

ПРОСТРАНСТВО И ВРЕМЯ В ФИЗИЧЕСКОЙ КАРТИНЕ МИРА: ПРИНЦИПЫ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

8.1 Осмысление проблем пространства и времени в европейской науке

Наиболее остро проблему существования пространства и времени ставили Зенон Элейский (ок. 490 до н.э. — ок. 430 до н.э.) и И. Кант (1724—1804). Зенон рассматривал проблему пространства и времени с точки зрения существования движения: если движение есть, то оно может происходить *только в пространстве и во времени*, а если движения нет, то возникают сомнения в объективном существовании пространства и времени. В одной из апорий¹ Зенона показано: если стрела в процессе полета находится в каждый данный момент в конкретном месте (как бы покоится), то ее движение невозможно: сумма покоев есть покой. Тем самым объективность как движения, так и пространства, и времени ставилась под вопрос.

И. Кант с иных позиций подвергал сомнению объективность пространства и времени: он считал, что идеи пространства и времени являются врожденными человеку, а не познаются им из опыта, т.е. имеют *субъективную природу и не существуют вне сознания человека*.

На самом деле представления о пространстве и времени формируются и изменяются в процессе развития социального опыта человечества. Так, *идеи пространства* развиваются по мере освоения человеком жизненно необходимых территорий. Древнейшая область математики — геометрия (от греч. *geometria* — землемерие, по сути дела, теория пространства) — зародилась как наука о способах измерения площадей, объемов, расстояний. Древнегреческому ученому Евдему Родосскому (IV в. до н.э.) приписывают идею о том, что «геометрия была открыта египтянами и возникла при измерении Земли. Это измерение было им необходимо вследствие разливов р. Нил, постоянно смывавшего границы». От египтян ремесло землемерия и измерения объемов тел перешло к древним грекам, превратившим геометрию в строгую научную дисциплину. Евклид в III в. до н.э. систематизировал знания по геометрии и определил ее объекты:

- точка есть то, что не имеет частей;
- линия — длина без ширины;
 - прямая есть такая линия, которая равно расположена по отношению к точкам на ней;
 - поверхность есть то, что имеет только длину и ширину;
 - плоская поверхность есть такая поверхность, которая равно расположена по отношению к прямым на ней.

Осмысление *времени* также было длительным. Аврелий Августин (354—430) в «*Исповеди*» с отчаянием заметил по поводу времени: «Пока меня никто о том не спрашивает, я понимаю, насколько не затрудняясь; но, как скоро хочу дать ответ об этом, я становлюсь совершенно в тупик».

Исчисление времени связано с формированием непрерывной хронологии, которая в Древней Месопотамии, в Шумере, Ассирии, Вавилоне начиналась с рождения царя Саргона (приблизительно 2316—2261 до н.э.), в Древнем Египте — с господства первого фараона первой династии Менеса (ок. 3100/3080 до н.э.). Эра греческих Олимпиад рассчитана с 1 июля 776 г. до н.э. В римской хронологии эра основания города *{anno urbis conditae, или AUC}* начинается с 22 апреля 753 г. до н.э.

Информация к размышлению

В 2019 г. наступил 2772 г. от основания Рима (AUC). В то же время мусульмане отместили 1440 г. хиджры; 5779 г. — иудей. Для буддистов наступил 2562 г.; тибетская традиция утверждает, что пришел 2145 г. Китайцы встретили 4715 г.

Что же такое время? Можно ли говорить о его измерении?

Древние представления о времени формируются в силу тесной связи ритмичности небесных явлений с хозяйственными процессами: лунная система отсчета существовала у пастухов, а солнечная — у пахарей. Важность времени для человека и его подчиненность природным циклам персонифицирована в античной культуре в образе всевластного Кроноса (Хроноса, ср.: хронометр). Возникает идея календаря как системы исчисления *циклически повторяющихся* временных промежутков. Порядок времени представлялся священным для человека, а календарь мыслился как земной образец небесного порядка.

Календарь — система исчисления циклически повторяющихся промежутков времени.

Уже Аристотель формулирует «парадокс исчезновения времени»: прошлого уже нет, поскольку оно уже прошло; будущего еще нет, поскольку оно не наступило; настоящее же есть не более чем качественная грань между первым и вторым. Представители элейской школы отрицали возможность существования пустого пространства, отождествлявшегося ими с небытием, но Демокрит *отождествлял пространство с пустотой*, которая необходима для перемещений и соединений атомов.

В «Началах» Евклида характеристики пространства обретают строгую математическую форму. Из его геометрии вытекают представления об однородном и бесконечном пространстве, впоследствии положенные в основу классической физики. Геоцентрическая система, описанная в «Альмагесте» К. Птолемея, явилась первой универсальной математической моделью мира, в которой время бесконечно, а пространство (в противоположность Евклиду) — конечно.

