



**Сохранение**

Оглянитесь вокруг. Как и у всех людей, у вас есть тело, а сами вы где-то находитесь, и, скорее всего, — в окружении самых разных предметов. Стол и стулья, стены и потолок, деревья и озеро, если вы на природе, — все эти объекты существуют, а их положение и свойства могут меняться с течением времени. Можно поставить стул рядом со стеной или посередине комнаты. Можно выпить стакан воды, а можно поставить его на стол. Через какое-то время вода испарится.

Именно так мы видим окружающий мир, смотря на него человеческими глазами, с близкого расстояния. Мы видим пространство, в котором находятся объекты. (При этом под словом «пространство» мы понимаем не космос, а некую трехмерную область, в которой можно перемещаться.) Объекты могут оставаться неизменными либо меняться. Физика изучает объекты, их поведение на самом базовом уровне, который можно представить. Что они из себя представляют? Как связаны друг с другом? Как изменяются со временем? Что такое «время» и что такое «пространство»?

Одна из самых приятных особенностей физики в том, как быстро мы переходим от простых наблюдений — смотрите, вот этот объект ведет себя вот так! — к глубоким вопросам о природе реальности. Но никакие явления не происходят сами по себе: они вписываются в определенные *закономерности*. Именно их мы называем **законами физики**, и наша задача — раскрыть их.

Самой простой закономерностью является тот факт, что некоторые объекты не изменяются с течением времени. С размышлений над этой базовой особенностью реальности мы и начнем наш путь, который вскоре приведет нас ко множеству интересных вещей.

## Предсказуемость

Можно с уверенностью сказать, что мир вокруг нас предсказуем хотя бы в некоторой степени. На пару секунд отвернувшись от стола, а затем повернувшись назад, мы уверены в том, что снова увидим его. Кладя на стол яблоко, мы знаем: оно не полетит на пол, пройдя сквозь поверхность. Увы, мы пока что не в силах точно сказать, будет ли завтра дождь и кто победит на чемпионате, но результаты многих явлений достаточно предсказуемы.

Именно предсказуемость делает возможным существование физики. Пусть и не с абсолютной точностью, мы можем предугадать, что произойдет в нашем мире, исходя из данных о его текущем состоянии. Самый главный вид предсказуемости — **сохранение**, то есть отсутствие изменений.

Физики понимают под этим словом «постоянство во времени». Возможно, вы слышали о сохранении **энергии**, *свойства* объектов, которым они обладают в зависимости от природы и состояния. Энергия — не вещество, как песок или вода, не жидкость, которая перетекает с одного места в другое. Однако мы можем сказать, что если объект расположен на высоте, движется, нагрет, имеет большой вес, электрически заряжен, он обладает энергией.

При определенных обстоятельствах энергия преобразуется из одной формы в другую и обратно. Например, энергия стоящего на столе стакана, если столкнуть его на пол, мгновенно перейдет в энергию движения. Когда же стакан упадет и разобьется, его энергия рассеется, преобразуясь в энергию удара, шум и другие явления. При этом под сохранением энергии мы понимаем тот факт, что суммарное ее количество, независимо от текущей формы, не изменяется в течение всего наблюдаемого процесса.

(Постойте, спросите вы, где же здесь логика? Мы просто придумали несколько величин, дающих в сумме постоянное число, назвали его «энергией» и радостно сообщаем, что открыли закон

физики? Нет. Есть независимые способы определить энергию и показать ее преобразования. Способы, в основе которых тот факт, что законы физики сами по себе неизменны. Но все же вы задали верный вопрос.)

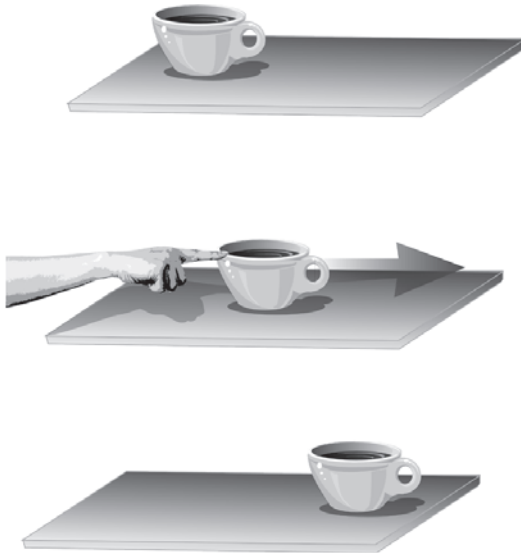
Итак, существует некое свойство объектов, которое не изменяется, остается постоянным с течением времени. Это очень простая идея. Однако я выбрал ее, чтобы начать разговор о физике, совсем не по этой причине. Такое решение связано с тем, что поняв, что энергия сохраняется, ученые сделали первый шаг на пути к современной науке.

