

# ВВЕДЕНИЕ

\* \*

1. При изучении всякого круга явлений очень важно установить основные законы или принципы, с помощью которых можно объяснить все известные явления из рассматриваемого круга, а также предсказать новые. Такой подход к изучению явлений природы получил название *метода принципов*. Основоположителем его в физике является великий Ньютон (1643—1727). Непревзойденным мастером метода принципов был и великий физик Эйнштейн (1879—1955).

*Сами основные законы или принципы не могут быть доказаны логически. Их доказательством является опыт.* Основное значение имеют не столько опыты по непосредственной проверке самих принципов, сколько опыты, в которых проверяются вытекающие из них следствия. В этом смысле основные принципы являются *обобщениями опытных фактов*. Но никакие опыты никогда не охватывают все разнообразие условий, в которых могут протекать явления, а измерения всегда сопровождаются ошибками. Поэтому *опытным путем* (а другого пути нет) *можно установить справедливость принципов лишь в ограниченных пределах и с ограниченной точностью*. При расширении круга изучаемых явлений и повышении точности измерений могут расширяться и эти пределы. Но может случиться, что вне определенных границ основные принципы перестанут быть справедливыми. Тогда возникнет необходимость в их обобщении или замене новыми принципами, имеющими более широкую область применимости. Старые принципы при этом не утратят своего значения. Но ими можно будет пользоваться только внутри установленной области применимости. Сила и привлекательность метода принципов в том, что весь материал, полученный из основных принципов логическим и математическим путем, является достоверным, конечно, в пределах тех границ, в которых основные принципы доказаны экспериментально, и с той точностью, с которой были выполнены эксперименты.

2. Раньше других разделов физики развилась механика. *Механика есть наука о движении и равновесии тел. В широком смысле слова движение материи есть всякое изменение ее. Однако под движением в механике понимается только простейшая форма его, а именно перемещение тела относительно других тел.* Принципы механики впервые были сформулированы Ньютоном в его основном сочинении

«Математические начала натуральной философии», первое издание которого вышло в 1687 г. Ньютон имел, правда, много крупных предшественников: Архимеда (ок. 287—212 до н. э.), Кеплера (1571—1630), Галилея (1564—1642), Гюйгенса (1629—1695) и др., решивших немало частных вопросов статики и отчасти динамики. Однако Ньютон был первым, кто сформулировал полную систему принципов механики и на их основе воздвиг стройное здание этой науки. Громадные достижения механики Ньютона, а также его непререкаемый научный авторитет почти на 200 лет отвлекли внимание ученых от недостатков его системы механики. Серьезное критическое отношение к механике Ньютона возникло лишь во второй половине XIX века.

После Ньютона механика быстро развивалась. Однако до начала XX века это развитие шло в основном в направлении совершенствования математических методов механики и применения ее законов ко все новым и новым областям знания. Оно не затрагивало содержания основных принципов и физические представления механики Ньютона. Ничего принципиально нового в физические основы механики внесено не было вплоть до XX века, когда положение изменилось.

Хотя механика Ньютона и покоится на прочном фундаменте экспериментальных фактов, однако все они относятся к медленным движениям макроскопических тел. *Макроскопическими* называют обычные тела, окружающие нас, т. е. тела, состоящие из громадного количества молекул или атомов. Под *медленными* или *нерелятивистскими* движениями понимают движения, скорости которых очень малы по сравнению со скоростью света в вакууме  $c = 300\,000$  км/с. Движения, скорости которых приближаются к скорости света в вакууме, называют *быстрыми* или *релятивистскими*. В этом смысле движение спутника или космического корабля со скоростью  $v = 8$  км/с является еще очень медленным. В том же смысле очень медленными движениями являются движения планет Солнечной системы, их спутников и комет относительно Солнца. Применяя к таким телам принципы механики Ньютона, удалось объяснить и предсказать их движения в полном соответствии с наблюдениями. Это явилось первым и притом наиболее убедительным доказательством справедливости механики Ньютона. Движение искусственных спутников и космических кораблей также находится в полном соответствии с расчетами, производимыми на основе механики Ньютона.

