

II

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

1. ЭВОЛЮЦИЯ ПОНЯТИЙ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ

Исторический анализ предпосылок теории относительности связан с анализом понятий пространства, времени и движения классической физики.

Принцип кинематической относительности с достаточной отчетливостью был высказан уже Н. Коперником (1473—1543), согласно учению которого всякое воспринимаемое нами изменение положения тела происходит в результате либо движения наблюдаемого предмета, либо движения наблюдателя, либо вследствие движения наблюдателя и наблюдаемого предмета, если эти движения различны. Коперник применяет эти положения в первую очередь к видимому суточному вращению небесного свода и приходит к заключению, что наблюдаемые нами движения звезд и планет являются результатом движения Земли на орбите вокруг Солнца и ее вращательного движения вокруг собственной оси. Представления о кинематической относительности легли в основу гениального трактата Коперника «Об обращении небесных сфер». Об этом произведении Энгельс писал: «Чем в религиозной области было сожжение Лютером папской буллы, тем в естествознании было великое творение Коперника, в котором он,— хотя и робко, после 36-летних колебаний, и, так сказать, на смертном одре,— бросил вызов церковному суеверию» [1, стр. 153].

Принцип кинематической относительности, как и в дальнейшем более широкий принцип относительности Эйнштейна, открыл путь к широким обобщениям.

Сложнее обстояло дело с принципом инерции. Понятия инерции в современном понимании у Коперника не было. Пенлеве выдвинул предположение, что Коперник и коперниканцы вполне сознавали принцип инерции и его всеобщность. Тот же факт, что он не был ими сформулирован, Пенлеве объясняет якобы личной

опасностью, грозившей им за такое утверждение. Однако, как отметил Мейерсон, Декарт, осторожность которого хорошо известна, сформулировал принцип инерции, тогда как в вопросе о движении Земли он, наоборот, прибегал к многочисленным оговоркам. Наряду с отчетливым пониманием принципа кинематической относительности Коперник допускал представление о том, что реальным центром вращения нашей планетной системы является Солнце.

У Джордано Бруно (1548—1600) резкая критика старых представлений о Вселенной сочетается с утверждением, что в бесконечной Вселенной нет привилегированных точек. Признание множественности миров, отрицание существования центра мира, утверждение о равноправности всех направлений в пространстве были дальнейшим существенным шагом в истории развития представлений о пространстве и времени. Релятивизм Бруно также носит кинематический характер.

В дальнейшем, наряду с чисто кинематическим релятивизмом, выступают элементы динамического релятивизма. Иоганн Кеплер (1571—1630) в своих трудах уделял много внимания вопросам инерции, относительного движения и проблеме динамического истолкования движений планет. Работы Кеплера высоко оценил Энгельс. Анализируя первый период нового естествознания, он писал, что в области математики, механики и астрономии этот период характеризуется великими достижениями (особенно благодаря работам Кеплера и Галилея), выводы из которых были сделаны впоследствии Ньютоном.

При объяснении движения тел Кеплер, подобно Копернику, пользуется принципом относительности движения, но в отличие от него уже не прибегает к представлениям об естественном движении тел. Понятие инерции в современном смысле Кеплеру было неизвестно. Согласно Кеплеру, всякое тело стремится сохранить за собой то место пространства, в котором оно находится, и это стремление тела оставаться в том же месте пространства не зависит от его движения. В случае, если бы «инерция» могла осуществиться, она привела бы тела в состояние покоя. Этими «инерционными» свойствами обладают не только небесные тела; инерция представляет собой универсальное свойство всякой материи.

Понятие инерции у Кеплера не совпадает с понятием инерции, введенным Декартом. Тем не менее Лейбниц многократно писал, что понятие инерции открыто Кеплером и заимствовано у последнего Декартом. Поскольку Лейбниц обладал ясным пониманием принципа инерции, могло возникнуть представление, что Лейбниц обнаружил это понятие в трудах Кеплера или что им дана иная интерпретация широко известных утверждений Кеплера. Мейерсон показал, что Лейбниц приписывает Кеплеру понятие инерции как синонима массы. «Это утверждение,—

пишет Мейерсон,— в главной части своей несомненно справедливо. Кеплер часто утверждает, что в силу «инерции» материя сопротивляется силе, стремящейся сдвинуть ее с места, и что происходящее в результате движение регулируется соответственно отношению между инерцией и движущей силой» [2]. С этой точки зрения не лишено возможности, что Кеплер в какой-то мере вдохновлял Декарта, но Декарт глубже условил сущность понятия «массы», связав его с принципом инерции.

Интересно отметить, что во всех рассматриваемых работах проблемы относительности были связаны преимущественно с астрономическими исследованиями, и лишь у Галилея (1564—1642) исследования пространства и времени сочетаются с физическим экспериментом и использованием математических средств.

Полемизуя с Аристотелем в вопросе обоснования необходимости трехмерного пространства, Галилей писал, что тремя перпендикулярами определяются три измерения, и так как через данную точку не может проходить еще какая-нибудь линия, которая образовала бы прямые углы в этой точке с тремя данными, то существует только три измерения. Существенным при этом является не сам результат, а метод доказательства. Закон инерции, так же как и концепцию относительности движения, Галилей разрабатывает в тесной связи с законами механического движения. Дальнейшее развитие механики и физики шло по пути, намеченному Галилеем.

Как одну из основных линий в развитии механики XVII—XVIII вв. следует отметить переход от картезианского релятивизма к релятивизму динамическому. Картезианский релятивизм вытекает из учения Декарта о пространстве и времени.

