерной геометрии не привели к теории единого поля. По-видимому, действительный путь идет через включение в теорию процессов, принципиально не сводимых к изменению пространственно-временной локализации частиц.

Эти «некартезианские» (в том же условном смысле) процессы в очень небольшой мере входят в круг электромагнитных явлений (соответственно небольшой величине постоянной Зоммерфельда) и в гораздо большей — в мир ядерных взаимодействий. Быть может, иерархия все более сильных взаимодействий включает ультрасильное взаимодействие, ответственное за элементарные трансмутации в клетках дискретного пространства-времени. На этот вопрос пока еще нельзя получить однозначный ответ. Но что представляется сейчас почти бесспорным, это связь «кардезианского» и «некартезианского» бытия частиц. Даже в том случае, если мы допустим существование элементарных трансмутаций, каждая из последних не будет иметь смысла без представления о мировых линиях: ведь трансмутация, как уже сказано, — это изменение массы, заряда и других свойств, физически постижимых в качестве изменения эвентуальной мировой линии.

Дополнительность «кардезианского» и «некартезианского» бытия — фундаментальная идея современной физики. Если взять ее в качестве исходного пункта исторической ретроспекции, то мы находим в XVII в. ее далекий аналог — дополнительность чисто кинетической картины движений таждественных себе тел и картины взаимодействий, дополнительность геометризирующей и физикализирующей компонент физики Декарта.

ВЕК РАЗУМА

Четырнадцатое «Философское письмо» Вольтера озаглавлено «О Декарте и Ньютоне» и в одном из многочисленных изданий «Философских писем» оно было снабжено таким примечанием: «Когда писалась эта статья, т. е. около 1730 года, более чем через сорок лет после выхода в свет «Начал» (Ньютона), вся Франция была еще картезианской¹. Англия же была ньютонианской. В соответствии с этим письмо начинается знаменитым, не раз цитированным противопоставлением. Французу, попавшему в Лондон, приходится убедиться, что все, относящееся к философии, изрядно изменилось, как, впрочем, и все остальное. Он оставил мир полным, он его находит пустым; «Вселенная в Париже состояла из вихрей тончайшей материи, в Лондоне это отрицается целиком; у нас,— пишет Вольтер,— причина приливов — давление Луны, у англичан — море притягивается Луной; у картезианцев все происходит, благодаря совершенно непонятным импульсам, у Ньютона все происходит, благодаря тяготению, причина которого, впрочем, тоже совершенно неизвестна». И так во всем остальном — никакого сходства. Землю представляют себе в Париже в форме дыни, а в Лондоне — сплющенной с двух сторон; для картезианца свет существует в воздухе, для ньютонианца он поступает на Землю от Солнца, затрачивая на дорогу шесть с половиной минут; французская химия имеет дело с кислотами,

¹ Мы пользуемся здесь и в дальнейшем изданием в серии «Société des textes français modernes»: Voltaire. *Lettres philosophiques, édition critique avec une introduction et un commentaire par Gustave Lanson 5^{me} éd.*, t. I—II. Paris 1937.

алкалоидами и с тончайшей материей, в английской же химии господствует опять-таки тяготение. И даже сущность вещей совсем не та, ибо нет сходства во мнениях ни относительно того, что такое душа, ни относительно того, что такое материя: по Декарту, душа то же, что мысль, а Локк это опровергает; по Декарту, только протяженность существенна для материи, а Ньютон добавляет к этому твердость. И Вольтер заканчивает свое красочное вступление латинской фразой, смысл которой: не мое, мол, дело примирять такие острые противоречия. Это, разумеется, только камуфляж: как и во всех остальных статьях его книги, автор «Философских писем» знакомит читателя с тем в Англии, что он хочет перенести во Францию. Но в данном случае это было не только противопоставлением двух систем, это было противопоставлением двух столетий: французское ньютонианство, апостолами которого были Мопертюи и Вольтер, существенно отлично от английского, и оно начинает новую эпоху физико-математической мысли. Эта эпоха приходится на так называемый век разума, век просвещения во Франции. О нем сказано очень много, чуть ли не все, что можно сказать. И все-таки к нему следует вернуться, в частности, в связи с историей физико-математических наук. Во второй половине XX в. нельзя целиком принять прежние оценки, даже оставаясь в кругу ранее известных фактов. Новая эпоха с необходимостью создает новое отношение к прошлому. Набор красок на картине остается, пожалуй, неизменным, но одни тона воспринимаются интенсивнее, другие тускнеют, и такое изменение «цветового решения» не может не повлиять на восприятие картины в целом. Что она при этом может показаться ближе к современности, чем это принято думать, не должно удивлять: «ближе» в данном случае значит «понятнее».

Утверждение Вольтера, что Франция была целиком картезианской в 1730 г., не надо принимать как абсолютную истину. Картезианство расшатывалось не только извне. Когда Вольтер писал, что Декарт, взяв математику в качестве проводника в вопросах физики, затем этого проводника оставил, увлекшись «духом системы», он был во Франции не одинок в таком мнении и не первый его высказывал. Именно «дух системы» (*l'esprit de système*) у Декарта должен был стать предметом критики. На Декарта его последователи смотрели как на освободителя

от схоластики; но в начале XVIII в. уже стали сказываться более далекие последствия картезианской революции. Не заменила ли она одну предвзятую систему другой, более удовлетворительной, но уже ощутимо нетерпимой и догматичной?

Для преодоления этого нового догматизма, для ограничения или сокрушения становившегося тягостным владычества новой системы были избраны разные пути. (Так же, как искали разные средства, одни — для ограничения, другие — для сокрушения политической системы.) По пути «конституционного» ограничения «картизянского самодержавия» во Франции за несколько лет до появления «Философских писем» Вольтера пошел Фонтенель. Он не заменил систему Декарта системой Ньютона, а одну систему, так сказать, ограничивал другой, усматривая слабость каждой в ее ограниченности и вместе с тем принимая такую ограниченность как нечто неизбежное. В своем «Похвальном слове Ньютону», написанном под свежим впечатлением известия о смерти великого англичанина, Фонтенель тоже сравнивает Ньютона и Декарта.

«Они оба,—писал Фонтенель,—гении высшего класса, рожденные, чтобы господствовать над умами, основатели империй. Оба, будучи превосходными математиками, видели, что необходимо ввести математику в физику. Оба строили свою физику на математике, созданной в основном ими самими. Но один в смелом полете своей мысли хотел проникнуть к источнику всего (сущего.—И. П.), овладеть, исходя из некоторых ясных и фундаментальных представлений, основными принципами, с тем, чтобы, основываясь на последних, переходить к явлениям природы как к необходимым следствиям. Другой же, менее отважный или более скромный, вначале исходит из явлений, чтобы дойти до неизвестных основ, решив принять любые выводы, к каким приведет цепь заключений. Один исходит из того, что он ясно понимает, с целью найти причины того, что он видит. Другой исходит из того, что он видит, с целью найти причину, будет ли она понятной или неясной. Очевидные принципы одного не всегда приводят к явлениям таким, каковы они в действительности. Другой, исходя из явлений, не всегда приходит к достаточно очевидным принципам». И те границы, восклицает под конец этого противопоставления Фонтенель, до которых

смогли дойти два таких человека, это не границы их ума, это границы человеческого ума вообще¹.

Заметим, для полноты, что в некоторых вопросах Фонтенель признает ньютонианскую физику, отвергая взгляды Декарта. Так, он пишет, что Ньютон в своих «Началах», разработав теорию движения тел в сопротивляющейся среде, пришел к выводам, которые несовместимы с вихрями Декарта и разрушают это величественное построение, «казавшееся несокрушимым». И далее Фонтенель заявляет, что тяготение и пустота, изгнанные Декартом из физики, изгнанные, как казалось, навсегда, возвращены в физику Ньютоном, быть может, лишь в слегка измененном виде, да еще приобретя совершенно новую силу².

Линия Фонтенеля определена выше как ограничение, но не низвержение картезианского «самодержания». Для Вольтера картезианство — мертвый король, и он провозглашает восшествие на престол ньютонианства (поскольку речь идет о физике). Мы оставляем в стороне вопрос, является ли Вольтер убежденным «монархистом», т. е. нужна ли ему обязательно новая система. Несомненно, что в годы, когда писались «Философские письма», он, сокрушая систему Декарта по всему фронту, всему в ней находил замену. Мы говорили вначале о четырнадцатом из «Философских писем» Вольтера («О Декарте и Ньютоне»). Ему предшествуют письма о канцлере Бэконе (12-е) и о Локке (13-е). Бэкон удостаивается чаивысших похвал: он — отец экспериментальной философии; никто до него ее не знал и почти все физические опыты, сделанные после него, он предвидел и указывал в своей книге. Вскоре экспериментальную физику стали культивировать почти повсюду в Европе, и это было тем скрытым сокровищем, которое принялись искать, воодушевленные обещаниями Бэкона. Ссылаясь на некоторые заявления Бэкона, Вольтер пишет: «Меня больше всего удивило то, что я нашел в его книге в явном виде и новое тяготение, изобретателем которого слывет Ньютон»³.

¹ См.: «Oeuvres diverses de M. de Fontenelle d'Académie Françoise». A la Haye MDCCXXXVI, t. V (qui contient Eloges des Académiciens de l'Académie Roïale des Sciences, t. II), p. 306.

² Там же, стр. 305.

³ См. изд., указанное в сноске на стр. 34, т. I, стр. 157.

Локк, сенсуализм которого Вольтер принимает полностью, тоже оценивается им исключительно высоко. Никогда, быть может, не было более мудрого, более методичного, более логичного мыслителя, чем Локк, заявляет Вольтер. Философы, которые ему предшествовали, «писали романы о душе», тогда как мудрец Локк скромно стремился «дать ее историю», т. е. выяснить, как развивается человеческое мышление. Принимая Локка, Вольтер снова обрушивается на Декарта. «Наш Декарт, рожденный разоблачать ошибки античности, но с тем, чтобы заменить их своими, и увлекаемый тем духом системы, который ослепляет самых великих людей, вообразил, будто он доказал, что душа то же самое, что мысль, подобно тому, как материя, согласно Декарту, то же самое, что протяженность. Он утверждал, что мы всегда мыслим, и что душа вступает в тело, снабженная всеми метафизическими понятиями, познав бога, пространство, бесконечность, имея все абстрактные представления и будучи полна превосходных знаний, которые она, к сожалению, забывает при выходе из чрева материи»¹.

Итак, то, чем Вольтер в конце 20-х годов XVIII в. заменял картезианство, состояло из сенсуализма, взятого у Локка, из «экспериментальной философии» Бэкона, из теории тяготения со всеми выводами из нее и вообще со всем тем, чем Ньютон обогатил механику в «Началах», из учения о свете так, как оно дано Ньютоном в его «Оптике». Когда Вольтер несколькими годами позже, занимаясь в общении с маркизой дю Шатле физикой, можно сказать, на профессиональном уровне, писал «Основы философии Ньютона в общедоступном изложении»², он включил в эту книгу опять-таки только изложение «Оптики» и теории тяготения. Теология Ньютона и все с нею связанное по-прежнему не упоминается. От имени Ньютона не сформулировано ни одно утверждение общего, «метафизического» характера. Ньютонианство Вольтера не равнозначно ни его антикартизианству, ни ньютонианству родины Ньютона.

Хорошо известно, что на английскую науку XVIII в. Ньютон оказал мощное влияние не только как естество-

¹ Там же, стр. 168.

² «Eléments de la Philosophie de Newton, mis à la portée de tout le monde par M^r de Voltaire». Amsterdam, MDCCXXXVIII.