## От природы к закономерностям

Подумайте о тех, кто в далекие времена, до появления физики в ее нынешнем виде, пытался понять этот мир. Древние мыслители приходили, в общем-то, к схожим мыслям, но чаще других в пример приводят греческого философа Аристотеля. Значительно упрощая предложенную им довольно сложную телеологическую картину вселенной (согласно которой последняя устремлена к некоей будущей цели), можно сказать, что он разделил движение всех объектов на «естественное» и «неестественное» («вынужденное»). У каждого объекта есть свойственное ему место, которое он стремится занять, а также условия, при которых он движется к этому месту. Например, камень падает на землю и остается лежать, огонь поднимается в небо.

По мнению Аристотеля, в естественном состоянии все на Земле неподвижно, а чтобы объект на какое-то время пришел в движение, необходимо внешнее воздействие. Можно поднять камень и бросить его, привести в неестественное или вынужденное состояние движения. Однако он быстро упадет на землю, может быть, вновь подлетит, отскочив от нее, но затем возвратится в естественное состояние покоя.

Экстраполируя эти наблюдения, Аристотель решил, что можно вывести основное правило вселенной: объекты естественным образом находятся в состоянии покоя, а движутся только тогда, когда что-то выводит их из этого состояния. Во многих случаях это правило действует. Например, стоящая на столе чашка не будет двигаться сама по себе. Мы можем переместить ее, приложив небольшое усилие, но стоит убрать руку, как чашка снова окажется неподвижной.



Но все-таки так происходит не всегда. Еще современники Аристотеля — древние греки — могли заметить, что выпущенная из лука стрела не сразу падает на землю, а долго летит под действием приложенной к ней силы. Почему же так происходит? Что мешает стреле быстро вернуться в естественное состояние?

Сотни лет великие умы ломали голову над этим вопросом, и в конце концов предложенная Аристотелем телеологическая

картина вселенной была отвергнута. Ученые пришли к выводу: объекты не стремятся к неким конечным целям, а подчиняются строгим законам, позволяющим предсказать, что случится потом, исходя из того, что происходит сейчас.

## Сохранение импульса

Мыслитель Иоанн Филопон, который жил в VI веке в Александрии, предположил, что тетива придает стреле некую величину: импульс, как ее позже назвали. Именно импульс, рассеиваясь, некоторое время поддерживает полет. Простое предположение, которое стало важным шагом на пути от «будущих целей» Аристотеля к свойствам, которые существуют в конкретный момент времени.

Идею Филопона развил Ибн Сина (Авиценна), персидский эрудит XI века. Именно он сделал решающий шаг, утверждая, что импульс — не просто временная величина. Каждый объект обладает определенным импульсом, который остается постоянным, пока на объект не подействует некая сила. У неподвижных тел импульс равен нулю.

В этой новой картине мира камни и чашки перестают двигаться не потому, что покой — их естественное состояние, а так как воздействующие на них силы (трение, сопротивление воздуха) постепенно уменьшают импульс, ранее сообщенный этим объектам. Ибн Сина предположил, что в отсутствие воздуха стрела полетит с постоянной скоростью и будет двигаться бесконечно долго. Крайне смелые мысли для того времени. Однако сегодня мы строим ракеты, скорость которых в космосе почти не меняется (если не считать небольших потерь от воздействия гравитации). В XIV веке французский философ Жан Буридан ввел математическую формулу, согласно которой импульс равен весу объекта, умноженному на его скорость.

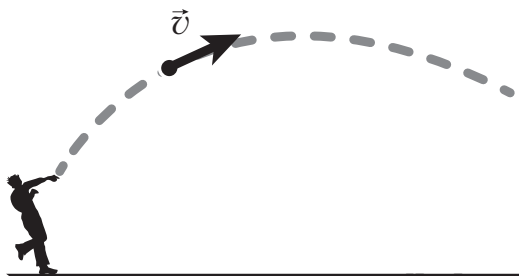
Так появился один из законов физики: **о сохранении импульса**. В дальнейшем от грубой идеи о неизменности некоторого «количества движения» ученые пришли к точному пониманию того, что это за количество. Такой подход — обычное дело в теоретической физике: мы предлагаем новую величину, находим формулу для ее вычисления, а затем смотрим на то, как она, эта формула, согласуется с тем, что мы видим в реальном мире. Сегодня мы знаем, что импульс на самом деле — масса, умноженная на вектор скорости (по крайней мере, если не принимать в расчет теорию относительности, которая несколько все усложняет).

Одна из проблем придуманной Буриданом формулы (вес, умноженный на скорость) состоит в том, что вес не является собственным свойством объекта, так как зависит от действующей на него силы тяжести. На Луне человек весит меньше, чем на Земле, а на космическом корабле, на пути от планеты к планете, совсем не имеет веса. Поэтому нам нужна **масса** — свойство, которое, грубо говоря, показывает сопротивление объекта ускоряющему воздействию. Чтобы разогнать тяжелый и легкий объекты до одинаковой скорости, нужно приложить разные усилия: чем больше масса, тем больше сила.