Р. Декарт (1596—1650), рассматривая протяженность как атрибут телесной субстанции, относит время к модусу мышления. Если протяженность составляет, по Декарту, природу субстанции, то время, которое он отличает от длительности, есть лишь способ, каким мыслится эта длительность. Эта концепция Декарта не стала определяющей в развитии физики в целом и в учении о пространстве и времени в частности.

Большую роль сыграла формулировка закона инерции, впервые предложенная Декартом в 1644 г. «Каждая частица материи в отдельности продолжает находиться в одном и том же состоянии до тех пор, пока столкновение с другими частицами не вынуждает ее изменить это состояние. Иными словами, если она остановилась на каком-нибудь месте, она никогда не двинется отсюда, пока другие ее не вытолкнут; и раз она уже начала двигаться, то будет продолжать это движение постоянно с равной силой до тех пор, пока другие ее не остановят или не замедлят ее движения» [3].

Для картезианского релятивизма характерно учение об относительности движения, связанное с отрицанием пустого пространства, и сведение сил к кинетическому воздействию среды; для динамического же релятивизма характерно учение об инвариантности законов динамики при переходе от покоя к равномерному прямолинейному движению. Если в картезианском релятивизме относительность мыслится как в отношении прямолинейного, так и криволинейного движения, то в релятивизме динамическом устремления направлены в сторону четкого ограничения поставленной задачи прямолинейным движением.

Говоря о Копернике, Бруно, Кеплере, Галилее, мы отмечаем лишь основные вехи развития понятий пространства, времени, движения. На протяжении двух веков сочинение Ньютона (1642—1727) «Математические начала натуральной философии» — книга, которая наряду с анализом понятий материи, пространства, времени, движения содержала и многие другие математические, механические и физические концепции — являлось почти незыблемым основанием механики и физики.

В этой книге Ньютон вслед за определениями количества движения, инерции, приложенной силы, центростремительной силы, основанными на определенных физических допущениях, переходит к «поучению», в котором даны определения понятий времени, пространства, места и движения.

В начале «поучения» Ньютон отмечает, что в изложенных выше определениях имелось в виду объяснить, в каком смысле употребляются в дальнейшем менее известные понятия. В отличие от них время, пространство, место и движение составляют понятия общеизвестные. «Однако, — пишет Ньютон, — необходимо заметить, что эти понятия обыкновенно относятся к тому, что постигается нашими чувствами. Отсюда происходят некоторые неправильные суждения, для устранения которых необходимо вышеприведенные понятия разделить на абсолютные и относительные, истинные и кажущиеся, математические и обыденные» [4, стр. 30].

Вслед за этим Ньютон переходит к четырем определениям:

«I. Абсолютное, истинное, математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему, протекает равномерно, и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная или изменчивая, постигаемая чувствами, внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени как то: час, день, месяц, год.

II. Абсолютное пространство по самой своей сущности безотносительно к чему бы то ни было внешнему остается

всегда одинаковым и неподвижным. Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел, и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное...

III. Место есть часть пространства, занимаемая телом, и по отношению к пространству бывает или абсолютным, или относительным...

IV. Абсолютное движение есть перемещение тела из одного абсолютного его места в другое, относительное — из относительного в относительное же» [4, стр. 30—31].

Ньютон стремился строить систему понятий, исходя из опыта, и вводить как можно меньше понятий, не находящихся в прямом отношении к действительности; тем не менее им установлены понятия абсолютного времени и пространства. Эйнштейн отмечает, что в наши дни Ньютона за это упрекали часто, но именно в этом пункте Ньютона особенно последователен «Он обнаружил, что наблюдаемые геометрические величины (расстояния материальных точек друг от друга) и их изменения во времени еще не определяют сполна движения в физическом смысле. Он доказывает это на своем знаменитом опыте с сосудом. Кроме масс и их расстояний, изменяющихся во времени, есть еще нечто, определяющее течение события; это «нечто» он понимал как отношение к «абсолютному» пространству. Он приходит к выводу, что, если его законы движения должны иметь значение, пространство должно обладать физической реальностью в той же мере, как материальные точки и их взаимные расстояния» [5].

Позднее Эйнштейн писал о двух понятиях пространства, которые могут быть противопоставлены друг другу: а) пространстве как свойстве положения мира материальных предметов (следовательно, пространство без материального предмета немыслимо) и б) пространстве как вместилище всех материальных предметов [6].

Ньютон пришел к этому выводу несмотря на то, что вполне понимал трудности этой трактовки и причины оппозиции Лейбница и Гюйгенса. «Пространство не только вводилось как отдельный предмет, независимый от материальных объектов, ему приписывалась также абсолютная роль во всей каузальной структуре теории. Эта роль абсолютна в том смысле, что пространство (как инерциальная система) действует на все материальные предметы, в то время как последние не оказывают какого-либо обратного действия на пространство» [7, стр. 126].

Ньютоновские абстракции пространства и времени позволяли решать разнообразные конкретные механические и физические задачи, и в этом был их рациональный смысл. Эйнштейн отмечает два момента, вследствие которых была принята концепция Ньютона. Эта концепция в тот период развития науки была

единственно возможной и, главное,— единственно плодотворной. Атомная теория древних, согласно которой атомы существуют отдельно друг от друга, также способствовала победе ньютоновской концепции.