испытатель и математик, но и как теолог. Английская наука в XVIII в. была связана с религией достаточно крепкими узами. Например, Маклорен в своем «Отчете о философских открытиях сэра Исаака Ньютона», опубликованном в 1748 г. в Лондоне, формулирует задачи естествознания таким образом: «Натуральная философия служит задачам более высокого рода и ее главное значение в том, что она дает надежную основу естественной религии и моральной философии, убедительно указывая нам путь к познанию творца и правителя Вселенной. Изучать природу означает исследовать его произведения: каждое новое открытие открывает нам новую часть его плана»¹.

Вольтер представляет во французском ньютонианстве антитеологическую струю, в отличие от Мопертюи. Размежевание по этой линии приведет обоих после идейного сотрудничества в 30-е годы к нашумевшему разрыву в 50-е годы XVIII в., и к тому времени антитеологизм Вольтера станет господствующим. Нет нужды упоминать, что монадология Лейбница тоже не могла пустить корни на такой антитеологической почве, и ученые круга энциклопедистов откликались на нее только насмешками. Но этой общеизвестной антирелигиозной и антиидеалистической тенденцией дело не исчерпывается. Вернемся к «ニュтонианским» произведениям Вольтера 30-х годов. В них кроме замены физических теорий Декарта теориями Ньютона², кроме отказа от методики исследования Декарта в пользу методики Бэкона и методики Ньютона в качестве новой и очень заметной компоненты мы находим борьбу против «духа системы». В этом деле нельзя было найти опору у английских идеологов: в Англии, уже пережившей буржуазную революцию, дело шло к стабилизации, к усилению кодификаторских устремлений. Но такую опору можно было найти на французской почве: Вольтер, как известно, во многом является преемником Пьера Бейля.

¹ Цит. по кн.: M. Jammes. Concepts of Space. Cambridge, Mass., 1954, p. 26.

² В этом Мопертюи имеет значительно больше заслуг, и Вольтер не скучился на похвалы ему. Так, он рекомендует «метафизические рассуждения относительно притяжения, изложенные Мопертюи, в наименьшей и наилучшей, быть может, книге, написанной по-французски на философскую тему» («Eléments de la Philosophie de Newton...», p. 104).

В порядке отступления следует сказать несколько слов об этой преемственности. Для современников Вольтера она была очевидной. Фридрих II не без насмешки над своим знаменитым другом и врагом, который при всей своей враждебности к официальной церкви не был в силах отказаться от деизма, писал в 1780 г. (после смерти Вольтера) Даламберу, что Вольтер заведомо не находится в чистилище, что ненависть теологов не сможет помешать ему прогуливаться по Елисейским полям. опираясь, с одной стороны, на плечо Бейля, а с другой — на плечо Монтэнья. Бейль, можно сказать, сопровождал Вольтера всю его интеллектуальную жизнь, и притягивая, и отталкивая. Скептицизм Бейля был привлекателен для Вольтера своей критичностью, но он ничего не давал взамен того, что разрушал. Все, что нас окружает, подвластно сомнению, а сомнение — состояние малоприятное, писал Вольтер Фридриху II в 1770 г.

В отличие от Бейля как в вопросах религии и философии, так и в вопросах науки, Вольтер в общем объединял те два подхода, которые охарактеризованы им в «Человеке с сорока экю». Там «геометр» заявляет: «Я советую вам сомневаться во всем за исключением того, что три угла треугольника равны двум прямым и что треугольники с одинаковыми основаниями и высотами равны друг другу (*sic!*) и других подобных предложений, как, например, что два плюс два равно четырем». На это его собеседник отвечает, что сомневаться весьма разумно, но «...если я обеспечен и располагаю временем, я любопытен. Я хотел бы знать, каким образом моя воля приводит в движение мою ногу или руку... Я размышляю и я хотел бы немного знать... осязать (буквально: коснуться пальцем.— И. П.) свою мысль». Отсюда в одних случаях некоторая противоречивость, в других — известная неопределенность в высказываниях Вольтера. Современный исследователь Вольтера Г. Т. Мэйсон справедливо замечает, что во всех метафизических вопросах Вольтер всегда был склонен воздерживаться от окончательных суждений¹. К этому можно добавить, что, принимая математические истины в качестве абсолютных, Вольтер не раз говорил об относительности, даже о принципиальной неполноте наших знаний о природе. В «Философском

¹ H. T. Mason. *Pierre Boyle and Voltaire*. Oxford University Press, 1963.

словаре» он пишет, что издавна насмехались над скрытыми качествами, а следует насмехаться над теми, кто в них не верит, и «сто раз следует повторить, что всякий принцип, всякая первичная пружина в любом деле великого Демиурга скрыта и навсегда спрятана от смертных». Но какие бы колебания в оценке качества наших знаний и возможностей познания мы ни обнаруживали у Вольтера, он всегда антидогматичен, он всегда и по убеждениям и по самому типу интеллекта против «духа системы»¹.

Конечно, и на это указывалось выше, борясь с «духом системы» Декарта и его последователей, щедро черпая у англичан, Вольтер строил свою систему, но она была скорее программой и руководством, чем законченным построением. Возникшая в борьбе с догматизмом, она старалась предохранить себя от него. Доля самокритического недоверия к непреложности своих же общих схем в достаточной мере ощутима не только у Вольтера. Это действовало освежающе, и это было одной из отличительных черт новой эпохи.

Критическая настроенность, антидогматизм, которые всегда ощущимы, которые всегда сопровождают «в подтексте» самые большие похвалы и наиболее безоговорочные восхваления новой научной и философской системы у Вольтера, становятся осязаемой составной частью мировоззрения у Даламбера. С ним мы делаем шаг вперед по пути, который в истории французской общественной и научной мысли ведет от Вольтера к Дидро. Существенно то, что Даламбер в физико-математической науке XVIII в. достаточно ярко представляет тотственный скептицизм, который учит критически относиться не только к наследию прошлого, но и к собственным достижениям. Этого заведомо нет в апологетическом английском ньютонианстве, это особое течение; его генеа-

² Говоря словами Поля Валери, «его (Вольтера) самой постоянной и самой возвышенной страстью была Свобода духа» (P. Valéry. — «Discours prononcé le 10 décembre 1944 en Sorbonne». Paris, MCMXLV, p. XIX—XX). «Вольтер остается самым поразительным «ворожителем» (гешеиг) идей, который когда-либо существовал, и особенно замечательно то, что он в этом отношении не изменил себе за все свое долгое существование» (A. Lantoine. Les lettres philosophiques de Voltaire. Paris, 1946, p. 213).

логическое древо: Монтэнь, Бейль, Вольтер. Отсюда недалеко и до конвенционализма, и до ограничительных, позитивистского толка тенденций, и можно наметить линии, ведущие во французской науке от Даламбера к Анри Пуанкаре, к Эмилю Борелю.

Почему же этот скептицизм назван выше действенным? Потому что, пока он — составная часть мировоззрения творческих ученых, он — не помеха в поисках новых истин, он поощряет эти поиски, препятствуя лишь абсолютизации достигнутого. Он действен у творцов, даже если его «усиливают» до конвенционализма, он оправдывает бездействие у творчески беспомощных эпигонов. Но характер его воздействия определяется прежде всего общественными условиями, запросами эпохи. Во Франции последних десятилетий старого режима скептицизм был действенным началом.

В наиболее развернутом виде методология (и методика) Даламбера изложена в знаменитом «Предварительном рассуждении об Энциклопедии», опубликованном им (совместно с Дидро) в 1751 г.¹ Определив геометрию как науку о протяженности, в которой тела — только оформленные части (*parties figurées*) пространства, Даламбер попутно ставит под сомнение законность абстрактного понятия протяженности: «Ибо протяженность, в которой мы не различали бы никаких оформленных частей, была бы лишь отдаленной и неясной картиной, в которой ничего нельзя было бы уловить, потому что в ней ничего нельзя было бы различить»². Сопоставление отдельных фигур приводит нас к вычислению различных отношений — предмету арифметики, т. е. науки о числах. Отношения, представленные в общем виде, — предмет алгебры. Так мы, идя по пути обобщений, переходим «к той главной части математики и всех естественных наук, которую называют наукой о величинах вообще. Она — основа всех открытий, которые можно сделать относительно количества, т. е. относительно того, что может возрастать или уменьшаться»³.

¹ В дальнейшем мы ссылаемся на издание: *D' Alembert. Discours préliminaire de l'Encyclopédie, publié par F. Picavet, Paris, 1894.* Далее — «Discours».

² Там же, стр. 26.

³ Там же, стр. 28.

Все это пока звучит чисто утверждительно, но сразу же следует критика. Нельзя быть в равной мере удовлетворенным всеми математическими знаниями, заявляет Даламбер, и надо без предвзятости рассмотреть, к чему они сводятся. На первый взгляд математика весьма обильна результатами, но если их научно классифицировать, математика оказывается гораздо менее богатой, чем принято думать. Не выражает ли большинство аксиом, которыми так гордится геометрия, одно и то же простое представление двумя различными словами или знаками? Математические теоремы, если к ним присмотреться, сводятся к достаточно скромному числу первоначальных истин (*de verités primitives*). И так же дело обстоит с физическими истинами, со свойствами тел, между которыми мы замечаем связь. Если эти свойства связать должным образом друг с другом, они, собственно говоря, сведутся к одной простой истине. И если из нее мы можем выделить для себя различные истины, то это печальное достижение: мы обязаны им слабости нашего понимания. В качестве примера Даламбер (надо признать, весьма удачно) приводит наэлектризованные тела. «В них,— пишет он,— открыли ряд странных свойств, по внешности лишенных связи друг с другом. Так, то, что в результате трения они приобретают способность притягивать маленькие частицы, и то, что они могут вызвать сильное сотрясение у животных, для нас две различные вещи. Но если бы мы смогли дойти до первопричины, они были бы для нас одним и тем же. Вселенная для того, кто мог бы охватить ее с одной точки зрения, была бы, если так можно выразиться, только одним фактом и только одной единой истиной»¹.

Итак, мы можем познавать мир, но нам удается познавать это величественное целое, эту единую истину только частями. Все свойства, какие мы наблюдаем в телах, связаны друг с другом более или менее ощутимым для нас образом. Познание или открытие этих связей, этих отношений почти всегда составляет единственную цель, которой мы можем достичь. Какими средствами? Не с помощью расплывчатых и произвольных гипотез, а изучая и сравнивая явления, сводя по возможности большое их число к одному, которое можно рассматри-

¹ «Discours», p. 36—39.

вать как основное. Но такое сведение тем более сложно, чем труднее и обширнее предмет. Даламбер приводит в качестве примера магнит, «одно из наиболее изученных тел, с которым связаны столь поразительные открытия»¹. Действительно, он притягивает железо, он намагничивает его, он поворачивается к полюсам и при этом испытывает отклонения, которые в свою очередь обладают регулярностью, наконец, магнит «обладает наклонением, образуя с горизонтальной линией больший или меньший угол в зависимости от того, в какой точке земной поверхности он находится». «Все эти необычные свойства, зависящие от природы магнита, вероятно, связаны с каким-то общим свойством, лежащим в их основе, которое нам до сих пор неизвестно и, быть может, еще долго не будет известно. За отсутствием таких знаний и необходимого понимания физической причины свойств магнита было бы достойным для ученого делом свести, если это возможно, все указанные свойства к одному, показав их взаимную связь. Но чем более полезно такое открытие для прогресса физики, тем больше оснований опасаться, что для него наши усилия окажутся недостаточными. То же можно сказать о большом числе других явлений, связь между которыми коренится, быть может, в общей системе мира»². Поэтому Даламбер призывает к накоплению и систематизации фактов с последующим их сведением к немногим основным. «И если мы иногда осмелимся подняться выше, то будем это делать с той мудрой осмотрительностью, которая столь приличествует обладателям такого слабого зрения, как наше»³.