Культура и наука *Нового времени* рассматривают пространство и время как *объективные* параметры природных процессов. В гелиоцентрической системе мира Ы. Коперник отверг представления о Земле как «единственном» центре вращения во Вселенной и направил естествоиспытателей к признанию безграничности и бесконечности пространства. Еще дальше пошел Д. Бруно, связав воедино бесконечность Вселенной и пространства. В его «бесцентричной» космологической концепции Вселенная выступает как «целое бесконечное», поэтому Бруно делает вывод и о безграничности пространства, поскольку оно «не имеет края, предела и поверхности».

Идеи Бруно получили обоснование в «физике неба» И. Кеплера и в небесной механике Г. Галилея. В трех законах И. Кеплера зафиксирована универсальная зависимость между периодами обращения планет и их средними расстояниями до Солнца, а также закреплено представление об эллиптических орбитах планет. С идеей бесконечности и безграничности пространства тесно связан принцип относительности Галилея: *все физические (механические) явления происходят одинаково во всех системах, покоящихся или движущихся равномерно и прямолинейно с постоянной скоростью*.

Галилей показал: если человек находится в каюте равномерно движущегося корабля и не может выглянуть наружу, то он не может определить, движется ли корабль равномерно и прямолинейно («по инерции») или стоит на месте. В самом деле, мячик на горизонтальной поверхности остается неподвижным, а все силы действуют точно так же, как на берегу. Такие системы называются *инерциальными*, и в них равномерное прямолинейное движение и покой неотличимы друг от друга (вспомним апории Зенона). Математические преобразования Галилея установили инвариантность (неизменность) в инерциальных системах таких характеристик, как длина, время и ускорение, и послужили основанием для субстанциональной концепции пространства и времени И. Ньютона.

Заслуга Р. Декарта — обоснование *единства физики и геометрии* на основе введения координатной системы, в которой время представлялось как одна из пространственных осей. Как и элеаты, он отрицал пустое пространство и отождествлял пространство с протяженностью.

Однако для большинства из упомянутых исследователей проблемы пространства и времени решались «попутно», поскольку рассматривались в связи с исследованием других физических проблем.

8.2 Становление субстанциональной концепции пространства и времени Ньютона

Первое последовательное математическое и экспериментальное обоснование свойств пространства и времени получено в рамках классической механики И. Ньютона. Проблемы пространства и времени он решал в связи с обоснованием универсального закона природы — *закона всемирного тяготения*. В рамках гравитационной модели Вселенной И. Ньютон утвердил представление о бесконечном пространстве, в котором движутся космические объекты, связанные между собой силой тяготения. Раскрывая *сущность времени и пространства*, Ньютон характеризует их как «вместилища самих себя и всего существующего. Во времени все располагается в смысле порядка последовательности, в пространстве — в смысле порядка положения»

С критикой ньютоновских представлений выступил немецкий ученый Г. В. Лейбниц (1646—1716). Он развивал релятивистскую концепцию пространства и времени и указывал на их относительный (релятивистский) характер: «Считаю пространство так же, как и время, чем-то чисто

относительным: пространство — порядком сосуществований, а время — порядком последовательностей». Однако поразительная точность и кажущаяся ясность ньютоновской системы привели к тому, что утвердившиеся в ней представления о пространстве и времени казались незыблемыми.

Основные положения ньютоновской *субстанциональной* концепции пространства и времени (поскольку они выступали в качестве самостоятельных, независимых от материи *субстанций*) заключаются в следующем.

Пространство считалось бесконечным, плоским, евклидовым; оно рассматривалось как абсолютное, пустое, *однородное* (все точки пространства равноправны; какие-либо выделенные точки, обладающие особыми свойствами, как это было в геоцентрической системе, отсутствуют) и *изотропное* (отсутствуют выделенные направления). Фактически оно выступало в качестве *вместилища* материальных тел, подобно ящику без стенок. Как ящик может быть пустым, так и для абсолютного пространства неважно, существуют ли «помещенные в него» материальные тела: абсолютное пространство есть независимая от этих тел инерциальная система, абсолютная, «исходная» система отсчета, или независимая субстанция.

Время понималось абсолютным, однородным, равномерно текущим, «единообразно и синхронно» протекающим везде во Вселенной, выступающим как независимый от материальных процессов и объектов *процесс длительности*. Наоборот, любые процессы могут протекать только «внутри» этой абсолютной длительности.

Таким образом, абсолютные пространство и время выступали в качестве особой — «избранной» — системы координат в классической механике. Ньютоновское понимание пространства и времени господствовало в европейской науке более двух веков и оправдывало себя при формировании новых наук: баллистики, классической термодинамики и др.

Впервые представления об абсолютности пространства и времени были поколеблены в XIX в. при изучении электромагнитных явлений. Так, в механике Ньютона силы зависят от расстояний между телами, направлены по прямым, распространяются в пустоте и не зависят от времени. Здесь в качестве исходного принят *принцип дальнего действия*: на сколь угодно далекие расстояния силы тяготения распространяются мгновенно.