Согласно Ньютону, мы должны отличать место, занимаемое телом, от самого тела. Вопрос же о том, как отделить практически «место» от тела весьма труден. Отсюда вытекают и трудности в определении относительного и абсолютного движений. Определение истинных движений отдельных тел и точное их разграничение от кажущихся весьма трудно. Однако Ньютон считал, что, с какими бы трудностями ни было связано недоступное нашим чувствам абсолютное пространство, проявления известных сил природы принуждают нас признать его существование.

Принцип кинематической относительности Коперника в конечном итоге привел к постановке динамических проблем. Принципы динамики Ньютона в свою очередь привели к принципу динамической относительности движения.

Динамическая относительность движения, установленная Ньютоном, глубоко связана с теми новыми положениями в работах Ньютона, которые мы не встречаем у его предшественников.

Дав классическую формулировку принципа инерции, установив принцип равенства действия и противодействия и основной закон механического движения тел, а также внося ясность в общую формулировку правила параллелограмма сил, Ньютон всегда связывал эти проблемы с классической формулировкой относительных понятий пространства, времени и движения при явном или неявном допущении существования абсолютного пространства и времени.

Антикартезианскую направленность носят у Ньютона как определения места, так и определения движения. «Свойство движения состоит в том, что части, сохраняющие постоянное положение по отношению к целому, участвуют в движении этого целого. Так, все части вращающихся тел стремятся удалиться от оси вращения, для движущихся поступательно полное движение образуется из соединения отдельных частных движений» [4, стр. 3].

Эти примеры нужны Ньютону для антикартезианского утверждения, что истинное абсолютное движение тела нельзя определить по перемещениям относительно соседних тел, которые рассматриваются как неподвижные.

«В тесной связи,— пишет Ньютон,— с предыдущим свойством находится такое: тело, движущееся в подвижном пространстве, участвует и в движении этого пространства, поэтому тело, движущееся от подвижного места, участвует в движении своего места. Следовательно, все движения, совершающиеся от подвижных мест, суть лишь составляющие части полных абсолют-

ных движений, и всякое полное движение составляется из движения тела от первого места своего, из движения этого первого от его места и так далее, пока не достигнет места неподвижно-го...» [4, стр. 33].

У Ньютона, в отличие от его предшественников, на первый план выступает динамическая относительность: определения места и движения подготавливают основу для такой трактовки. Он пишет: «Причины происхождения, которыми различаются истинные и кажущиеся движения, суть те силы, которые надо к гелам приложить, чтобы произвести эти движения. Истинное абсолютное движение не может ни произойти, ни измениться иначе как от действия сил, приложенных непосредственно к самому движущемуся телу, тогда как относительное движение тела может быть произведено и изменено без приложения силы к этому телу. Достаточно, чтобы силы были приложены к тем телам, по отношению к которым это движение определяется. Когда тела будут уступать действию сил, будет изменяться и то относительное положение, которым определяется относительный покой или относительное движение. Наоборот, истинное движение всегда изменяется от приложения к телу сил, относительное же движение может при таком приложении сил и не изменяться. Так, например, если к телам, к которым движение заданного тела относится, будут приложены такие силы, что относительное положение всех тел будет сохраняться, то сохранится и относительное движение заданного тела по отношению к прочим. Таким образом, всякое относительное движение может быть изменяемо такими действиями, при которых абсолютное движение не меняется, и может сохраниться при таких, от которых абсолютное изменяется, так что абсолютное движение совершенно не зависит от тех соотношений, которыми определяется движение относительное» [4, стр. 33].

Интересный аспект ньютоновской механики отметил Минковский. Он писал, что уравнения ньютоновской механики обнаруживают двойную инвариантность: во-первых, их форма сохраняется при любом изменении положения координатной системы и, во-вторых, при каком-либо равномерном поступательном движении этой системы. Поскольку аксиомы геометрии мы привыкли считать установленными, эта «двойная» инвариантность, вероятно, редко формулируется вместе. В действительности же имеются две определенные группы преобразований дифференциальных уравнений механики. «Существование первой группы рассматривают как основной признак пространства. Ко второй группе охотнее всего относятся с презрением, чтобы легкомысленно пройти мимо того обстоятельства, что, исходя из физических явлений, никогда нельзя решить, не находится ли все-таки пространство, предполагаемое покоящимся, в равномерном поступательном движении. Указанные две группы ведут, таким образом, совер-

шенно обособленнсе существование. Их совершенно разнородный характер, вероятно, и препятствовал объединению. Но как раз объединенная полная группа как целое дает пищу для нашей мысли» [8, стр. 303].

Далее Минковский отмечает, что из второй группы (G_c) в пределе при $c \rightarrow \infty$, т. е. из группы G_∞ , получается полная группа преобразований, характерная для ньютоновской механики. В таком случае, учитывая, что G_c понятнее, чем G_∞ , математик мог бы прийти к мысли, что явления природы в конце концов действительно инвариантны не относительно группы G_∞ , но скорее относительно группы G_c с определенным конечным c . «Такое предвосхищение было в этом вопросе не обыкновением триумфом чистой математики. Математика в этом вопросе не оказалась находчивой; все же для нее остается удовлетворение, что она благодаря своим более ранним счастливым предшественникам с их дальновидным и острым умом в состоянии теперь сразу же охватить глубоко идущие следствия подобной перестройки нашего миропонимания» [8, стр. 305]. В действительности же переход от группы G_∞ к группе G_c требовал перестройки всей ньютоновской механики.