Такова методика, рекомендуемая для общей и экспериментальной физики. А в физико-математических науках на основании одного наблюдаемого явления математически выводится большое число следствий, которые по своей достоверности приближаются к геометрическим истинам. Но и тут Даламбер призывает к осмотрительности.

«Надо признать, что математики иногда злоупотребляют этим применением алгебры к физике. Не распола-

¹ «Discours», p. 30—31.

² Там же, стр. 31.

³ Там же, стр. 33.

гая опытом, который мог бы послужить основой для их вычислений, они разрешают себе гипотезы, действительно по возможности наиболее удобные, но часто весьма удаленные от того, что есть в природе... Единственный верный метод научного исследования в физике состоит или в применении математического анализа к опыту, или в наблюдении, проводимом согласно методу иной раз с помощью предположений, когда они могут облегчить рассмотрение, но строго исключая какую-либо произвольную гипотезу»¹.

В соответствии с такой системой взглядов для Даламбера, как и для Вольтера, у колыбели новой науки стоит Фрэнсис Бэкон. Мудрой осмотрительностью, которую проповедует Даламбер, он объясняет то, что Бэкон не создал при своей жизни школы: «Схоластику, которая господствовала в его время, можно было низвергнуть только с помощью новых и смелых мнений; но вряд ли суждена шумная слава при жизни философу, который удовольствовался заявлением: „Вот, люди, то немногое что вы знаете, а вот то, что вам надлежит найти“»². В оценке Декарта Даламбер в 1751 г. был гораздо более объективен, чем Вольтер, и это понятно: картезианство уже не было реальным противником. Так, он находит, что тогда, кроме «вихрей, ставших ныне почти смешными», нельзя было придумать ничего лучшего. Ньютон конечно, «придал философии³ форму, которую она, видимо, сохранит». Но весьма примечательно, что Даламбер затрагивает, в отличие от Вольтера, вопрос о метафизике Ньютона. Даламбер заявляет, что Ньютон, видимо, не пренебрегал метафизикой. Причина этого в том, что он был слишком большим ученым, чтобы не понимать, что метафизика является основой наших знаний и что только в ней надо искать точные и ясные представления обо всем. И Ньютон, видимо, составил себе нечто вроде таких представлений о главных предметах, которые его занимали. Если он почти совсем не касается таких вопросов в своих произведениях, то либо потому, что сам не был удовлетворен своими результатами, либо вследствие трудностей изложения, либо по каким-то иным при-

¹ Там же, стр. 94.

² Там же, стр. 105.

³ Это слово в данном контексте равнозначно слову «наука».

чинам. Но то, на что Ньютон не отважился, сделал Локк. Ибо Локк, по характеристике Даламбера, свел метафизику к тому, чём она должна быть,— к экспериментальной физике души (основанной на самонаблюдении).

Противопоставляя учение Локка прежней бесплодной метафизике, Даламбер заключает: «Я не сомневаюсь, что это прозвище (метафизик.—И. П.) вскоре станет бранным для здравомыслящих людей, как прозвище софиста, означающее мудрый, запятнанное в Греции теми, к кому оно прилагалось, было отвергнуто настоящими философами»¹.

В более ранних произведениях Даламбер в своих методологических установках в достаточной мере картезианец. Во «Введении» к знаменитой «Динамике» для него высшая достоверность — это «достоверность, основывающаяся на принципах, являющихся необходима истинными и очевидными сами по себе». Он признает там, что «многие отделы математики, опирающиеся или на физические принципы, т. е. на опытные истины, или же на простые гипотезы, обладают, так сказать, *лишь* достоверностью опыта или даже достоверностью чистого допущения»². Даламбер здесь допускает различие между необходимыми и случайными истинами, т. е. априорными истинами, стоящими выше опыта, и истинами апостериорными. Но со временем Даламбер все больше переходит на позиции скептицизма.

Этот переход происходит в двух областях, по двум русслам. Одно из этих русел пролегает в области экспериментальной науки. В сущности этот скептицизм — только несколько заостренная формулировка той охарактеризованной выше методологии исследования, которую выдвигали против схоластики и против картезианства, против «духа системы» и против увлечения гипотезами. До Даламбера Фонтенель, характеризуя деятельность Французской Академии наук и в значительной мере принимая, пожалуй, желательное за действительное, утверждал следующее: автор каждой работы, публикуемой в академических сборниках, отвечает за указываемые факты и приводимые опыты, а Академия одобря-

¹ «Discours», р. 107.

² Ж. Д а л а м б е р. Динамика (Перев. с франц. и примечания В. П. Егоршина). М.—Л., 1950, стр. 15.

ет рассуждения автора, строго соблюдая все ограничения мудрого пирронизма¹. И с этим перекликается заявление Даламбера в письме к Вольтеру от 14 сентября 1768 г.: «В физике мой общий и постоянный девиз — слова: „Что я знаю?“».

Другое русло скептицизма пролегает в области метафизики. В письме к Фридриху II от 2 августа 1770 г. Даламбер по поводу дискуссий на метафизические темы занимает ту же позицию, что и относительно физики: ответом на почти все вопросы такого рода является тот же девиз Монтэня — «Что я знаю?». Столь же определенно его заявление в письме к Вольтеру от 29 августа 1769 г.: во всех этих метафизических потемках разумная позиция — только скептицизм. Весьма поучительно то, что сказано о метафизике в «Энциклопедии» Дидро (соответствующий том подготавливался к печати уже после выхода Даламбера из редакции). Там дается двоякое определение. Метафизика — это наука об основах вещей (*la science des raisons des choses*) и «все имеет свою метафизику и свою практику». «Спрашивайте живописца, поэта, музыканта, геометра и вы заставите его дать отчет о его действиях, т. е. дойти до метафизики своего искусства». Стало быть, метафизика понимается как теория, но теория чего-то: отдельных искусств или наук, конкретная теория. И действительно, в таком смысле это слово широко применялось в XVIII в.; например, говорили о метафизике анализа бесконечно малых. Но если в качестве предмета метафизики выдвигают только «пустые и абстрактные соображения относительно времени, пространства, материи, духа, то это наука, заслуживающая презрения». Таким образом, отвергаются общефилософские рассмотрения, признается только, так сказать, конкретная метафизика. О последней сказано, что злословят на ее счет лишь те, кому не хватает проницательности. И скептицизм Даламбера вплотне антиметафизичен, если иметь в виду ту дурную метафизику, которая полностью осуждается «Энциклопедией».

С Даламбером мы перешли во вторую половину (календарного) века, и уже можно подвести некоторые итоги. Естественно считать в истории физико-математических наук рубежом между теми двумя эпохами, которые

¹ Fontenelle. Oeuvres diverses, t. IV. A la Haye, MDCCXXXVI, p. 15.

мы коротко называет семнадцатым и восемнадцатым веками, начало 20-х годов XVIII в. В эти годы на первом плане была достаточно крепко связанная с теологией школа Ньютона в Англии, а на континенте Европы — уже лишенное жизненных сил картезианство и плодотворно работающая школа Лейбница, которая успешно развивает математические методы своего основателя и которая в достаточной мере эклектична в методологических и философских вопросах и стремится примирить науку и религию. «Дух системы» господствует всюду. Он догматизировал картезианство, он заставляет английских ученых в течение века придерживаться неудобного математического формализма, ибо последний освящен именем Ньютона, он приводит в руках Вольфа к омертвлению ту живую диалектику, которую сейчас мы можем разглядеть в учении Лейбница. Но перенесемся вперед на несколько десятилетий — в 60—70-е годы. Энергия восходящего класса, чьими идеологами были Вольтер, Даламбер, Дидро и многие другие, полностью изменила идеологический климат во Франции и вывела ее науку на передовые позиции. «Дух системы», а с ним и всякий догматизм, казался сокрушенным навсегда. В уже много раз цитированном «Введении» к «Энциклопедии» Даламбер заявлял, что «склонность к системам, больше льстящая воображению, чем просвещающая ум, сегодня почти полностью отсутствует в хороших произведениях. По-видимому, последний удар ей нанес один из наших лучших философов¹. Дух гипотез и предположений мог быть весьма полезен когда-то; он был даже необходим для возрождения философии... Но времена изменились, и писатель, который стал бы теперь его превозносить, явно опоздал бы... Дух системы в физике то же, что метафизика в геометрии. Если он иногда и необходим, чтобы мы стали на путь истины, он почти всегда сам не способен вести нас по этому пути»².

Господство такого антидогматизма не было ни абсолютным, ни продолжительным, но эта обновляющая тенденция должна была с новой силой проявиться в нашем столетии.

¹ Аббат Кондильяк в своем «Трактате о системах» (Примечание Даламбера).

² «Discours», р. 116—117.

Другим достижением было полное удаление из науки теологии и метафизики — той метафизики, которая осуждалась «Энциклопедией» (см. выше). Суть дела состояла не только в том, чтобы религия не мешала науке, чтобы разграничить истины религиозные и истины научные,— этого добивался еще Галилей, таких взглядов придерживался современник Вольтера и Даламбера Эйлер, человек безусловно религиозный. Новым было то, что впервые в истории новой науки она была призвана дать целостное мировоззрение, не нуждавшееся ни в чем потустороннем. Конечно, и для Спинозы мир подлежал объяснению «сам из себя», но мир Спинозы статичен, он не вмещал в себя все, что уже было известно о реальной Вселенной его современникам. В середине XVIII в. дело обстояло иначе: все, что знали о мире, объяснялось без апелляции к чему-то, находящемуся вне «истинной философии», вне тех конкретных метафизик, которые заслужили одобрение Энциклопедии. Велики заслуги Дидро в этом деле. Он больше всех профессиональных ученых сделал для изгнания из науки теологии. «Блуждая ночью в огромном лесу,— писал Дидро,— я располагаю лишь небольшим светильником, чтобы не заблудиться. Появляется неизвестный и говорит мне: друг мой, задуй твой светильник и тебе легче будет отыскать дорогу. Этот неизвестный — теолог».

В условиях XVIII в. такая направленность не исключала признания наличия каких-то непознанных и принципиально непознаваемых первичных пружин или скрытых качеств, о чем писал Вольтер. Это практически ни на что не влияло, раз демонстрировалась достаточность конкретной теории. Подобная идейная позиция была удобна как защита от церковников и, вероятно, не раз она использовалась для маскировки. Во всяком случае, искренняя или неискренняя, она отлично сочеталась с принципиальной нерелигиозностью, с полной независимостью от теологии. Лаплас является ярким и общепризнанным представителем науки и научного мировоззрения, вполне свободных от всякого налета религиозности, а ведь и он, например, писал в I томе «Небесной механики» (1799), что сущность того своеобразного изменения, из-за которого тело переносится из одного места в другое, остается и будет оставаться неизвестной для нас. Мы называем ее силой, продолжал Лаплас, но мы

можем определить только ее проявления и законы ее действия. Не перекликается ли это (через столетие) с известной формулировкой: «Теория Максвелла — это уравнения Максвелла?» Ведь Лаплас тоже мог бы определить свою позицию формулой: «Механика (Ньютона) — это уравнения движения (Ньютона)¹!»