3. Можно ли экстраполировать на случай быстрых движений принципы механики Ньютона, экспериментально установленные для медленных движений макроскопических тел? Можно ли применять основные понятия и принципы механики Ньютона к явлениям микромира, т. е. явлениям, происходящим с отдельными молекулами, атомами, электронами, протонами, нейтронами и

прочими «элементарными частицами»? На эти вопросы логически ответить нельзя. Ответ на них могут дать только опыты с быстро движущимися телами, а также опыты с отдельными атомами, электронами и пр. Такие опыты были поставлены только в XX столетии. Они показали, что на оба вопроса в общем следует дать отрицательный ответ.

Теория относительности Эйнштейна предсказала, а опыт подтвердил это предсказание, что механика Ньютона не может быть применима к движениям частиц, скорости которых близки к скорости света в вакууме. На основе теории относительности была создана новая механика, применимая не только к медленным, но и к сколь угодно быстрым движениям. Она называется *релятивистской механикой*, или *механикой теории относительности*. Согласно механике Ньютона скорость, до которой можно ускорить тело из состояния покоя, в принципе ничем не ограничена. По релятивистской механике значение скорости ускоряемого тела не может перейти через определенный предел, равный скорости света в вакууме  $c$ . В этом смысле скорость света  $c$  является *предельной*. Скорость тела не может ее достигнуть, но в принципе может подойти к ней сколь угодно близко. В современных ускорителях можно получать протоны, скорости которых лишь на несколько десятых или сотых процента меньше скорости света. Можно получать электроны, скорости которых меньше скорости света на несколько метров или десятков метров в секунду. В космических лучах регистрировались протоны, скорость которых меньше скорости света всего на величину порядка  $10^{-8}$  см/с. К движениям таких быстрых частиц нерелятивистская механика Ньютона совершенно не применима. Ускорители рассчитываются на основе релятивистской механики Эйнштейна, и то обстоятельство, что они работают в согласии с расчетами, является одним из наиболее убедительных и прямых экспериментальных доказательств правильности релятивистской механики.

4. Теория относительности установила границы применимости ньютоновской механики со стороны *больших скоростей*. Другое ограничение, и притом не только ньютоновской, но и релятивистской макроскопической механики, было получено в результате изучения *микромира* — мира атомов, молекул, электронов и пр.

При изучении микромира физики сначала применяли понятия и законы, введенные и установленные для макроскопических тел. Электрон, например, рассматривался как твердый или деформируемый шарик, по объему которого как-то распределен электрический заряд. Считалось, что поведение электрона управляется теми же законами механики и электродинамики, которые были экспериментально установлены для макроскопических электрически заряженных тел. Считалось, что все понятия и законы макроскопической физики применимы и имеют смысл для тел сколь

угодно малых размеров и для сколь угодно малых промежутков времени. Считалось, что для понимания явлений микромира не требуется никаких новых понятий и законов помимо тех, которыми располагает макроскопическая физика. Короче, микромир рассматривался просто как уменьшенная копия макромира. Такой подход к изучению явлений природы и теории, основанные на нем, называются *классическими*.

Вопрос о применимости или неприменимости классического подхода к изучению микромира не может быть решен умозрительно. На этот вопрос может ответить только опыт. Опыты показали, что *классический подход к изучению явлений микромира не применим*, или, точнее, *его применимость к этому кругу явлений ограничена*. Адекватное описание явлений микромира (применимое, конечно, также в каких-то пределах) дает *квантовая механика*, существенно отличающаяся от механики классической. Квантовая механика вводит радикальные изменения в наши представления о движении. Так, классическая картина движения частицы вдоль траектории, в каждой точке которой частица имеет определенную скорость, в общем случае не применима при описании движения микрочастиц. Движение в микромире является более сложной формой движения, чем механическое перемещение тел в пространстве. Вообще, описание явлений в квантовой механике лишено наглядности в том смысле, что здесь требуются *принципиально новые* представления и понятия, не сводимые к привычным представлениям и понятиям, возникшим при изучении макроскопических объектов. Поскольку наш курс механики посвящен изучению движения макроскопических тел, нет необходимости останавливаться на дальнейшей характеристике квантовой механики. Достаточно указать границы применимости понятий и законов, которыми мы будем пользоваться. Это будет сделано в § 5.