Можно отметить, что уже Декарт в письме к Мерсенну в октябре-ноябре 1631 г. писал о предельной скорости материальных тел. Он полагал, что камень имеет неодинаковую способность увеличивать количество движения или скорость, если он движется очень быстро и очень медленно. Позднее Лаплас, записывая количество движения в виде $mf(v)$, а кинетическую энергию в виде $\int mf'(v)dv$, как бы открыл новый закон динамики. У Декарта это вытекало из его представления о мере движения, в то время как у Лапласа — в силу математической тенденции к обобщению. Однако это не было переходом к G_c . Высказывание Декарта о предельной скорости материальных тел не получило какого-либо развития, однако к картезианским идеям относительности всякого движения неоднократно возвращались на протяжении XVII в., и в первую очередь к ним обращался Х. Гюйгенс.

На протяжении всей творческой деятельности Гюйгенс усилненно интересовался проблемой относительности движения. При анализе его работ по механике до 1659 г., т. е. до его первых работ, посвященных центробежной силе, может показаться, что Гюйгенс отказывается обсуждать вопрос относительности движения. Однако, как на это указал уже Дюга, в 1656 г. Гюйгенс обращается к этим проблемам в связи с вопросом об определении местонахождения Земли, требующим рассмотрения каких-либо точек или тел в мировом пространстве, находящихся в покое.

В 1668 г. Гюйгенс усматривает существенную разницу между равномерным прямолинейным движением, для которого он подробно анализирует принцип относительности, и движением вра-

щательным, по отношению к которому он не применяет этого принципа. В данном случае Гюйгенс отходит от картезианских представлений. Выход в свет ньютоновских «Начал» вызывает у Гюйгенса трудно объяснимую реакцию. Гюйгенс возвращается ко многим картезианским представлениям, в том числе к утверждению об относительности всякого движения. Идеей относительности Гюйгенс часто пользовался не только в своих рассуждениях, но и во многих доказательствах.

В мемуаре «О движении тел под влиянием удара», опубликованном впервые посмертно в 1703 г., Гюйгенс не только дает определение относительного движения, но и прибегает к этому понятию для доказательства сохранения количества движения.

«Идея относительности, — пишет К. Баумгарт, — (в классическом смысле, конечно) была ему чрезвычайно близка. Когда Мариотт предложил различать «относительную» скорость (*vitesse respective*) и «истинную» или «собственную» скорость (*vitesse propre*), Гюйгенс выступил с возражением, что существует только относительная скорость» [9].

Против ньютоновского учения о пространстве, времени и движении выступил Дж. Беркли (1684—1753) — представитель субъективного идеализма. Критике Ньютона посвящено и отдельное сочинение Беркли «De motu». Основное положение сенсуализма, что единственным источником наших знаний является ощущение, Беркли превращает в идеалистическое утверждение, что мы знаем только ощущения. Критика Беркли, которая была опубликована в промежутке между первым и вторым изданиями «Математических начал натуральной философии», по-видимому, не произвела на Ньютона впечатления.

Против ньютоновской концепции пространства и времени с идеалистических позиций выступил и Лейбниц (1646—1716). Для Лейбница пространство есть не субстанция, но не что иное, как «порядок существования вещей», поскольку они одновременно существуют. Время он рассматривает как закон изменений.

С материалистической критикой ньютоновских представлений выступил Дж. Толанд (1670—1722). Толанд высказал положение о том, что движение — существенное свойство материи. Пространство и время связаны с движением. Работы Толанда были важным шагом в истории развития учения о пространстве и времени. В «Письмах к Серене» Толанд утверждает, что движение — основной способ бытия материи. Он выступает против признания за материей лишь протяженности, а также против понимания пустоты как абстракции от протяженности.

«Понятие пустоты, — пишет Толанд, — есть одно из бесчисленных ошибочных следствий из определения материи через одну лишь протяженность, из утверждения, что материя по своей природе бездеятельна, из мысли, что она разделена на реальные части, вполне независимые друг от друга» [10, стр. 100].

Толанд критикует ньютоновское учение об абсолютном пространстве как о вместилище вещей. Он пишет: «Я вполне сознаю, что вступаю в противоречие с общепринятым представлением и что, в частности, в вопросе о пространстве я как будто имею против себя мнение величайшего человека, величие которого не умалится и в том случае, если это его мнение окажется ошибочным, ибо его несравненные открытия все равно останутся непоколебленными. Что до меня, то я не могу поверить в абсолютное пространство, отличное от материи и вмещающее ее в себе, как не могу поверить и тому, что есть абсолютное время, отличное от вещей, о длительности которых идет речь. А между тем принято думать, что г. Ньютон не только утверждает существование того и другого, но и сравнивает их друг с другом» [10, стр. 105].

В уста пантеистов Толанд вкладывает свои представления о Вселенной. «Итак, они утверждают, что Вселенная (ничтожная часть которой представляет видимый нами мир) бесконечна как по протяжению, так и по силе; едина непрерывностью целого и смежностью частей; неподвижна в целом, ибо вне ее нет ни места, ни пространства, но подвижна в частях или в бесчисленных промежутках; одновременно неразрушима и необходима, и притом в обоих смыслах — в смысле вечного существования в прошлом и вечного пребывания в будущем» [10, стр. 141].

Толанд углубляет материалистическое направление Спинозы и в отличие от него рассматривает движение не как временно-состояние, модус материи, а как ее существенное и неотъемлемое свойство, как ее атрибут.