При объяснении мира «из самого себя» французская наука XVIII в. оставалась, конечно, исполнительницей заветов предыдущего столетия: все основываться на механике. Но изгнание теологии и метафизики позволило ей избавиться от дуализма Декарта, привело ее к материалистическому монизму. «Во Вселенной все объединено. Эта истина была одним из первых шагов Философии, и это был гигантский шаг», — заявлял Дидро в 1745 г. В его устах это не было простым возвращением к стихийному монизму древних натурфилософов, потому что такое положение должно было быть подкреплено всем запасом научных данных и соответственно вобрать в себя новое и многостороннее содержание. С приведенным выше утверждением Дидро вполне согласуется то заявление Даламбера, которое мы уже цитировали: Вселенная для того, кто мог бы охватить ее с одной точки зрения, была бы, если так можно выразиться, только одним фактом и только одной единой истиной.

В этих положениях — идеинные истоки лапласовского детерминизма. Но какова бы ни была судьба той или иной конкретизации такой общей идеи, материальное единство мира с тех пор окончательно стало исходной истиной для физики и для науки в целом. На этой основе воздвигнута Энциклопедия, т. е. (в буквальном переводе) круг наук, наук, полностью освобожденных от того учения правоверной церкви, которое было основой средневековых энциклопедий — «сумм»².

Поучительно то, как, исходя из описанных выше общих взглядов, ставилась и решалась проблема о значении математики и физики и о взаимоотношении этих наук. При этом следует учитывать, что наука XVIII в. —

¹ Мы берем в скобки имя Ньютона, потому что ни Лаплас, ни Лагранж, да, пожалуй, и никто из их современников не называл теоретическую механику того времени механикой Ньютона.

² Например, главное произведение Фомы Аквинского называется: «Теологическая сумма, в коей учение католической церкви объясняется».

это главным образом наука академий, существующих на средства правительства, и она должна доказывать властям свою полезность. Она готова была это делать, потому что независимо от степени лояльности ее представителей по отношению к господствующему порядку ученые сознавали свое значение для общества. Конечно, мы находим различные взгляды на то, какими методами в служении обществу они должны пользоваться. Крайние точки зрения представлены Дидро, с одной стороны, Лагранжем — с другой.

«Поспешим сделать философию близкой народу. Если мы хотим, чтобы философия шла вперед, приблизим народ к уровню философов», — таков лозунг Дидро¹. Лагранж в одном из своих писем отстаивал взгляды, практические выводы из которых были бы, конечно, неприемлемы для Дидро. «Я полагаю, — писал он, — что, вообще говоря, один из основных принципов разумного человека — строго сообразовываться с законами страны, в которой он живет, даже если среди них есть неразумные. Впрочем, я всегда замечал, что те произведения, которым их авторы обязаны наибольшим числом возражений и тревог, не относятся к числу произведений, упрочивших репутацию авторов. Примером тому — Энциклопедия и некоторые другие французские и даже итальянские труды. Наш великий Галилей обязан настоящей своей славой только открытиям относительно движения и спутников Юпитера. Его знаменитые «Диалоги», навлекшие на него все его беды, — наименее удачное из всех его произведений...»² Как видим, расхождение в мнениях в этом пункте практически максимально возможное (призыв Дидро «идти в народ» с наукой и поднимать народ до уровня науки вел к действиям, противоположным тем, которые вытекали из позиции Лагранжа). Однако в общих оценках значения математики и физики их взгляды сходятся гораздо ближе.

Перейдем теперь к Фонтенелю, многолетнему непрерывному секретарю Французской академии наук, превосходному популяризатору, официально представлявшему науку перед властями. В 1736 г. он посвятил предисловие

¹ Diderot. *Oeuvres*, t. II. Paris, p. 39—40.

² Письмо (к неизвестному корреспонденту) от 11 июля 1778 г. См.: Lagrange. *Oeuvres*, t. XIII. Paris, 1886, p. 274—275.

к V тому собрания своих сочинений доказательству полезности математики и физики¹.

Фонтенель называет в этом предисловии геометрию и особенно алгебру ключом для «всех изысканий, какие можно вести относительно величин». Конечно, эти науки занимаются абстрактными отношениями, исходя из простейших представлений, и могут казаться бесполезными, так как остаются как бы в мире интеллектуальном, а не реальном.

Но «смешанная математика», как выражается Фонтенель, которая «снисходит к природе» и занимается движением светил, навигацией, распространением света, колебаниями струн и т. д., выявляет зависимости между осязаемыми величинами.

А такая «смешанная математика» может тем успешнее действовать, чем более развито общее учение об отношениях величин.

Но это только одна сторона вопроса. Другая сторона заключается в том, что открытия, приносящие непосредственную пользу и, быть может, прежде всего заслуживающие внимания, как бы освещаются и облегчаются открытиями, не приносящими непосредственной пользы. Предмет, на который мы смотрим, тем легче разглядеть, чем лучше освещение не только его, но и соседних предметов.

Имеется и третья сторона в рассматриваемом вопросе. «Всегда полезно мыслить правильно, даже относительно бесполезных предметов». А «геометрический дух» не настолько связан с геометрией, чтобы его нельзя было оттуда перенести в другие науки. «При прочих равных условиях труд, посвященный этике, политике, критике (литературной), даже, может быть, ораторскому искусству, будет лучше, если он выйдет из рук геометра. Порядок, отчетливость, определенность, точность, преобладающие с некоторого времени в хороших произведениях, имеют своим источником, пожалуй, этот геометрический дух, который распространен более чем когда-либо и который каким-то образом сообщается и тем, кто не знает геометрию»².

¹ Надо иметь в виду, что в физику Фонтенель зачисляет химию, ботанику и анатомию.

² См. том, указанный в примечании на стр. 37, стр. 9.

Эта высокая оценка математики и ее значения даже в весьма далеких от математики областях была основана и на убеждении в абсолютности математических истин — это убеждение является всеобщим, и на уверенности в том, что основное в математике уже достигнуто. Поэтому оно любопытным образом сочетается с достаточно пессимистической оценкой перспектив математики. Фонтенель высказывался на этот счет сравнительно осторожно. Превосходство геометрических методов, изобретаемых и совершенствуемых каждодневно, писал он, не приведет ли оно к пределам геометрии, т. е. не окажется ли исчерпанным искусство делать открытия в геометрии? Напротив, физика, по Фонтенелю, располагает неисчерпаемым предметом исследования и у нее есть то преимущество, что она никогда не будет столь завершенной наукой, как математика.

Такие взгляды проходят через все столетие. Дидро уже отзывался о математике как об исчерпывающей себя науке. Он утверждал, что более всего начинают культивировать естественную историю (т. е. биологические науки) и экспериментальную физику, и он готов был заверить в том, что лет через сто во всей Европе нельзя будет найти трех крупных математиков. Ибо эта наука должна будет остановиться примерно там, где ее оставят Бернулли, Эйлеры, Мопертюи, Клеро, Фонтены, Даламбера и Лагранжи: они воздвигнут геркулесовы столбы. Известно, что сходные взгляды на перспективы математики позже высказывал и Лагранж. В 1781 г. он писал Даламбера, что «шахта становится слишком глубока, и ее придется рано или поздно бросить, если не будут открыты новые залежи руды. Физика и химия теперь гораздо более блестящие и легче эксплуатируемые ценные залежи; таким образом, все повернули в их сторону, и возможно, что математические кафедры в Академии наук станут когда-либо тем, чем являются теперь кафедры арабского языка в университетах»¹. Молодой Лаплас тоже чувствует необходимость вдохнуть новую жизнь в математику за счет приложений. Он посыпает Лагранжу работу знаменитого впоследствии кристаллографа Аюи, указывая, что она содержит интересное применение математики — ведь более чем желательно расширить область геометрии. Именно с

¹ Lagrange. *Oeuvres*, t. XIII, p. 368.

такой целью я несколько увлекся физикой, признается Лаплас, и я не потерял надежды достаточно хорошо разобраться в некоторых вопросах физики, чтобы применить к ним математический анализ¹.

Итак, математика казалась наукой без больших перспектив, так как она достигла высокого совершенства. В сущности это означало убеждение в том, что общие виды зависимости между величинами уже изучены. Неисчерпаемость предмета физики, о которой в разных формулировках говорят Фонтенель, Дидро, Лагранж, более количественного, чем качественного характера. Убеждение в такой неисчерпаемости не исключает уверенности в том, что на пути познания физических явлений нет принципиальных препятствий. Основой физики является механика — в этом пункте нет расхождений с великими представителями науки предыдущего столетия. Отличие от них создает та антиметафизическая направленность, о которой уже шла речь. Даламбер не избегает еще вопроса об основах механики, о том, каков характер пространственных и временных представлений, которыми пользуются в механике и науке вообще. Он выдвигает положение (в своих «Началах философии»), все значение которого можно оценить только в эпоху теорий поля: обсуждение свойств пространства, отвлекаясь от материи, совершенно чуждо механике и бесполезно для нее. Но уже у Лагранжа нет места и для таких соображений. В его «Аналитической механике» вопросы, связанные с толкованием таких общих понятий, как пространство и время, обходятся, там ничего по сути не сказано об относительности движения. Такая позиция имела свои преимущества и свои недостатки. Исходя из уравнений движения и обходя вопрос об основах механики, Лагранж как бы разграничивал то, что можно было считать прочно установленным и надежным средством для различных приложений, от всего неясного, спорного. Это была позиция практически разумного самоограничения, но она исключала из рассмотрения ряд основных вопросов механики и естествознания в целом. Исключение таких вопросов, так как они слишком близки к «метафизике» и так как пока нет удовлетворитель-

¹ Lagrange. Oeuvres, t. XIII, p. 130; письмо Лапласа от 11 февраля 1784 г.

ногого ответа на них, было полезно, поскольку позволяло сосредоточиться на более конкретных и поддающихся решению задачах. Вместе с тем оно отвлекало от более глубокого исследования основных понятий механики и физики и создавало иллюзию благополучия, которого на самом деле не было. Но такой иллюзии, конечно, не было у самого Лагранжа, не было ее у Даламбера и других лидеров физико-математической мысли того времени.

То, что математика рассматривалась как наука, почти исчерпавшая свой предмет, не означало принижения математического метода изучения физических явлений. Истинной физической теории должна была соответствовать единственная математическая схема. Не было еще представления о постепенной аппроксимации действительности, о введении новой теории (математической модели) без полного отбрасывания старого, о возможности использования различных моделей на разных уровнях приближения или в разных областях. Можно сказать, что математизация понималась не как относительное, а как абсолютное достижение. Однако Даламбер высказывает взгляды, предвосхищающие более критический подход к проблеме. Так, говоря о решении общих уравнений динамики (идеальной) жидкости, Даламбер допускает существование таких движений жидкости, которые нельзя выразить как решение таких уравнений. Это означает, что для него математическая схема не исчерпывает физической сущности явлений. Даламбер подвергает критике и некоторые положения и применения теории вероятностей. Обычно об этой критике говорят лишь в связи с отдельными элементарными ошибками, малопонятными у такого ученого, как Даламбер. На деле же критика Даламбера значительно тоньше; она связана с анализом применимости вероятностных расчетов к действительным явлениям, и для оценки взглядов Даламбера необходимо рассмотреть все его работы по теории вероятностей, из которых можно составить целую книгу. Здесь мы приведем только одно из отстаиваемых Даламбера положений: если вероятность очень мала, ее следует рассматривать как строго равную нулю и не учитывать при подсчете математического ожидания. Причина в том, что «надо различать между тем, что возможно метафизически, и тем,

что возможно физически»¹, — предостережение против бесконтрольного применения математической схемы! Каково же то числовое значение, ниже которого вероятность события следует полагать равной нулю? Для этого надо прибегнуть к эксперименту. Надо сказать, что выдающийся ученый XX в. Эмиль Борель (1870—1956), много работавший в области теории вероятностей и ее приложений, в конце своей научной деятельности пришел к тому же выводу (достаточно малую вероятность надо считать точно равной нулю)². Укажем и на то, что, аналогично своим высказываниям относительно уравнений гидродинамики, Даламбер заявлял относительно теории вероятностей следующее: «Вы, быть может, спросите меня, каковы те принципы, которыми, по моему мнению, надо заменить те, чью точность я ставлю под сомнение? Мой ответ остается прежним: я ничего об этом не знаю и я даже весьма склонен полагать, что для рассматриваемой проблемы нет, по крайней мере с известной точкой зрения, такого точного и определенного исчисления, которое было бы в равной мере безупречным в своей основе и по своим результатам»³.

