
*Доктрины Аристотеля
относительности*

Обычно ясно не представляют себе того факта, что общее стремление к относительному (или релятивистскому) подходу к физическим законам начало проявляться на весьма раннем этапе развития современной науки. Эта тенденция возникла в противовес еще более древней аристотелевской традиции, которая преобладала в европейском мышлении в средние века и даже в наши дни продолжает оказывать сильное, хотя и косвенное, влияние. Вероятно, за существование этой традиции ответствен не столько сам Аристотель, сколько средневековые схоласты. Они и возвели в абсолют и довели до полной косности те представления, которые сам Аристотель, по-видимому, рассматривал лишь как первую попытку при решении физических, космологических и философских проблем, занимавших древнегреческих мыслителей.

Доктрины Аристотеля отличались чрезвычайной широтой, однако здесь нас интересует лишь его космологическое понимание Земли как центра Вселенной. Аристотель предположил, что Вселенная состоит из семи сфер с Землей в их центре. В его теории ключевую роль играет *расположение* объекта во Вселенной. Таким образом, каждому телу должно соответствовать его естественное место, занять которое оно стремится и к которому приближается, если не встречает препятствий. При этом движение объясняется как следствие этих «конечных причин», но непосредственно вызывается оно «действующими причинами». Например, считается, что предметы падают благодаря их стремлению достичь своего

«естественного положения» в центре Земли, однако необходима еще некоторая внешняя «действующая» причина, которая высвободила бы объект, чтобы его внутренний движущий «принцип» вступил в игру.

Учение Аристотеля во многих случаях правдоподобно объясняло ту область явлений, которая была знакома древним грекам, хотя, как мы, конечно, знаем, оно теряет силу в более широких областях, охватываемых современными научными исследованиями. В частности, оказалось несостоятельным представление об абсолютной иерархии всего сущего, когда каждый предмет стремится занять положенное ему место в этой иерархии. Например, как мы упоминали, все пространство считалось подчиненным раз и навсегда установленной иерархии в форме «семи хрустальных сфер». Позднее средневековые схоласты придали подобную же структуру и времени в том смысле, что сотворение мира было приурочено к определенному моменту, и далее считали, что сам мир движется к некоторой «цели» — к своему концу. Развитие таких представлений приводило к мысли о том, что в выражениях физических законов определенные положения в пространстве и моменты времени играют специальную привилегированную роль и свойства других положений и других моментов должны однозначно соотноситься со свойствами этих первых (привилегированных), если мы правильно поняли законы природы. Подобные же взгляды проникли во все сферы человеческой деятельности и привели к введению неизменных категорий, свойств и пр., подчиненных соответствующим иерархиям. В этой системе мироздания человеку отводилась центральная роль, ибо в некотором смысле он рассматривался как средоточие всей драмы бытия, для него был создан весь мир, и от его морального решения зависела судьба этого мира.

Составной частью доктрины Аристотеля было утверждение, что небесные светила (в частности, планеты), состоящие из материи более совершенной, чем земная, должны двигаться по орбитам, отражающим их внутреннее превосходство. Так как самой совершенной геометрической фигурой считалась окружность, то планетам приписывалось движение вокруг Земли по круговым

путям. Когда же наблюдения не обнаружили идеально круговых орбит, то для устранения расхождения ввели «эпициклы», т. е. окружности с центрами на других окружностях. Так появилась теория Птолемея, без труда «приспосабливающаяся» к любой орбите путем введения сложной системы эпициклов. Так удалось сохранить концепции Аристотеля и «спасти» вместе с тем действительную форму орбит.

Первую серьезную брешь в этой системе пробил Коперник, показавший, что можно избежать сложной и произвольной системы эпициклов, просто приняв, что планеты движутся вокруг Солнца, а не вокруг Земли. Это и было в действительности началом решительной перестройки всего человеческого мышления: ведь отсюда явствовало, что Земля не обязательно должна быть центром мироздания. Хотя Коперник и поместил в этот центр Солнце, он все же сделал большой шаг к тому, чтобы позднее люди поняли, что даже Солнце может быть лишь одной из множества звезд и что вообще нельзя обнаружить какого-либо центра. Тогда, естественно, возникла подобная же мысль и о времени, и Вселенная стала рассматриваться как бесконечная и вечная, без какого-то момента сотворения и без какого-то «конца», к которому она движется.

Теория Коперника произвела революцию в человеческом мышлении, так как она в конце концов привела к мысли о том, что человека не следует рассматривать как центр мироздания. Потрясающее сознание людей приниженные их роли сильно сказались на всех сторонах их жизни. Нас, однако, интересуют здесь главным образом научные и философские аспекты мировоззрения Коперника. Кратко характеризуя их, можно сказать, что все началось с преобразования понятий и привело в конце концов к краху старых представлений об абсолютных пространстве и времени и к развитию того взгляда, что пространство и время органически связаны.

Объясним этот переход несколько подробнее, ибо он приводит к истоку теории относительности. Суть в том, что раз нет привилегированных положений в пространстве и привилегированных моментов времени, то физические законы можно в равной мере отнести к *любой*

точке, взятый в качестве центра, и из них будут следовать *одни и те же выводы*. В этом отношении ситуация коренным образом отличается от той, которая имеет место в теории Аристотеля, где, например, центру Земли приписывалась особая роль как точке, куда стремится вся материя.