Идеи Толанда оказали прямое, непосредственное влияние на французских материалистов и не прямое, опосредствованное — на развитие многих физических идей XVIII и XIX вв. Даламбер [11] вслед за Ньютоном считал, что пространство должно мыслиться как нечто существующее независимо от отдельных тел, но в отличие от Ньютона считал, что пространство нужно мыслить как некоторое свойство материального мира. В то время как Мопертюи, вслед за Беркли и вопреки Ньютону, доказывал, что понятие времени не имеет отношения к внешнему миру [11], Даламбер считал, что время не создается последовательностью наших мыслей, обладая мерою, от них независимой. Эта независимая мера дана нам в движении тел. Даламбер делает и некоторые дальнейшие шаги. В очерке «Измерение», помещенном в «Энциклопедии», Даламбер писал, что один остроумный мыслитель из его знакомых думает, что и время можно рассматривать как четвертое измерение. Хотя эту идею и можно оспаривать, ему кажется, что у нее есть свои достоинства, хотя бы, например, достоинство новизны.

Против субъективизма Беркли и рационализма Лейбница — Вольфа выступали одинаково последовательно Л. Эйлер (1707—1783) и М. В. Ломоносов (1711—1765) при всем различии их ми-

ровоззрения и аргументации. В монографии «Механика, или наука о движении, изложенная аналитически» Эйлер одновременно с изложением созданных им методов, базирующихся на математическом анализе, подвергает глубокому анализу господствующие воззрения на пространство и время. Ему отчетливо ясна вся трудность многовековой проблемы «места». Эйлер определяет место как часть беспредельного, бесконечного пространства: «Что собственно, — пишет Эйлер, — представляет собой место?.. На этот вопрос не так легко ответить. Представляя себе неизмеримое пространство, в котором находится Вселенная, отдельные части его, занятые телами, называют местами этого пространства: ведь в силу своего протяжения каждое тело необходимо должно занимать и совершенно заполнять равную ему часть пространства» [12].

Хотя картезианский релятивизм и мог привлечь Эйлера своеобразной физической конкретностью, но поскольку проблемы динамики не могли быть решены при отождествлении материи с протяженностью, Эйлер сосредоточивает усилия на обосновании и развитии именно ньютоновских представлений о пространстве и времени.

В 1748 г. Эйлер посвящает мемуар «*Réflexions sur l'espace et le temps*» доказательству того, что понятия абсолютного пространства и времени нужны для обоснования закона инерции. У Эйлера инерция выводится из закона достаточного основания, но одновременно Эйлеру известно, что при этом выводе не вскрывается действительная физическая причина инерции. Однако он считает, что, анализируя движение изолированного тела в вакууме, нет необходимости обращаться к физическим причинам. Решающими являются причины физические, но именно выполнение в этом случае закона достаточного основания указывает на наличие этих причин. Абсолютное пространство было необходимо Эйлеру для формулировки закона сохранения состояния движения изолированного тела. При более детальном рассмотрении кинематической картины движущихся по инерции тел Эйлер переходит к реальным телам отсчета. Однако абсолютное движение Эйлером полностью не исключается.

У Ломоносова протяженность тел органически связана с самим существованием тел. Ломоносов считает бессмысленным самый вопрос и спор о «непротяженных частицах протяженного тела», так же как и вопрос о пустом пространстве. Сущность тела он видит не только в протяженности, но и в непроницаемости. Это представляло шаг вперед в развитии пространственно-временных представлений.

Борьба Ломоносова против концепции непротяженных монад Лейбница базировалась на отрицании возможности существования материальных тел вне пространства и времени.

Через несколько лет после ломоносовской критики Лейбница в первом своем сочинении (1746) молодой Кант (1724—1804) выступил с защитой лейбницеvских представлений о пространстве. Он утверждал, что если бы субстанции не были присущи силы, действующие вне этой субстанции, то не было бы ни протяжения, ни пространства. Однако уже в сочинении «Всеобщая естественная история и теория неба» Кант целиком придерживается взглядов Ньютона на пространство, как вместилище вещей. Кант, как и Ньютон, отличает геометрическое мировое пространство от пространств относительных, образуемых вследствие отношений вещей друг к другу. В сочинении «О форме и принципе мира чувственного и умопостигаемого мира» ярко выражен отход Канта от ньютоновских представлений об абсолютном пространстве и времени в сторону идеалистической лейбнице-вольфовской трактовки, но с существенными отличиями от нее.

Пространство рассматривается теперь Кантом не как отношение, не как «порядок сосуществования вещей», а как особая самостоятельная форма, предшествующая вещам и их отношениям; аналогично, идея времени происходит не от чувств, по предполагается ими. Доминирующим у Канта становится учение о пространстве и времени, как об априорных, независимых от опытов понятиях.

Характеризуя учение Канта, Ленин писал: «Основная черта философии Канта есть примирение материализма с идеализмом, компромисс между тем и другим, сочетание в одной системе разнородных противоположных философских направлений. Когда Кант допускает, что нашим представлениям соответствует нечто вне нас, какая-то вещь в себе,— то тут Кант материалист. Когда он объявляет эту вещь в себе непознаваемой, трансцендентной потусторонней,— Кант выступает как идеалист. Признавая единственным источником наших знаний опыт, ощущения, Кант направляет свою философию по линии сенсуализма, а через сенсуализм, при известных условиях, и материализма. Признавая априорность пространства, времени, причинности и т. д., Кант направляет свою философию в сторону идеализма» [13, стр. 184—185].

Существенный вклад в учение о пространстве и времени внес Н. И. Лобачевский, раскрывший глубокие связи геометрических представлений с материальными процессами. «В природе,— писал Лобачевский,— мы познаем собственно только движение, без которого чувственные впечатления невозможны. Итак, все прочие понятия, например геометрические, произведены нашим умом искусственно, будучи взяты в свойствах движения; а потому пространство, само собой, отдельно, для нас не существует» [14, стр. 158—159]. И далее: «...Но в том, однако ж, нельзя сомневаться, что силы все производят одни: движение, скорость, вре-

мя, массу, даже расстояния и углы» [14, стр. 159]. Здесь под «силами» подразумевается, по существу, движущаяся материя.