Мы закончим свои заметки о представителях французской физико-математической мысли XVIII в. на этой критической нотке. Независимо от обоснованности приведенных утверждений Даламбера они показывают, что век Просвещения не был безапелляционен в своих суждениях и не претендовал на овладение абсолютными истинами. Покончив с теологией, с дурной метафизикой, уверенный в высокой человечности своих конечных целей, он знал, что не все загадки им разгаданы, и даже дошел до сомнения в надежности применяемых им методов. В его завещании ощущается обращенный в будущее дух поиска.

¹ D'Alembert. *Opuscules mathématiques*, t. II. A Paris, MDCCLXI, p. 10.

² См.: Э. Борель. Вероятность и достоверность (Перев. с франц., под ред. Б. В. Гнеденко). М., 1964.

³ D'Alembert. *Opuscules mathématiques*, t. IV. A Paris, MDCCLXVIII, p. 309—310.

АНРИ ПУАНКАРЕ

Этот краткий заголовок требует пояснений.

То, что сделал Анри Пуанкаре в науке, огромно. Около тридцати пяти лет напряженной творческой работы (если считать от первой его публикации до последних дней жизни) были исключительно плодотворны. Он оставил первоклассные работы во всех областях математики, охватил всю современную ему теоретическую физику в 12-томном «Курсе математической физики», прочитанном в течение 1887—1894 гг., пересмотрел и обновил складывавшийся в течение двух столетий аппарат небесной механики в трехтомных «Новых методах небесной механики» и в двухтомных «Лекциях по небесной механике». Он успевал откликаться на злободневные проблемы науки в статьях и докладах методологического и философского характера.

Никто из его современников не был столь плодотворен в области физико-математических наук и не мог единолично их представлять с такой полнотой охвата; поэтому никто до сих пор не смог единолично дать достаточно полный обзор его трудов.

До нас дошли слова его учителя математики в средней школе: «У меня в классе математическое чудовище». Но, как показало будущее, точнее было бы сказать «физико-математическое чудовище».

Мы можем говорить здесь только об одной стороне творчества Пуанкаре — о некоторых его работах по теоретической физике и не столько о содержащихся в них результатах, сколько об их своеобразии.

Пуанкаре связывает две эпохи: он начал читать в Парижском университете курс математической физики в год, когда все в физике могло казаться незыблемым, во всяком случае возведенным на несокрушимом фундаменте; он же стал одним из классиков релятивизма и

одну из последних своих работ посвятил квантовой теории.

Во внушительном списке представителей физико-математических наук во Франции в XIX в. Пуанкаре — тот, кто больше всего напоминает Даламбера. Есть сходство и в характере дарований: у Пуанкаре, как у Даламбера, исключительная талантливость математика и физико-теоретика сочетается с литературными способностями, с даром популяризатора, с интересом к методологическим вопросам науки и к философии. Есть сходство и в характере мышления, в подходе к эпистемологическим вопросам: как и Даламбер, Пуанкаре склонен к скептицизму. Скептик в Пуанкаре побуждает ученого иной раз высказывать и отстаивать такие справедливо критикуемые положения, которые сам Пуанкаре достаточно убедительно опровергает своей творческой практикой; скептицизм Пуанкаре остается действенным, каким он был у Даламбера. Пуанкаре, как и Даламбер, в высшей степени антидогматичен; его проницательная критика, как правило, нацелена на самое существенное и основное. Он во многом традиционен и вместе с тем даже в переходную эпоху он мог работать с полной отдачей.

Пуанкаре как физик-теоретик начинал свою деятельность в пору господства в физике «механицизма». Он был одним из первых, поставивших под сомнение осуществимость построения физики на основе механики. Тут он прошел два этапа в развитии своих взглядов на механицизм. На первом этапе он убедительно показал несостоятельность «наивного механицизма», апеллирующего к наглядным моделям. Он признавал, что дать полное механическое описание, например, электрических явлений, сведя законы физики к основным положениям динамики, — проблема достаточно заманчивая. Но как ее надо ставить? Не является ли это делом праздным? Сама постановка такого вопроса характерна для Пуанкаре. Конечно, если бы такая проблема допускала единственное решение, то такое единственное решение было бы истиной. А за истину, заявляет тут же скептик Пуанкаре, можно уплатить сколь угодно высокую цену. Однако не на этом пути можно найти истину. Несомненно, можно придумать механизм, более или менее полно имитирующий электростатические и электродинамические явления. Но если можно придумать один такой меха-

низм, то их может быть бесчисленное множество. Последнее утверждение составляет теорему Пуанкаре, обоснованную им в его курсе «Электричество и оптика» (т. I, 1890). Заслуживают внимания выводы, сделанные Пуанкаре, исходя из такой теоремы. Он подчеркивает то обстоятельство, что ни один из возможных механизмов для интерпретации электродинамических явлений не выделяется своей простотой. Поэтому нет оснований полагать, что один из них лучше поможет нам проникнуть в тайны природы, чем остальные. Следовательно, любой механизм, какой можно предложить в указанных целях, является чем-то искусственным, и это «противно разуму». Последнее заявление поучительно. Конечно, оно интерпретируется далеко не однозначно. Его можно считать и выражением крайнего субъективизма. Важен контекст. Он таков, что формулировку Пуанкаре следует считать родственной критерию внутреннего совершенства, о котором говорил Эйнштейн, она — в рационалистическом русле. Мы хотим сказать, что генеалогия Пуанкаре восходит к Декарту.

Отказавшись от упрощенного механицизма, Пуанкаре сформулировал для физики своего времени значительно более утонченную механистическую программу. Праздным делом надо считать стремление наглядно передать с помощью механизмов все детали электрических явлений, но очень важно показать, что эти явления подчиняются общим законом механики. Последние же не зависят от того частного механизма, к которым их применяют, и если электрические явления им не подчиняются, то нечего надеяться на их механическое истолкование. Если же электрические явления подчиняются законам механики, то механическое истолкование заведомо возможно.

Но Пуанкаре не ограничивается последним заявлением, он принципиально углубляет постановку вопроса. И на этом пути — это второй этап в развитии его взглядов — он увидел крушение механицизма.

Как фактически убедиться в соответствии законов электростатики и электродинамики принципам динамики? Ответ Пуанкаре поучителен: рядом сравнений. Анализируя электрическое явление, надо сопоставить с ним хорошо изученное явление механики и установить их полный параллелизм. Применение при этом математиче-

ского анализа покажет, что такое сравнение не является грубым приближением, а что оно может давать все более точные данные. Иными словами, Пуанкаре выдвигает идею, так сказать, математического моделирования, допускающего уточнение аппроксимации, достигаемой в процессе механического истолкования явлений из другой области физики. Но Пуанкаре не стал работом собственной программы и смог творчески участвовать в создании теории, успех которой означал невыполнимость включения электродинамики в классическую механику и пересмотр основ этой механики.

Однако в создании этой теории Пуанкаре, говоря словами Луи де Бройля, не сделал последнего, решающего шага. Это сделал Эйнштейн, который разглядел все следствия, вытекающие из принципа относительности, и, критически проанализировав методы измерения длин и временных промежутков, установил «настоящий физический характер той связи, которую принцип относительности устанавливает между пространством и временем». И де Бройль тут же ставит вопрос: почему Пуанкаре не дошел до конца в своих выводах? Причину знаменитый физик видит в несколько чрезмерной «гиперкритичности» Пуанкаре, которая, возможно, развилась в нем потому, что он формировался в науке в качестве математика... «Пуанкаре несколько скептически относился к физическим теориям, считая, что вообще существует бесчисленное множество разных точек зрения, различных образов, которые логически равноправны; ученый делал свой выбор, исходя из соображений удобства. По-видимому, такой номинализм иной раз мешал ему признать тот факт, что среди логически возможных теорий есть такие, которые ближе к физической реальности, во всяком случае лучше приспособлены к интуиции физика и тем самым больше могут помочь ему. Вот почему молодой Альберт Эйнштейн, которому было только 25 лет и математические знания которого не могли идти в сравнение с тем, чем располагал глубокий и гениальный французский ученый, все же раньше Пуанкаре нашел синтез, сразу снявший все трудности, используя и оправдав все частичные результаты предшественников Эйнштейна»¹.

¹ L. de Broglie. Henri Poincaré et les théories de la Physique. (Oeuvres de Henri Poincaré, t. XI. Paris, 1956; p. 66).

Здесь не со всем можно согласиться. К конвенционализму, на который ссылается де Бройль, Пуанкаре пришел в своем анализе эпистемологических проблем, по вряд ли он руководствовался им в своих исследованиях. Как повседневная практика солипсиста в общении с окружающим миром опровергает его философию и выявляет его непоследовательность, так и работы гениального труженика науки Пуанкаре опровергают на деле его конвенционализм и показывают нам его в постоянном поиске истины, за которую, говоря его словами, стоит уплатить сколь угодно высокую цену. Та гиперкритичность, на которую Луи де Бройль указывает, как на возможную причину того, что Пуанкаре дал себя определить Эйнштейну, в другой, так сказать, дуэли — между Лоренцом и Пуанкаре — позволила взять верх именно Пуанкаре. Этот эпизод покажет нам Пуанкаре именно на этапе перехода от классической физики к физике новой; поэтому о нем следует напомнить.

Когда Г. А. Лоренц для объяснения опыта Майкельсона (1881) ввел гипотезу о сокращении тел в направлении их движения (лоренцово или фитцджеральдово сокращение), Пуанкаре одобрил идею, но все же заявил, что его мало удовлетворяют теории, построенные на гипотезах, специально придуманных для объяснения отдельных явлений. И Лоренц признает, что эта критика была для него дополнительным стимулом для поисков общей теории, исходные положения которой были бы достаточны для объяснения, в частности, результатов опыта Майкельсона. На этом пути Лоренц и пришел к своим преобразованиям координат и времени («преобразованиям относительности», как он их позже назвал), опубликованным им в 1904 г. За этим последовали работа Пуанкаре и работа Эйнштейна.

Одна из причин того, что Пуанкаре значительно усовершенствовал теорию, построенную физиком такого ранга, как Лоренц, состоит в том, что он подошел к ней критически и смог усмотреть в ней определенную непоследовательность — нечто «противное разуму».

Сам Лоренц указывает с присущей ему прямотой, что, выводя свои формулы преобразования координат и времени при переходе от одной системы отсчета к другой, он был убежден в существенном различии рассматриваемых им двух систем. В одной из них оси коорди-

нат неподвижны относительно эфира и мы имеем там дело с «настоящим» временем. В другой системе (относящиеся к ней величины будем снабжать штрихами) мы имеем дело просто с вспомогательными величинами, введение которых является только математическим приемом. Переменную t' (во второй системе) нельзя было бы называть «временем» в том же смысле, что переменную t , обозначающую время в первой системе. Лоренц пишет: «При таком ходе мысли я не помышлял о том, чтобы дать описание явлений в системе x', y', z', t' *точно таким же образом* (курсив Лоренца. — И. П.), как в системе x, y, z, t »¹. Именно поэтому Лоренц не дал в своей работе формул для преобразования скорости, плотности электрического заряда, конвективных токов. Все это было получено Пуанкаре, строго показавшим также инвариантность уравнений электродинамики относительно преобразований Лоренца, указавшим на применение в этих вопросах вариационного принципа, сформулировавшим «постулат относительности» (полную равноправность систем X, \dots, t и X^1, \dots, t) — термин, примененный впервые именно Пуанкаре.