5. Таким образом, *механика Ньютона может быть охарактеризована как классическая нерелятивистская механика. Это значит, что она изучает медленные движения макроскопических тел.*

*Релятивистская и квантовая механики являются более общими теориями, чем механика Ньютона. Последняя содержится в них как приближенный предельный случай. Релятивистская механика переходит в механику Ньютона в случае медленных движений. Квантовая механика переходит в механику Ньютона в случае тел достаточно больших масс, движущихся в достаточно плавно меняющихся силовых полях.* Это не означает, что механика Ньютона утратила свое значение. Во многих случаях фактические изменения, вносимые теорией относительности и квантовой механикой, сводятся к небольшим поправкам к ньютоновской механике. Они называются соответственно *релятивистскими* и *квантовыми*. Эти поправки в случае обычных медленных движений макроскопических тел столь ничтожны, что как правило, далеко выходят за

пределы точности самых тонких физических измерений. Кроме того, уже простейшие задачи на движение макроскопических тел, с которыми механика Ньютона легко справляется, привели бы к непреодолимым математическим трудностям при попытке найти их точные решения методами релятивистской и квантовой механики. Чтобы практически получить решение, надо было бы ввести упрощения и перейти к приближенным методам, а это по своему результату эквивалентно переходу к механике Ньютона.

Если, например, движение космического корабля рассчитывается по законам механики Ньютона, не учитывающей релятивистские эффекты, то при скорости корабля  $v = 8$  км/с возникающая вследствие этого относительная ошибка будет величиной порядка  $\left(\frac{v}{c}\right)^2 = \left(\frac{8}{300\,000}\right)^2 \sim 10^{-9}$ . Таким образом, здесь механика Ньютона обеспечивает точность вычислений до  $10^{-7}$  процента. Вводить в подобных случаях релятивистские поправки не только не нужно, но и иллюзорно, хотя бы уже потому, что входные параметры, необходимые при расчетах, могут быть определены с несравненно меньшей точностью. Кроме того, в этом нет практической необходимости \*).

Таким образом, механика Ньютона имеет очень широкую и практически важную область применимости. В пределах этой области она никогда не утратит своего научного и практического значения. Отказываться от механики Ньютона надо лишь вне области ее применимости, когда она приводит либо к неверным, либо недостаточно точным результатам. Такова, например, задача о движении заряженных частиц в ускорителях, где надо пользоваться релятивистской механикой. Таковы задачи о движении электронов в атомах, которые надо решать с помощью квантовой механики.

\*) Следует заметить, что при изучении планет Солнечной системы (Меркурия, Венеры, Земли, Марса) уже в прошлом столетии были обнаружены небольшие отступления от механики Ньютона, которые позднее в общей теории относительности были истолкованы как релятивистские поправки  $\sim v^2/c^2$  ( $v$  — скорость планеты). Оказалось, что перигелий планеты медленно вращается в том же направлении, в каком движется сама планета. Такое движение перигелия в основном обусловлено возмущающим влиянием остальных планет. Однако механика и теория тяготения Ньютона дают для этого вращения значение, несколько меньшее наблюдаемого. Наибольшее расхождение получается для Меркурия, орбита которого наиболее вытянута, а скорость  $v$  наибольшая. Для Меркурия расхождение составляет около 43 угловых секунд в столетие. Такое дополнительное вращение перигелия есть чисто релятивистский эффект. Он сохранился бы и при отсутствии возмущающего влияния остальных планет, т. е. в том случае, если бы помимо Солнца и Меркурия в Солнечной системе никаких других тел не было. В настоящее время в связи с широким распространением лазерной техники исследуются и привлекают все большее и большее внимание и другие релятивистские поправки в небесной механике.