Именно развитию идей Лобачевского в XIX в., как и работам Римана, Гельмгольца, очень многим обязана как специальная, так и в особенности общая теория относительности. Идеи Лобачевского и Римана открыли новый этап в развитии учения о пространстве и времени, выходящий, однако, за пределы классической механики и специальной теории относительности, этап, который должен рассматриваться при анализе исторического развития общей теории относительности.

Гегель (1778—1831) воспринял ньютоновские воззрения классической механики на пространство и время как на вместилища явлений, но в отличие от Ньютона он не признавал материальной объективности пространства и времени. Гегель не только не преодолел разрыв между пространством, временем и материей ньютоновской физики, но пространство и время поставил над материей. Гегель вел критику Ньютона с идеалистических позиций. При анализе понятия времени у Гегеля не дается соотношение моментов его устойчивости и изменчивости, но преобладает момент длительности. Концепция Гегеля не привела к какому-либо пересмотру ньютоновских представлений, господствовавших в физике; она сама в значительной мере отражала слабые стороны этой концепции. Наряду с этим и несмотря на идеалистическое истолкование материи, пространства, времени и движения, Гегель высказал важное положение о противоречии движения.

Хотя у Гегеля противоречие движения относится не к реальной действительности, поскольку это противоречие, согласно Гегелю, исчезает в материи, являющейся формой сочетания пространства и времени, это было шагом вперед по сравнению с представлением классической механики о движении и содержало в зародыше многие идеи, присущие физике более позднего времени.

Немецкая идеалистическая философия конца XVIII в.— первой половины XIX в. была не в состоянии выйти за пределы представлений о пространстве и времени как протяженности и длительности. Хотя Шеллинг (1775—1854), как и Гегель, пытался связать понятия пространства и времени между собой и с движением, эта попытка не увенчалась успехом, поскольку у Шеллинга, как и в классической механике Ньютона, пространство обладает главным образом моментом устойчивости, а время — лишь моментом изменчивости.

С резкой критикой кантовского априоризма в учении о пространстве и времени выступил Т. Ф. Осиповский (1765—1832) — русский мыслитель-материалист, профессор математики Харьковского университета. Вопреки Канту, который считал, что пространство априорно и интуитивно и не имеет опытного происхождения, Осиповский писал, что «пространство и время суть

условия бытия вещей в самой природе и в них самих, а не в нашем только образе чувствования существующего» [15, стр. 48]. «Что касается до времени,— пишет Осиповский,— то я понимаю его не так, как нечто существующее в природе само по себе, но как необходимое произведение последовательного бытия вещей» [15, стр. 49].

Л. Фейербах (1804—1872) — виднейший материалист домарковского периода — исходит в своей критике идеалистических учений о пространстве и времени из объективной реальности пространства и времени. Фейербах понимает пространство и время как коренные объективно реальные формы бытия; в этом его существенное отличие от Ньютона, у которого пространство и время оторваны от движущейся материи. «Пространство и время,— пишет Фейербах,— составляют форму бытия всего сущего. Только существование в пространстве и времени есть существование».

В. И. Ленин писал: «Признавая объективной реальностью тот чувственный мир, который мы познаем через ощущения, Фейербах естественно отвергает и феноменалистское (как сказал бы Мах про себя) или агностическое (как выражается Энгельс) понимание пространства и времени: как вещи или тела — не простые явления, не комплексы ощущений, а объективные реальности, действующие на наши чувства, так и пространство и время — не простые формы явлений, а объективно-реальные формы бытия» [13, стр. 162].

Метафизические стороны воззрения Ньютона на пространство и время были гипертрофированы и искажены в идеалистических системах Канта, Фихте, Гегеля, Шеллинга; материалистическая же сторона учения Ньютона о пространстве и времени была предана забвению. У Фейербаха дальнейшее развитие получили именно материалистические аспекты ньютоновской концепции, у него фигурируют не только протяженность и длительность, но и связи пространства и времени с движущейся материей. Материалистическую трактовку категории пространства и времени мы находим в трудах русских революционных демократов А. И. Герцена (1812—1870) и Н. Г. Чернышевского (1828—1889).

Научная постановка и решение вопроса о пространстве и времени дана диалектическим материализмом. Пространство и время — коренные формы существования материи. Всем материальным объектам присуща пространственная протяженность. Последовательное существование сменяющих друг друга процессов выражает время. Пространство обладает тремя измерениями. Положение тела по отношению к другим сосуществующим с ним телам характеризуется пространственными координатами. Время обладает одним измерением. В пространстве противоположные направления равно возможны, движение во времени возможно

только от прошлого к будущему. Материя, движение, пространство и время неотделимы друг от друга. Ленин писал: «Движение есть сущность времени и пространства. Два основных понятия выражают эту сущность: (бесконечная) непрерывность (Continuitat) и «пунктуальность» (= отрицание непрерывности. прерывность). Движение есть единство непрерывности (времени и пространства) и прерывности (времени и пространства). Движение есть противоречие, есть единство противоречий» [16].

Единство пространства и времени осуществляется в движении материи. «В мире,— писал В. И. Ленин,— нет ничего, кроме движущейся материи, и движущаяся материя не может двигаться иначе, как в пространстве и во времени» [13, стр. 162].