Мемуар Пуанкаре 1905 г. поучителен в истории науки и в другом отношении. Он естественным образом делится на две части. В первой изложены упомянутые выше результаты; и не только они, но и сама методика исследования уже выводят нас за круг представлений классической физики. Во второй части рассматривается деформация движущегося электрона — какой она должна быть, чтобы соблюдался принцип относительности. Нельзя отделаться от впечатления, что идейно она гораздо традиционнее первой, что в ней автор, оперируя достаточно наглядными представлениями в духе классической механики, находится значительно дальше от современной физики, чем в первой. Пожалуй, не в «гиперкритичности», а в некоторой традиционности мышления Пуанкаре заключается причина того, что его мог опередить Эйнштейн.

¹ H. A. Lorentz. Deux mémoires de Henri Poincaré, sur la physique mathématique.— «Acta Mathematica», t. 38, 1921, p. 298.

Эта статья напечатана также в «Œuvres de Henri Poincaré», t. XI. Paris, 1956, p. 251.

КЛАССИЧЕСКИЕ И НЕКЛАССИЧЕСКИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ВОЛНОВОЙ МЕХАНИКЕ ДЕ БРОЙЛЯ

Если говорить о месте концепции де Бройля в одномерной, логически упорядоченной эволюции физики, то определение этого места несложно. «Авраам роди Исава, Исав роди Иакова...» Недостаток эйнштейновского «внутреннего совершенства» постулатов Бора заставил искать более общие основы дискретности электронных орбит, волновая механика позволила вывести такую дискретность из оптических понятий, Шредингер нашел для волновой механики адекватный математический аппарат, принцип неопределенности и вероятностная трактовка волновой функции связали последнюю с корпускулярными понятиями... Но сейчас речь будет идти о более общих тенденциях, появившихся уже в XVII в., продолжающихся сейчас и предвидимых в будущем,— о тенденциях, переплетающихся и борющихся одна с другой, дополняющих одна другую и выражаяющихся подчас не столько в позитивных ответах, сколько в новых и новых, адресованных будущему вопросах. В очерке о картеизианской физике, помещенном в начале этой книжки, говорится о геометризирующей тенденции, с одной стороны, и о противоположной тенденции поисков несводимых к геометрии собственно физических определений, с другой. Каково же место де Бройля в эволюции этой фундаментальной коллизии дополняющих одна другую тенденций?

В течение исторического интервала, отделяющего мыслителя XX в. от генезиса классической физики, идея взаимодействия тел приобрела новые формы. «Программа Ньютона» — классический идеал механики дискретных тел — состояла, как уже было сказано, в объяснении всех процессов природы ускорениями, зависящими от положений взаимодействующих тел. Эта программа

включала две задачи, прокламированные в «Математических началах натуральной философии»: объяснение поведения тел силами и вычисление сил по положениям тел. Начало XIX в. прибавило ко второй задаче вычисление сил не только по положениям тел, но и по их скоростям. Речь шла о скоростях электрически заряженных тел и о магнитных силах, а также о силах электрического взаимодействия. Электродинамика Максвелла отде-лила картину силовых взаимодействий от движения тел, она определяла магнитные силы, исходя из изменения электрических сил, и, наоборот, выводила электрические поля из изменения магнитных. В физике появилась «программа Максвелла». Вселенная предстала перед физикой как континуум, в каждой точке которого действует поле и это действие выражается в возникновении другого поля. Взаимодействия как бы эмансипировались от взаимодействующих масс, они не только отличают физические объекты от пространства, но и сами стали физическими объектами. С одной стороны, «программа Максвелла» была дальнейшей геометризацией физики, только физические объекты теперь сопоставлялись не точкам, линиям, поверхностям и объемам, а более сложным геометрическим объектам — тензорам различного ранга. С другой стороны, физические объекты, сопоставленные геометрическим, оказались несводимыми к последним, они обнаружили свои негеометрические свойства.

Такое обнаружение вернуло физику к исходной апории, отчетливо выявившейся у Декарта, к различию между материей и пространством. Электромагнитное поле, став физически реальной средой, уже не могло рассматриваться только в геометрическом аспекте — как колебания некоторых векторов. Но оно не могло быть уподоблено и физическим телам «дополевой» физики. Последняя выделяла тела из окружающего пространства, приписывая им способность действовать друг на друга и, соответственно, непроницаемость. Поэтому соприкосновение тел имело физический смысл и, соответственно, таким смыслом обладало измерение тел. Под измерением могли понимать чисто физический процесс соприкосновения тела с другим, служившим в качестве тела отсчета. Тело отсчета в принципе могло быть распространено как угодно далеко и при этом превращено в систему линеек, с которыми соприкасается данное

тело. Эти реальные или хотя бы только возможные соприкосновения создавали физически содержательное понятие системы отсчета, физически содержательные понятия положения тела и его перемещения.

Поле не могло выполнять подобную функцию. Эфир (иначе говоря, поле, способное быть телом отсчета, привнесенное к телам, фигурировавшим в механике Ньютона) не прошел в физику, выраставшую из «программы Максвелла». Новая физическая реальность — электромагнитное поле, а с ним и другие поля — оказалась действительно новой, она выпала из «программы Ньютона», из картины взаимодействующих, сталкивающихся, обменивающихся импульсами дискретных тел. Новая физическая реальность не имела механических функций, она не состояла из непроницаемых тел, не могла стать телом отсчета для регистрации движения, не обладала вектором скорости... Одним словом, она не была эфиром и эфир должен был быть устранен из картины мира.

Поле не могло быть представлено ни в виде системы дискретных тел, ни в виде механического континуума, т. е. континуума, части которого могут смещаться одна относительно другой с той или иной скоростью, быть соответственно телами отсчета, образовывать упругие волны наподобие звуковых или стать аналогом волнующейся поверхности воды. Несводимость «программы Максвелла» к «программе Ньютона», несводимость оптики (и вообще электродинамики) к механике была важнейшим итогом эволюции физической мысли в конце XIX в. и в начале 900-х годов.

В результате геометрическая оптика не могла получить такое же физическое воплощение, которое получила геометрия тел, поверхностей и линий благодаря понятию непроницаемости. Она получила иное физическое воплощение, здесь имела место иная физикализация геометрии. Взаимодействие тел, получившее в электродинамике Максвелла самостоятельность, эмансирировавшееся от зарядов, стало физическим заполнением геометрических схем оптики, придало этим схемам физическое бытие. Волновая оптика стала «физикализатором» геометрической оптики. Колебание поля — волна — стала «подлежащим» в фразе, где «сказуемое» — движение. Волна это и есть тот объект, который позволяет ответить на вопрос «что движется?», когда геометрическая оптика отвечает на вопрос «как движется?».

И тем не менее физика поля не смогла освободиться от физики тел. «Программа Максвелла», не сведенная к «программе Ньютона», не могла все же от нее окончательно оторваться.

В 1905 г. теория относительности покончила с надеждами на механическое истолкование поля, покончила с эфиром, который был источником таких надежд. Но в том же томе *«Annalen der Physik»*, в котором была напечатана статья Эйнштейна о теории относительности, появилась и его статья о световых квантах. Правда, они не были телами «программы Ньютона», т. е. телами как источниками поля. Они были самим полем. Но факт остается фактом: после освобождения от тел, обладающих скоростью, ускорением, массой, импульсом, энергией, континуальная картина мира не только вернулась к ним, но отождествила поле с такими телами. Это не было возвратом к «программе Ньютона». Это было, скорее, некоторым аналогом сценической комедии ошибок, когда наука в поисках физической содержательности тел сосредоточила свое внимание на их взаимодействиях и, наконец, превратила эти взаимодействия, т. е. поле, в самостоятельную физическую реальность, последняя оказалась другим шекспировским Дромио, она оказалась совокупностью тел.

Эти тела, как уже сказано, были иными, чем элементы ньютоновской программы. Но уже приближалась вторая часть комедии ошибок. «Программа Ньютона», поиски схемы взаимодействующих тел окончились открытием новых частиц — электронов, а последние, как было установлено в 20-е годы, оказались средоточиями волнового поля, т. е. чем-то, относящимся к «программе Максвелла».

Серия решающих событий, приведших к соединению двух фундаментальных тенденций физики, началась открытием волновой природы электрона — диссертацией де Бройля. В 1923 г. молодой французский ученый, незадолго до этого отказавшийся ради физики от общественно-научного поприща, объединил основные принципы спики и механики в единой физической концепции. Это была действительно *физическая концепция*. М.-А. Тоннеля в своем очерке жизни и творчества де Бройля¹,

¹ L de Broglie. *Presentation par M.-A. Tonnelat.* Paris, 1966, p. 22.

предпосланном сборнику отрывков из его работ, поставила в качестве эпиграфа к одной из глав следующие строки Паскаля: «Написать слово без долгого и далеко идущего размышления — это еще очень далеко от того, чтобы увидеть в этом слове изумительную серию дальнейших выводов и выдвинуть четкий принцип, находящий себе опору во всей физике в целом».

«Долгое и далеко идущее размышление», о котором говорит Паскаль, ведет к тому, что новый принцип находит себе опору во всей физике. Иначе говоря, он согласуется со всей совокупностью известных явлений. В данном случае он согласовывался с еще не известными явлениями, из него следовали новые экспериментальные результаты. Но исходная идея была обобщением фундаментальных принципов, которые вместе опирались на всю физику в целом, но порознь служили каждый обобщением лишь одной области. Этими принципами был общий принцип механики — принцип Мопертюи — и общий принцип оптики — принцип Ферма.

Как известно, геометрическая оптика может быть выведена из выдвинутого Ферма в 1662 г. требования, чтобы свет распространялся по такому направлению, которому соответствует наименьшее время распространения. Если свет распространяется в среде, где его скорость непрерывно меняется, берется интеграл от обратной величины фазовой скорости вдоль светового луча. Действительный луч обладает наименьшим интегралом скорости — такова аналитическая форма принципа Ферма.

Теперь обратимся к принципу Мопертюи — выдвинутой в 1774 г. первой исторической форме принципа наименьшего действия. Этот принцип лежит в основе механики дискретных тел. Тело движется по траектории с наименьшим «количеством действия» — так Мопертюи назвал произведение массы, скорости и пройденного телом пути. Разумеется, при различной скорости пользуются интегралом скорости по пути. Таким образом, принцип Мопертюи может быть получен из принципа Ферма, если заменить обратную величину скорости света $1/u$ скоростью движения тела v . Остается предположить, что движению тела со скоростью v соответствует распространение волн с фазовой скоростью u , причем v пропорционально $1/u$. Тогда можно представить движение тела со скоростью v как процесс, подчиненный оптиче-

ской закономерности — наименьшему времени распространения периодических колебаний, обладающих фазовой скорости u . Эта фазовая скорость может быть выражена через абсолютную величину k волного вектора \mathbf{k} и частоту v : $u = v/k$.