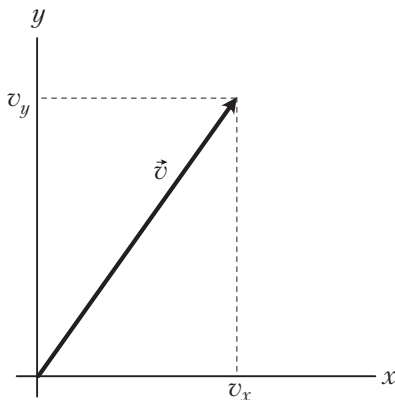
Кроме того, следует различать **скорость** и **вектор скорости**. В первом случае это просто число, сколько-то метров в секунду. **Вектор** же показывает не только величину (которая фактически соответствует его длине), но и направление. Если одна машина едет на север, а другая на юг, и обе они проезжают 90 километров за час, мы можем сказать, что скорости их одинаковы, а направления — отличаются. Соответственно, разными будут и векторы скорости.

Когда мы хотим показать, что какая-то величина является векторной, мы ставим над ее символом стрелочку:  $\vec{v}$ . Если же нас интересует только количественное значение (длина вектора),

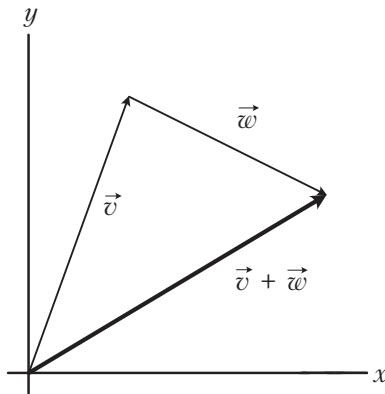
мы используем тот же символ, но без стрелочки. Иными словами, длина вектора  $\vec{v}$  — это просто  $v$ .



Такое обозначение имеет смысл: мы часто представляем векторную величину, буквально рисуя стрелку, которая указывает в направлении вектора, а по длине пропорциональна его величине. Кроме того, вектор можно разложить на **компоненты** — векторы, которые направлены в определенные стороны и образуют в сумме исходный вектор. Если вы движетесь точно на север, то компоненты скорости, направленные на запад или восток, равны нулю.



Складывать векторы очень просто. Нужно совместить начало одного вектора с концом другого, а затем нарисовать вектор, соединяющий начало второго вектора с концом первого. Как будто мы прошли сначала по одному из исходных векторов, а затем — по второму. Если исходные векторы направлены (почти) в одну сторону, длина их суммы будет (почти) равна сумме их длин. Если же они направлены в (почти) противоположные стороны, то результирующий вектор будет намного короче.



Буридан и его предшественники не знали о векторах: их придумали в XIX веке. Среди тех, кто это сделал, — немецкий математик Август Фердинанд Мёбиус<sup>1</sup> (который знаменит «лентой Мёбиуса»), ирландский математик Уильям Роуэн Гамильтон, немецкий эрудит Герман Грассман и английский математик Оливер Хевисайд. Так что на правильное определение импульса ушло немало времени.

<sup>1</sup> Здесь и в дальнейшем я буду писать букву  $\epsilon$  в именах и фамилиях, чтобы вы знали, как правильно их произносить.

В наши дни вектор импульса обычно обозначается буквой  $\vec{p}$  (от его латинского названия — *petere*). В итоге формула импульса — одна из самых простых в мире — выглядит так:

$$\vec{p} = m\vec{v}. \quad (1.1)$$

Наше первое официальное уравнение. Вектор импульса направлен в ту же сторону, что и вектор скорости, а его длина пропорциональна ее величине. **Пропорциональность** станет для нас крайне важным понятием. Оно означает, что кратное изменение одной величины влечет за собой кратное изменение другой. Если удвоить скорость, удвоится и импульс. Постоянное число, которое связывает такие величины, называется «коэффициентом пропорциональности». В некоторых уравнениях он может быть не совсем постоянным, но в данном случае это так: он равен массе объекта.

Преимущества даже такого простого уравнения очевидны. Мы не просто говорим, что импульс какого-то объекта равен произведению его массы на скорость. Мы заявляем, что существует *универсальное* соотношение между импульсом, массой и скоростью, которое справедливо всегда, для любого объекта. Когда мы дойдем до теории относительности, кое-какие из ранее пройденных формул придется «подправить». Но основные принципы останутся прежними.

В этом уравнении нет «причинности». Это жесткая связь между величинами, которую можно прочесть как слева направо, так и справа налево. Мы можем выполнять с ним любые операции, но только одинаковые для обеих сторон. Например, если разделить их на  $m$ , мы получим  $\vec{p}/m = \vec{v}$ . «Если я знаю скорость объекта, то, умножив ее на массу, я получу импульс». «Если я знаю импульс, то, разделив его на массу, я получу скорость». Эти высказывания равносильны.