Неправомерность абсолютизации роли измерения, вопроса ставшего актуальным в физике XX в., была показана Марксом при анализе ошибочной концепции Бэли о стоимости.

В «Теории прибавочной стоимости» Маркс подверг критике концепцию Бэли, который рассматривал стоимость товара только по его отношению к другому товару, и проводил при этом аналогию с расстоянием, которое, по его мнению, имеет смысл лишь как отношение между предметами. Маркс писал: «Когда одна вещь удалена от другой, расстояние несомненно представляет отношение между одной вещью и другой, но при этом расстояние есть нечто отличное от этого отношения. Это протяжение пространства, определенная длина, которая так же хорошо может определять расстояние между двумя другими вещами, как и между теми обеими вещами, которые сравнивались. Но это не все. Когда мы говорим о расстоянии как об отношении между двумя вещами, мы предполагаем нечто «свойственное», «свойство» самих вещей, что создает для них возможность быть удаленными друг от друга. Что такое расстояние между буквой «А» и столом? Вопрос бессмысленный. Когда мы говорим о расстоянии между двумя вещами, мы говорим о их различии в пространстве. Мы предполагаем, что обе они находятся в пространстве, ибо представляют точки в пространстве. Мы делаем их одинаковыми между собой как части пространства, и лишь после того, как мы их сделали одинаковыми, *sub specie spatii* (с точки зрения пространства.— *Прим. пер.*), мы их различаем как различные точки пространства. В их принадлежности к пространству заключается их единство» [17].

Пространство — объективно-реальная форма бытия и не может быть сведена лишь к отношениям. Абсолютизация роли измерений неправомерна и приводит к ложному представлению, что без измерения нет самого объекта измерения, или он лишен смысла.

Гносеологическим проблемам в учении о пространстве и времени уделили значительное внимание Энгельс и Ленин. В рассуждениях о пространстве и времени Е. Дюринг (1833—1921),

эклектически сочетавший позитивизм, непоследовательный механический материализм и откровенный идеализм, не уяснил себе характера пространственных форм и количественных отношений, которыми оперировали в классической физике; при этом он стремился обойти и основной гносеологический вопрос об объективности пространства и времени. Энгельс дал глубокий анализ самой проблемы и показал полную несостоятельность дюринговской аргументации. Он писал: «Понятия числа и фигуры взяты не откуда-нибудь, а только из действительного мира... Как понятие числа, так и понятие фигуры заимствованы исключительно из внешнего мира, а не возникли в голове из чистого мышления. Должны были существовать вещи, имеющие определенную форму, и эти формы должны были подвергаться сравнению, прежде чем можно было дойти до понятия фигуры. Чистая математика имеет своим объектом пространственные формы и количественные отношения действительного мира, стало быть,—весьма реальный материал. Тот факт, что этот материал принимает чрезвычайно абстрактную форму, может лишь слабо затушевывать его происхождение из внешнего мира» [18].

Одновременно Энгельс критикует и эмпиризм в учении о пространстве и времени за игнорирование им роли и значения абстракции. «Это старая история,— пишет Энгельс.—Сперва создают абстракции, отвлекая их от чувственных вещей, а затем желают познать их чувственно, желают видеть время и объять пространство. Эмпирик до того втягивается в привычное ему эмпирическое познание, что воображает себя все еще находящимся в области чувственного познания даже тогда, когда он оперирует абстракциями. Мы знаем, что такое час, метр, но не знаем, что такое время и пространство! Как будто время есть что-то иное, нежели совокупность часов, а пространство что-то иное, нежели совокупность кубических метров! Разумеется, обе эти формы существования материи без материи суть ничто, пустые представления, абстракции, существующие только в нашей голове» [1, стр. 187].

В дальнейшем австрийский физик и философ-идеалист Э. Мах (1839—1916), английский математик и биолог К. Пирсон (1857—1936), физик-химик В. Оствальд (1853—1922) и многие другие выступали с критикой гносеологических позиций классической физики. Эта критика острием своим была направлена против материалистических истоков классической физики.

В. И. Ленин подверг глубокой критике кантианские, махистские и другие идеалистические представления о пространстве и времени. «Признавая существование объективной реальности, т. е. движущейся материи, независимо от нашего сознания, материализм неизбежно должен признавать также объективную реальность времени и пространства, в отличие, прежде всего, от кантианства, которое в этом вопросе стоит на стороне

идеализма, считает время и пространство не объективной реальностью, а формами человеческого созерцания» [13, стр. 162].

По своему философскому мировоззрению примыкал к махизму и Пуанкаре, испытавший одновременно значительное влияние и со стороны неокантианства и прагматизма. «На ту же дорожку агностицизма, — писал В. И. Ленин, — сбивается постоянно из французских писателей разбираемого нами философского направления Анри Пуанкаре, крупный физик и мелкий философ...» [13 стр. 152].

Философское решение проблемы материи, движения, пространства и времени было дано диалектическим материализмом задолго до того, как наметились пути физической конкретизации этого решения.

В физике и механике второй половины XIX в. критика ньютоновского учения о пространстве и времени не носила последовательного и систематического характера и не смогла привести к каким-либо новым и существенным результатам. Эта критика лишь в известной мере помогала более рельефно выразить существующие трудности.