Такой переход от геометрической оптики к волновой позволяет перейти от геометрических понятий к волновым и в механике. При переходе к волновой оптике луч представляется нормалью к сферической поверхности равной фазы волны. Представим себе, что действие, фигурирующее в найденной Мопертюи фундаментальной закономерности механики, это фаза распространяющейся во все стороны волны. Поскольку фаза — безразмерная величина, действие нужно разделить на некоторую константу h , имеющую размерность действия. Тогда мы получаем поверхность равного действия — аналог сферической поверхности равной фазы волны. Тело движется по нормали к этой поверхности, его движение — аналог луча, вектор количества движения тела \mathbf{p} направлен по нормали к поверхности равного действия. Эта поверхность распространяется со скоростью u (аналогичной фазовой скорости световой волны), равной энергии тела E , деленной на произведение массы тела m и его скорости v или на абсолютную величину импульса \mathbf{p} . Таким образом, механический аналог фазовой скорости света $u = E/p$, в то время как сама фазовая скорость света $u = v/k$. Отсюда де Бройль получил возможность выразить энергию движущегося тела через частоту «волн действия» или «волн материи», а также выразить импульс через волновой вектор. В эти выражения естественно вошла константа h , на которую делили действие, чтобы приравнять его к фазе волны. Получилось $E = h/v$ и $\mathbf{p} = h\mathbf{k}$. Длина «волны материи», «волны действия», того, что получило название волны де Бройля: $\lambda = h/p$. Частота волн де Бройля равна энергии тела, деленной на константу h .

Все эти сближения волновых величин — частоты и волнового вектора, с корпускулярными — энергией и импульсом движущейся частицы, сближения оптических и механических понятий не были формальными с самого начала. Они были физическими в собственном смысле. Такая констатация пока еще не имеет в виду волновую концепцию движения электрона, непосредственно при-

ведшую к эмпирической проверке: Об этом и речь впереди. Сейчас термин «физические» мы относим к тем общим, отчасти интуитивным тенденциям, которые были характерны для де Бройля уже в начале 20-х годов и связывают его творчество с давней фундаментальной традицией французской научной мысли.

Эту традицию можно было бы назвать картезианской, если учесть необходимые оговорки о физикализации геометрии, о «динамическом аккомпанементе» и о неизбежном расширении и обобщении картезианской программы. Де Бройль через тридцать лет после создания волновой механики говорил об «узком» и «широком» смысле требования Декарта — описания природы «посредством фигур и движений».

«Узкое истолкование декартовской программы состоит в следующем допущении: весь физический мир нужно представить как состоящий из тел, которые изменяют свое положение под влиянием их взаимодействия согласно законам механики, законам, о которых в эпоху Декарта начало создаваться более точное представление. Конечно, можно говорить о других сторонах представлений такого рода, а именно о том, в каком отношении к ним находятся такие представления, как представления о силах или действии на расстоянии, но эти представления всегда сводились к «механическому» истолкованию физической реальности, что заставляло рассматривать механику как основную науку, из которой должна выводиться все остальная физика. Механика довольно естественно приводила к рассмотрению вещества в целом как совокупности бесконечного числа движущихся и взаимодействующих частиц».

Взаимодействие частиц, как мы видели, было необходимой компонентой кинетической картины мира, без него она лишалась физической содержательности. Картина взаимодействий, картина поля стала в XIX в. картиной физической реальности, более общей, чем механическое представление о непроницаемых телах. После приведенных строк де Бройль пишет:

«Вместо этого строгого истолкования формулы Декарта, которое в течение длительного времени принималось большинством теоретиков, можно выдвинуть более широкое и более абстрактное истолкование, согласно которому физическая реальность может быть описана ве-

личинами, вполне определенными в любой точке пространства и изменяющимися с течением времени по математическим законам, не предполагая, что это описание должно сводиться к образам частиц или что оно должно использовать только строго механические законы. Однако это истолкование, более далекое, чем предыдущее, от первоначальной идеи Декарта, точно так же допускает представление посредством фигур и движений, если только понимать, что оно ограничивается точной картиной физического мира в априори заданных рамках пространства и времени». В XIX в. физика распалась на две части: механика развивалась в общем на основе «узкого истолкования» программы Декарта, а электродинамика — на основе «широкого истолкования». Эти два истолкования и были названы «программой Ньютона» и «программой Максвелла».

Стремление объединить эти программы, стремление реализовать «широкое истолкование» как логически связанное с «узким», т. е. обобщить, модифицировать и объединить картезианскую традицию, исключало возможность формального понимания оптико-механических сближений. Но физически содержательное сближение вело исследователя за пределы классической физики.

Вернемся к константе h , на которую нужно разделить действие — произведение массы, скорости и пути частицы, — чтобы превратить его в аналог фазы волны. Де Бройль отождествил эту константу с константой Планка — квантом действия. Это и было выходом за пределы классической физики, за самые широкие ее пределы. Квантование действия — за пределами дифференциального представления движения. Мысль о *мгновенном* состоянии движения, определяющем последующие мгновенные состояния, о принципиальной возможности проследить движение частицы от точки к точке и от мгновения к мгновению, была наиболее общей посылкой классической науки и наиболее последовательным физическим воплощением классического рационализма. Когда в физическую теорию вошло представление о квантовании действия и затем энергии, тем самым наука допустила существование областей, где необходим «грех против разума», где пространство и время перестают быть непрерывным рядом точек и мгновений, в которых в принципе всегда может быть определено движение.

В пространственно-временной картине мира появились «поры» и наука получила в постоянной Планка меру величины этих «пор».

Впрочем, подлинным отходом от классической науки была не дискретность действия, а дискретность энергии излучения, дискретность самого электромагнитного поля. Наиболее парадоксальной стороной открытия фотонов было то обстоятельство, что дискретная корпускулярная природа поля совмещалась с его волновой природой. «Предлагая вернуться,— писал в 1958 г. де Бройль,— к картине излучений, содержащих корпускулярные концентрации энергии, Эйнштейн понимал, что нельзя полностью отказываться от волновой картины излучений, данной в трудах Френеля, переистолкованных Максвеллом. Итак, Эйнштейн утверждал, что отныне будет необходим синтез двух картин, и он представлял себе будущую картину излучения в виде поля, сильно сконцентрированного в небольших областях пространства. Но он отдавал себе ясный отчет в том, что постоянная h играет существенную роль в объединении волновой картины и корпускулярной картины».

Далее де Бройль говорит, что волновая механика была распространением корпускулярно-волнового дуализма (уже содержавшегося по существу в теории световых квантов) на элементарные частицы вещества.

«Начавшееся в 1923—1924 гг. развитие волновой механики очень ясно показало, что истинный смысл постоянной h заключается в том, чтобы служить соединительной чертой между корпускулярной стороной и волновой стороной элементарных единиц вещества и излучения. Основная идея волновой механики, как она представлялась вначале автору настоящей статьи, состояла в распространении на все частицы вещества двойственности аспекта «волна и частица», открытой Эйнштейном для случая света, и в постоянной связи механических величин энергии W и импульса p частицы с волновыми величинами, частотой v и длиной волны λ , волны, которую необходимо было связать с частицей посредством тех же фундаментальных соотношений, что и для частного случая фотона, с той единственной разницей, что для частиц вещества соотношение между v и λ имеет более сложный вид, чем соотношение $\lambda = c/v$, справедливое для фотонов».

Когда де Бройль ввел идею корпускулярно-волнового дуализма в теорию электрона, эта идея стала действительно общей. Тем самым была завершена основная классическая тенденция в физике — слияние «программы Ньютона» и «программы Максвелла». Классическая физика обладала двумя первоначально разнородными исходными понятиями. Во-первых, это было понятие частицы — концентрация демокритовского «бытия». Во-вторых, это взаимодействие частиц, определяющее их поведение. Уже в XVII в. была ясна своеобразная дополнительность этих понятий: схема расположения и движения частиц не имеет физического содержания, если частицы не обладают взаимодействием («динамический аккомпанемент» кинетической мелодии), а взаимодействие теряет смысл без схемы расположения и движения взаимодействующих частиц. Но это была классическая дополнительность, дополнительные понятия не исключали друг друга, существование и взаимодействие были двумя определениями частиц, не вступавшими одно с другим в конфликт. После Фарадея и Максвелла поле — схема взаимодействий — стало средой, обладающей физическим существованием. Но частицы и поле представлялись различными субстанциями, и несомненность дискретно-корпускулярных и континуально-волновых свойств никого не могла тревожить: одни свойства принадлежали одной субстанции, другие — другой. Классическая физика искала объединения этих субстанций, она иногда пыталась обнаружить в моделях эфира механический субстрат поля, иногда хотела увидеть в частицах особые точки континуальной среды. И тот и другой путь не уводил физику от классической дополнительности, не прорывал классических рамок.

Корпускулярное представление об электромагнитном поле в неявной форме, а волновое представление об электроне в явной прорывали эти рамки.

Электрон обладает и волновыми и корпускулярными свойствами, т. е. свойствами, которые исключают друг друга. Это была совершенно новая ситуация и совершенно новая форма дополнительности — квантовая дополнительность, т. е. понятие, введенное в 1927 г. Нильсом Бором. Классическая дополнительность — это существование различных, но не исключающих один другого предикатов физического объекта: классическая частица

обладает определенной пространственно-временной дислокацией и определенным взаимодействием с другими частицами.

В квантовой механике взаимодействие, позволяющее определить обмен частицы импульсом и энергией с другими телами, делает невозможным определение локализации. Переменные квантового объекта определяются волновым процессом, как это установил в 1923—1924 гг. де Бройль (определение импульса и энергии по волновому вектору и частоте), и волновым уравнением Шредингера. Но последнее позволяет узнать лишь значения вероятности пространственно-временной локализации частицы, ее энергии и импульса. Таким образом, корпускулярные предикаты — локализация и взаимодействие — относятся к фактическим событиям, а волновые предикаты — к вероятности этих событий. Подобная концепция — борновская концепция «волн вероятности» — лишает волновую механику ореола парадоксальности: несовместимые волновые и корпускулярные предикаты принадлежат различным субъектам — событиям и их вероятностям.

Гораздо более классическая по своему духу концепция «двойного решения», выдвинутая де Бройлем в 1927 г.¹, в сущности также стремилась приписать исключающие предикаты различным физическим субъектам. Но здесь речь шла не о поведении частиц, с одной стороны, и вероятности их поведения — с другой. В теории де Бройля дилемма модифицируется. Вместо корпускулярного и волнового аспектов вводится дуализм двух волновых представлений: один из них допускает существование волны *и* с сингулярностью (тогда корпускулярный аспект получается из волнового чисто классическим путем) и волны без сингулярности, непрерывной волны ψ . Волновое уравнение дает непрерывное решение — непрерывную функцию ψ , но это решение дублируется другим — функцией *и* с сингулярностью, естественным образом описывающей поведение частицы. Обе эти функции имеют одну и ту же фазу в каждой точке пространства, в каждый момент времени. Но амплитуды их различны, что связано с наличием сингулярности у одной из них и отсутствием у другой.

¹ L. de Broglie. Journ. de Phys. 1925, 8, N 5, p. 225.

Волна и с сингулярностью представлялась де Бройлю описанием реального процесса — движения частицы. Непрерывное решение — волна ψ — интерпретировалось как мера вероятности пребывания частицы в данной точке в данный момент. Квадрат модуля амплитуды ψ выражает вероятность того, что частица находится в данной точке.

Вероятность, мерой которой в «теории двойного решения» служила непрерывная волновая функция ψ , была вероятностью в классическом смысле — мерой знаний о реальных событиях — и сама по себе не рассматривалась как описание реальных событий. В отличие от нее вероятность, о которой шла речь в концепции Борна, представлялась описанием физической реальности; концепция Борна связала квантовую механику с обобщением понятия физической реальности. Такое обобщение выводит науку за пределы классической картины мира. Волновое представление о корпускулярном объекте перестает быть характеристикой познания, оно становится характеристикой бытия.