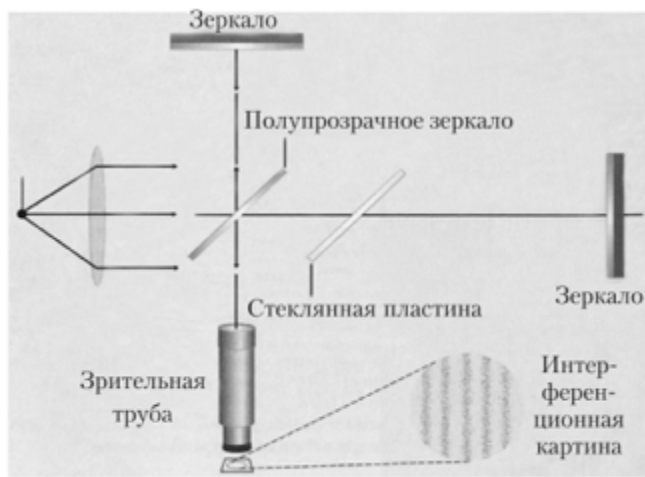
Напротив, в электромагнитной картине мира М. Фарадея и Дж. К. Максвелла силы зависят как от расстояний, так и от *скоростей*: обнаруживается важность фактора времени. Из теории Максвелла вытекал вывод о конечной скорости распространения электромагнитных волн. К тому же эти силы направлены не по прямым линиям, соединяющим тела, а по линиям иной формы: обнаружили такие закономерности, которые отсутствуют в пространстве Евклида. Появилось ограничение: *не может существовать скоростей выше скорости света*, а, следовательно, электромагнитное поле распространяется хотя и быстро, но все же с конечной скоростью.

В этом суть *принципа близкого действия*: распространение любых сил происходит с *конечной скоростью* и не в пустоте, а посредством соответствующего вида физических полей. Распространение электрических и магнитных сил невозможно без электромагнитного поля. В связи с этим А. Эйнштейн подчеркивал, что *теория относительности возникает из проблемы поля*. В самом деле, если уравнения Ньютона для инерциальных систем (при равномерном движении) не меняются, то, казалось бы, тем же свойством должны были обладать и уравнения Максвелла. Однако они при таких преобразованиях *меняются* (именно потому, что в электродинамике сила зависит не только от ускорения, но и от скорости). Для исправления этого недостатка надо:

- 1) либо изменить сами уравнения,
- 2) либо принять *специальные правила* перехода от неподвижного наблюдателя к движущемуся.

Серьезный удар по ньютоновской концепции пространства и времени был нанесен в связи с отрицательным результатом опытов по обнаружению мирового эфира, полученный американскими физиками А. Майкельсоном (1852-1931) и Г. Морли (1838-1923).

В конце XIX в. физикам казалось очевидным, что мировой эфир может быть отождествлен с абсолютным пространством Ньютона и поэтому он может выступать в качестве той *универсальной системы координат*, относительно которой движутся все объекты, включая Землю. Поскольку свет представляет собой колебания неподвижного эфира, то может быть установлена скорость «эфирного ветра», образующегося при движении Земли сквозь этот эфир. Если направить поток света с Земли



определенном положении плиты интерферометра один из лучей будет двигаться против эфирного ветра и его скорость будет меньше скорости перпендикулярного луча. В результате при медленном вращении прибора (если бы эфирный ветер существовал) интерференционные полосы у детектора периодически бы смещались.

Однако опыт Майкельсона — Морли доказал *независимость скорости света от движения Земли* и показал полное отсутствие эфирного ветра. Классическая механика не могла объяснить этот феномен.

Английский физик Дж. Фицджеральд (1851—1901) в 1889 г., а в 1892 г. нидерландский физик Х. А. Лоренц (1853—1928) показали, что отрицательный результат опыта Майкельсона объясняется в том случае, если предположить: под действием эфирного ветра *все тела сжимаются* в направлении движения. Поэтому хотя в направлении против эфирного ветра световой луч движется с меньшей скоростью, ему приходится пройти меньшее расстояние (аналогичным образом сжимается внешняя поверхность воздушного шарика, если его быстро продвигать в воздушной среде).

Это сокращение Лоренц объяснял изменением действующих в телах электромагнитных сил при движении тела через эфир и вывел математические уравнения (*преобразования Лоренца*) для вычисления сокращений длины движущихся тел в зависимости от скорости движения v .

Он показал, что движущиеся тела в направлении движения относительно эфира будут казаться короче в $1/\gamma = \sqrt{1 - v^2/c^2}$ раз, а события на таких телах будут протекать во столько же раз медленнее.

Решающим фактором здесь стала степень приближения скорости тела к скорости света c . В результате относительными оказались такие характеристики движущихся тел, как длина, промежуток времени между событиями и даже одновременность событий. Однако объяснения Лоренца носили формально-математический характер и не раскрывали физическую сущность изменения размеров движущихся тел.

по направлению ее движения относительно эфира, то, на первый взгляд, скорость света должна складываться со скоростью движения Земли для получения суммарной скорости светового потока.

Если же луч света направить в противоположном направлении, то для получения суммарной скорости надо вычесть скорость Земли из скорости света. Казалось, что различие таких «суммарных скоростей» достаточно легко обнаружить с помощью интерферометра. В интерферометре свет от источника с помощью зеркал разделялся на два взаимно перпендикулярных луча. Предполагалось, что при