Тенденция к релятивизации, описанная выше, нашла в дальнейшем отражение в законах Галилея и Ньютона. Галилей подробно изучил законы падения тел и показал, что, хотя скорость при этом изменяется со временем, ускорение остается постоянным. До Галилея еще не было четко сформулировано понятие ускорения. Это было, пожалуй, одним из главных препятствий при изучении движения падающих тел, так как без этого понятия нельзя было отчетливо сформулировать главные характеристики такого движения. Галилей понял, что если под постоянной скоростью понимать постоянный темп изменения положения, то постоянным ускорением можно считать постоянный темп изменения скорости, т. е.

$$\frac{v(t + \Delta t) - v(t)}{\Delta t} = a = \text{const.} \quad (2.1)$$

Здесь t — время, а Δt — его малое приращение; $v(t)$, конечно, — скорость в момент времени t , а $v(t + \Delta t)$ — скорость в момент времени $t + \Delta t$. Отсюда следует, что падение тел характеризуется определенным *соотношением*, которое не связано с какой-либо фиксированной внешней точкой и характеризует лишь свойства движения самого объекта.

Ньютон пошел еще дальше по этому пути, когда сформулировал свой закон движения

$$ma = m\dot{v} = F, \quad (2.2)$$

где $a = \dot{v}$ — ускорение тела, а F — сила, действующая на это тело. В этом законе Ньютона содержатся и результаты Галилея, так как ускорение силы тяжести вблизи поверхности Земли постоянно. Вместе с тем Ньютон обобщил здесь закон Галилея, получив соотношение, справедливое для любой силы, как постоянной, так и

переменной. В уравнении Ньютона (2.2) содержится неявно также закон инерции, гласящий, что при отсутствии сил тело движется с постоянной скоростью (или с нулевым ускорением) и будет продолжать такое движение до тех пор, пока какая-нибудь внешняя сила не изменит его скорости.

Законы Ньютона подняли важный вопрос о так называемой «инерциальной системе» отсчета (системе координат), в которой эти законы выполняются. Совершенно очевидно, что если эти законы выполняются в некоторой системе S , то они в своем прежнем виде не будут выполняться в системе отсчета S' , движущейся с ускорением. Например, взяв вращающуюся систему отсчета, мы должны включить в уравнение (2.2) центробежную силу и силу Кориолиса. В первом приближении система, связанная с поверхностью Земли, принимается за инерциальную, однако ввиду ее вращения это предположение не вполне обосновано. Ньютон предположил, что удаленные «неподвижные звезды» можно рассматривать как основу для истинно инерциальной системы. Это предположение оправдалось, так как в такой системе орбиты планет, вычисленные из законов Ньютона, чрезвычайно точно совпадают с наблюдаемыми.

Хотя использование «неподвижных звезд» в качестве базиса для инерциальной системы отсчета безукоризненно с практической точки зрения, оно страдает известной теоретической произвольностью, несовместимой с направлением развития механики, т. е. с выражением законов механики только как внутренних взаимоотношений в самой движущейся системе. Здесь мы фактически передали «привилегии» центра Земли неподвижным звездам.

Тем не менее важным завоеванием стала «релятивизация» законов физики, так как они перестали относиться к специально выбранным привилегированным предметам, положениям в пространстве, моментам времени и т. п. Теперь не только больше не было выделенного центра в пространстве и начала во времени, но исчезла и привилегированная в смысле своей скорости система отсчета. Возьмем, например, некоторую систему координат x , связанную с неподвижными звездами. Вообразим

теперь космический корабль, движущийся относительно этой системы с постоянной скоростью u . Координаты x' , t' , взятые относительно этого космического корабля, определяются тогда преобразованием Галилея¹⁾

$$\begin{aligned}x' &= x - ut, \\v' &= v - u, \\t' &= t.\end{aligned}\tag{2.3}$$

Иными словами, имеет место линейное сложение скоростей (в согласии со «здравым смыслом»). Особенно следует отметить третье уравнение ($t' = t$), согласно которому ход часов не зависит от относительного движения.

Рассмотрим в этой новой системе отсчета уравнения движения. Вместо уравнения (2.2) мы получим

$$ma' = m \frac{d^2x'}{dt'^2} = m \frac{d^2x}{dt^2} = m \frac{dv}{dt} = ma = F.\tag{2.4}$$

Таким образом, как в старой, так и в новой системе отсчета действует *один и тот же закон*. В этом и состоит ограниченный принцип относительности. Мы говорим так потому, что законы механики выражаются одними и теми же соотношениями во всех системах отсчета, связанных между собой преобразованиями Галилея.

Тем не менее, чтобы сделать последующее развитие теории ясным, необходимо обратить внимание на то, что ни Ньютон, ни его последователи полностью не понимали релятивистскую сущность динамики, которую они развивали. В самом деле, все были убеждены (что характерно и для Ньютона), что *пространство абсолютно*, т. е. существует само по себе подобно какому-то веществу, и его основные качества и свойства не зависят от его взаимоотношений с чем бы то ни было (например, с находящейся в этом пространстве материей). Подобным же образом они полагали, что «течение» времени абсолютно, равномерно и невозмутимо, что оно безразлично

¹⁾ Преобразование Галилея в действительности лишь приближенное и справедливо для скоростей, малых по сравнению со скоростью света. Мы увидим позднее, что при больших скоростях вместо него необходимо взять преобразование Лоренца.

к тем действительным событиям, которые в данный момент происходят. Более того, они считали, что по существу нет взаимосвязи между пространством и временем, т. е. что свойства пространства определяются и устанавливаются независимо от движения предметов и существ с течением времени, а ход времени не зависит от пространственных свойств этих предметов и существ. Конечно, инерциальную систему отождествляли с абсолютным пространством и временем.

В некотором роде можно сказать, что Ньютон по-новому продолжил развитие тех аспектов аристотелевских представлений об абсолютном пространстве, которые находились в согласии с физическими фактами, известными в его время. Мы увидим, однако, позднее, что новые данные, обнаруженные в XIX столетии, показали неприемлемость ньютоновских представлений об абсолютном пространстве и времени и привели к релятивистской концепции Эйнштейна.