Можно ли думать, что неклассическая идея дополнительности корпускулярного и континуального представлений как неотделимых одно от другого описаний физической реальности отсутствовала в волновой механике, сформулированной де Бройлем в 1923—1924 гг.? Нет, эта фундаментальная идея содержалась в *основных* посыпках вышедших в эти годы работ. Именно, в основных: «теория двойного решения», последующее присоединение де Бройля к копенгагенской интерпретации квантовой механики, возврат к модифицированным взглядам 1924—1927 гг. — все это не меняло неклассического смысла исходного сближения волновых и корпускулярных понятий. Такое сближение нельзя было интерпретировать образом классического континуального поля с сингулярностями, представлением о частице как о волновом пакете — вообще какой бы то ни было классической концепцией.

Де Бройль не согласился с наиболее простой классической версией корпускулярно-волнового дуализма, предложенной Шредингером. Последний отказывал частицам в подлинной реальности, считал волны де Бройля такой же самостоятельной, не включающей субстанциальных корпускулярных определений реальностью, как классиче-

ские волны. В 1953 г. де Бройль писал, что такая версия не имеет шансов и дуализм волны и частицы следует считать физическим фактом. Тогда остаются две возможности: теория двойного решения и копенгагенская трактовка квантовой механики.

«Первое толкование, которого я придерживался до 1928 г., состоит в том, чтобы придать дуализму волна — частица конкретное значение на основе традиционных идей физики и поэтому толковать его, исходя из рассмотрения частицы как своего рода сингулярности в распространяющемся волновом явлении, центром которого она, видимо, является. В этом случае трудность состоит в том, чтобы понять, почему волновая механика успешно использует не обладающие никакими сингулярностями *непрерывные* волны типа непрерывных волн классической теории света...

Второе толкование дуализма волна — частица состоит в том, чтобы рассматривать представления о частоте и о непрерывной волне по отдельности и смотреть на них как на „дополнительные стороны реальности“ в том смысле, который Бор придает этому выражению».

После 1928 г. де Бройль перешел от первого толкования ко второму, а в 50-е годы вернулся, как уже сказано, к измененной первой концепции. Эти переходы не меняли исходной идеи, которая приобрела самостоятельное бытие и неизбежно должна была раскрыть таившееся в ней неклассическое содержание.

Оно заключалось прежде всего в *субстанциальном* понимании корпускулярно-волнового дуализма. Для неклассической физики характерно представление о парадоксальных соотношениях, которые объективно существуют в природе, причем эксперимент однозначно подтверждает их объективный характер. Генезис теории относительности был связан с переходом от лоренцовской феноменологической трактовки существующего, но прячущегося от наблюдателя движения в эфире, к представлению Эйнштейна о реальном, хотя и парадоксальном отсутствии такого движения и отсутствии самого эфира. Квантовая механика была связана с признанием реального, объективного, физического парадокса — наличия континуальных и корпускулярных предикатов у одного и того же субъекта. С этой стороны, интересны воспоминания Гейзенberга о его беседах с Бором весной 1926 г.

Квантовая механика, разрабатывавшаяся зимой 1925—1926 г. Гейзенбергом, Бором, Иорданом, а также Дираком, исходила из корпускулярных свойств частиц как единственно реальных свойств. С другой стороны, Шредингер приписывал реальность де-бройлевым волнам, которые он считал аналогом волн на поверхности воды, упругих или же электромагнитных волн. У Бора в это время уже появилась мысль о таком понимании физической реальности, которое приписывает физическую содержательность и корпускулярным и волновым понятиям квантовой механики. Весной 1926 г. в Копенгагене в течение нескольких недель Бор в беседах с Гейзенбергом обсуждал возможность такой интерпретации квантовой механики, в которой частицы и континуум с самого начала были бы неотделимы один от другого аспектами микромира. В результате принцип неопределенности получил свое обоснование в корпускулярно-волновом принципе дополнительности.

Принцип дополнительности Бора принадлежит к числу принципов, относящихся к определенной области явлений природы и вместе с тем выражающих и конкретизирующих более общие фундаментальные закономерности бытия. Бор выдвинул этот принцип для обоснования неопределенности сопряженных переменных при взаимодействии частицы с классическим объектом, в отношении которого квантовая механика игнорирует корпускулярно-волновой дуализм.

В действительности этот классический объект состоит из частиц, обладающих волновыми предикатами, т. е. из квантов континуального поля. Но это последнее рассматривается как континуальное тело с гарантированной, точной реакцией на импульсы и энергию частиц либо с гарантированной, точной пространственно-временной градуировкой, позволяющей определить локализацию каждой частицы. Когда перед нами процессы взаимодействия частиц с очень высокими энергиями, приходится учитывать квантово-релятивистские закономерности. Здесь уже нельзя пользоваться понятием классического прибора с игнорируемой квантовой структурой и корпускулярно-волновым дуализмом. Схема де Бройля «волна — корпускула» распространяется на оба взаимодействующие объекта, де-бройлева *неклассическая* концепция захватывает более широкую область.

Но и то, что было *классическим* в концепции де Бройля, *классическая* сторона волновой механики, сохраняется и обобщается в новой области, в релятивистской квантовой области, в теории элементарных частиц. В чем состояла это сторона? Она состояла в возможности при некоторых отчетливо сформулированных условиях и ограничениях применить в исследовании микромира классические понятия *макроскопической* физики. В так называемой копенгагенской концепции такая возможность обеспечивается с помощью классического объекта и неопределенности. Но уже в первом, де-бройлевом, варианте волновой механики содержалась указанная возможность. Волновая механика де Бройля позволила применить к континуальному волновому полю классические корпускулярные понятия. Это, собственно, содержалось уже в теории фотонов, но де Бройль в своей теории рассматривал волновое поле в качестве континуального представления корпускулярных объектов с классическими предикатами.

Классическая сторона теории де Бройля последовательно модифицировалась. После концепции классического объекта и соотношения неопределенностей сопряженных переменных, с переходом к релятивистской квантовой теории и к попыткам построения общей теории элементарных частиц понятие дополнительности стало более общим, чем первоначальное понятие, относившееся к волновому и корпускулярному аспекту при определении динамических переменных частицы.

В пространственно-временных областях, где царствуют релятивистские квантовые закономерности, в областях порядка 10^{-13} см и 10^{-24} сек, речь идет уже не о неопределенности переменных непрерывно движущейся тождественной себе частицы определенного типа. По-видимому, здесь физика должна столкнуться с ультрарелятивистскими процессами, прерывающими себе тождественность частицы, делающими неопределенной в указанных областях принадлежность частицы к тому или иному типу. Но это предположение теряет смысл без дополнительных макроскопических понятий. Среди подобных понятий основным является понятие *мировой линии*. Оно в свою очередь требует классических понятий пространственно-временной локализации, импульса и энергии частицы. Определенный тип частицы характеризуется при

данных условиях в данном поле определенной мировой линией (пространственными и временной координатами), ее направлением (импульс), кривизной, отношением кривизны к действующим полям (заряд, масса) и т. д.

Прерывающая себетождественность трансмутация частицы имеет физический смысл (может быть экспериментально зарегистрирована), если она состоит в переходе от одной эвентуальной мировой линии к другой. В свою очередь трансмутации придают физический смысл мировой линии. Констатация такой дополнительности классических и радикально неклассических понятий может служить отправной точкой ретроспективных исторических оценок.

Она даже бросает свет на некоторые проблемы психологии творчества. Для выдающихся физиков нашего столетия характерно двойственное отношение к классическим понятиям. Иногда оно приводило к трагическим ситуациям — достаточно вспомнить Лоренца, жалевшего, что он не умер до краха классических устоев, и подлинную трагедию Эренфеста, углубившегося в неклассическую физику, но не вынесшего интеллектуального напряжения, которого она требовала от ученого. Может быть, еще более трагическими были случаи, когда классическая «ностальгия» уводила ученого от признания классических понятий как полюса, неотделимого от неклассических, к абсолютизации классических понятий. Словом «ностальгия» Роберт Оппенгеймер назвал желание современного физика, вступившего в субъядерную область, вернуться в более привычные области атомной и ядерной физики¹. Но аналогичная «ностальгия» существовала и при переходе от макроскопической физики к атомной и ядерной.

Классическая «ностальгия» в сочетании с тягой в неклассические дали — психологический эквивалент логической коллизии классических и неклассических понятий, весьма отчетливо описанный в известном курсе теоретической физики Л. Д. Ландау и Е. М. Лифшица: квантовая механика не только содержит классическую

¹ Р. Оппенгеймер. Предисловие к книге «Природа материи. Цели физики высоких энергий». — «Успехи физических наук», 1965, т. 86, вып. 1, стр. 595.

как предельный случай, но и нуждается в ней для своего обоснования¹.

При создании волновой механики для де Бройля так же, как и для других мыслителей XX в., было характерно сочетание классических и неклассических тенденций. Это сочетание еще не приобрело той отчетливой формы дополнительности исключающих друг друга понятий, которую нашел Бор. Сова Минервы вылетает, как известно, ночью и точный смысл того, что происходит в науке, выясняется только тогда, когда дело уже сделано. Менее отчетливые полуинтуитивные тенденции творчества намечаются раньше. Среди этих тенденций для де Бройля, быть может, имел значение его интерес к историческим проблемам вообще и к истории науки, в частности. Исторический подход к науке позволяет увидеть те эвентуальные связи каждой теории прошлого с другими, те логические «валентности» теории, которые в свое время не реализовались и могут ускользнуть от внимания современного исследователя, если он ограничивается современным видом старой теории. Не исключено, что историко-научные интересы де Бройля помогли ему увидеть «валентности» принципа Ферма и принципа Монпертои. Разумеется, это лишь догадки. Ни исследователь истории науки, ни сам ее герой не могут различить четкие контуры и связи в полуслучае интуитивных истоков открытия. С несколько большей достоверностью можно представить себе, что с историко-научными интересами де Бройля сочетается понимание связи новых, неклассических принципов с классическими, понимание исторической ограниченности классической картины мира и в то же время перехода классических понятий в новую физику в качестве необходимого звена ее обоснования. И, наконец, еще более вероятным будет предположение, что в скрытом психологическом подтексте открытия волновой механики сказалась ее историческая связь с рационализмом XVII в., если в последнем видеть его апории, его противоречия, его «грех против разума» — все, что придавало и придает жизнь каждой абстрактной схеме бытия.

¹ Л. Ландау и Е. Лифшиц. Теоретическая физика, т. III. Квантовая механика. М., 1963, стр. 15—16.

*Борис Григорьевич Кузнецов,
Иосиф Бенедиктович Погребысский*

**Французская наука
и современная физика**

*Утверждено к печати редколлегией
научно-популярной литературы Академии Наук СССР*

*Редактор издательства С. И. Ларин. Художник В. М. Аладьев.
Технический редактор Л. И. Куприянова*

*Сдано в набор 12/IX 1967 г. Подп. к печ. 21/IX 1967 г. Формат 84×108¹/₂
Бумага № 1 Усл. печ. л. 4,2 Уч.-изд. л. 4,0 Тираж. 11 000 экз. Тип. зак. 6910
Т-13716. Цена 25 коп.*

*Издательство «Наука». Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я типография издательства «Наука». Москва, Г-99, Шубинский пер., 10*

Б. Г. КУЗНЕЦОВ
И. Б. ПОГРЕБЫССКИЙ

ФРАНЦУЗСКАЯ
НАУКА
И
СОВРЕМЕННАЯ
ФИЗИКА