В 1870 г. К. Нейман писал, что мы не знаем, как понимать «движение по прямой линии», поскольку эти слова можно объяснить различно. Действительно, движение, прямолинейное с точки зрения наблюдателя на Земле, покажется криволинейным, если его рассматривать с Солнца, с Юпитера или с какой-нибудь другой планеты. Всякое движение, прямолинейное по отношению к одной какой-либо системе отсчета, покажется криволинейным по отношению к другой системе отсчета, движущейся с ускорением. Слова Галилея о прямолинейном и равномерном движении материальной точки, предоставленной самой себе, кажутся Нейману бессодержательными, не имеющими определенного смысла.

Согласно Нейману, где-то во Вселенной должно быть дано специальное тело, по отношению к которому должны оцениваться все движения: тогда только слова Галилея получат определенный смысл. Трудность возникает при выяснении вопроса о том, существует ли одно такое тело, или несколько различных тел. Должны ли движения, совершающиеся вблизи Земли, быть отнесенными к Земле, а движения, происходящие вблизи Солнца, — к Солнцу. Лучше всего, согласно Нейману, принять, что все движения относятся к одному и тому же телу. Но на вопрос, где находится это тело, ответа нет. Поэтому первый принцип механики Галилея — Ньютона Нейман формулирует в следующем виде. В неизвестном месте Вселенной находится неизвестное тело, абсолютно твердое, вид и размеры которого неизменны во все времена. Под движением точки нужно понимать не изменение места относительно Земли или Солнца, но изменение места относительно этого тела. Мейерсон указал, что аналогичная

концепция была уже сформулирована Эйлером, а еще ранее Ньютоном, который отверг ее после внимательного исследования.

В дальнейшем были выявлены многие трудности, органически присущие классической механике, но не были намечены пути их преодоления. В результате развития представлений о поле стал возможным отказ от понятия абсолютного пространства, но поиски решения в пределах самой механики (К. Нейман, Штрейнц, Ланге и др.) сыграли при этом лишь вспомогательную роль.

«Под влиянием идеи Фарадея—Максвелла, — пишет Эйнштейн, — это понятие развилось до такой степени, что вся физическая реальность, вероятно, может быть представлена как поле, компоненты которого зависят от четырех пространственно-временных параметров. Если законы этого поля в общем ковариантны, то есть не зависят от специального выбора координатной системы, то введение независимого (абсолютного) пространства уже не является необходимым. То, что образует пространственный характер реальности, представляет собой в этом случае просто четырехмерность поля. Поэтому не существует «пустого» пространства, то есть нет пространства без поля» [7, стр. 126].

Связь пространства и времени, как коренных форм существования материи, глубоко и органически связанных друг с другом, оказалась точнее отраженной в специальной теории относительности, чем в классической механике; в еще большей мере эта связь нашла свое выражение в основных положениях общей теории относительности.

В классической физике событиям приписывали время независимо от системы отсчета, с которой они связаны. В теории относительности пространство и время соединяются в пространство-время, но пространственно-временное единство отнюдь не приводит к отождествлению пространства и времени. «Неразделимость четырехмерного континуума событий совсем не означает эквивалентности пространственных координат временной координате. Наоборот, мы должны помнить, что временная координата определена физически совершенно иначе, чем пространственные координаты» [19].

Наряду с этим в теории относительности сама геометрия получает более глубокую физическую интерпретацию. Хотя Ньютон и писал, что геометрия базируется на механической практике и есть часть общей механики, геометрия у Ньютона всегда полностью совпадала с геометрией Евклида. Лишь у Лобачевского опыт может свидетельствовать об истинности различных геометрий. Уже специальная теория относительности своим законом сложения скоростей продолжала в этом смысле основные идеи Лобачевского.

В отношении дискретности и непрерывности пространственно-временного континуума специальная теория относительности не выходит за рамки классической физики.

В статье «Открытие Планка и основные философские вопросы учения об атоме» Гейзенберг дал общую характеристику структуры пространства и времени в специальной теории относительности и границ применимости этой структуры. «Открытая в специальной теории относительности структура пространства и времени, — пишет В. Гейзенберг, — может быть коротко описана следующим образом. Мы можем охватить словом «прошедшее» все те события, в отношении которых мы могли — во всяком случае принципиально — нечто испытать; под словом «будущее» — все другие события, на которые мы — по крайней мере принципиально — можем еще воздействовать. В нашем наглядном представлении обе эти области событий отделены бесконечно коротким промежутком времени, который мы назовем «настоящим моментом». Но из эйнштейновской теории мы знаем, что эта область настоящего конечна, что она тем дольше длится, чем дальше удалено от нас место события. Это происходит потому, что действия не могут распространяться со скоростью, большей скорости света. Таким образом, имеется резкая пространственно-временная граница между событиями, в отношении которых мы можем нечто испытать, и теми, в отношении которых мы больше не можем ничего испытать, и другая граница между событиями, на которые мы еще можем воздействовать, и событиями, на которые мы более воздействовать не можем» [20].

Гейзенберг указывает, что существование столь резкой границы плохо согласуется с раскрытой квантовой теорией структурой физических процессов.

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Вопрос о системе отсчета в физике приобрел особую актуальность в конце XIX и начале XX в., хотя эта проблема и имеет многовековую историю. Лауэ отмечает, что проблема системы отсчета прошла три стадии развития: геометрическую, простирающуюся от глубокой древности до XVII в.; динамическую, которая после победы волновой теории распространилась на всю физику; релятивистскую.

Многочисленные дискуссии об аберрации и доплер-эффекте в физике XIX в. не привели к решению вопроса о том, существует ли несколько равноправных с точки зрения оптики систем отсчета.

Существование привилегированной системы можно было бы доказать, лишь обнаружив влияние какой-либо общей скорости