

Глава 3

ТВОРЧЕСКИЙ ПЛАГИАТ

Чем сильнее вещи меняются, тем
больше они остаются теми же.

Жан-Батист Альфонс Карр

Бытует расхожее мнение, что в основе новых научных открытий всегда лежат радикально новые идеи. В действительности все обстоит совсем наоборот. Старые идеи не только выживают в научных революциях, но и не теряют своего фундаментообразующего положения.

Несмотря на то что Вселенная бесконечно богата разнообразными явлениями, число основополагающих принципов, управляющих этими явлениями, весьма невелико. В результате в физике ценятся не столько новые, сколько работающие идеи. Таким образом, мы используем одни и те же концепции, один и тот же формализм, одни и те же методы, одни и те же картины мира, приспособлявая и комбинируя их в разных вариантах до тех пор, пока они работают.

Подобный подход к разгадкам тайн природы может показаться робким и не креативным, но это не так. Раз уж у кого-то хватило смелости предположить, что при помощи пращи можно убить гиганта, то кто запрещает нам предполагать, что те же законы, которые управляют полетом камня, выпущенного из пращи, не годятся для описания эволюции Вселенной? Чтобы понять, как использовать старую идею в новой и необычной ситуации, зачастую требуется немалая фантазия.

В физике «меньше» значит «больше». Пересадка старых идей в организм новых теорий столь часто завершается успехом, что мы имеем все основания ожидать, что эта практика будет приносить плоды и в дальнейшем. Даже те редкие новые физические концепции, которые пробили себе путь в науке, обречены на мирное сосуществование с уже имеющимися знаниями. Это тот творческий плагиат, который делает физику простой и понятной, поскольку это означает, что фундаментальных физических принципов очень мало.

Одним из величайших современных заблуждений относительно науки является представление, будто научные революции сметаю́т все, что было прежде. Например, часто приходится слышать, что Эйнштейн опроверг Ньютона. Но это не так. Движение мяча, который я выпускаю из своей руки, описывается и всегда будет описываться законами Ньютона. И никакая научная революция не заставит его падать вверх. Наиважнейшим «законом» физики является требование, чтобы новые теории всегда согласовывались со старыми, чья работоспособность проверена практикой. Поэтому все последующие теории всегда будут активно заимствовать идеи предыдущих.

Этот метод «делания науки» дополняет метод аппроксимации реальности, о котором я говорил ранее. Фейнмановское

«к черту торпеды, полный вперед!» предполагает, что не обязательно понимать абсолютно все, чтобы двигаться дальше. Мы исследуем неизвестные воды при помощи тех инструментов, которые имеются в нашем распоряжении, не теряя времени и сил на создание нового арсенала.

Прецедент, положивший начало этой традиции, был создан Галилеем. Как я уже говорил в первой главе, Галилей сосредоточил внимание на простейших, наиболее общих аспектах движения, пренебрегая частностями, и это преобразило всю научную картину мира. Галилея не интересовало, почему вещи движутся, вместо этого он поставил на первое место вопрос как они движутся.

Мы создаем совершенно новую науку о предмете чрезвычайно старом. В природе нет ничего древнее движения, и о нем философы написали томов немало и немалых. Однако я излагаю многие присущие ему и достойные изучения свойства, которые до сих пор не были замечены либо не были доказаны¹.

Как только Галилей показал, что состояние покоя есть лишь особый случай состояния движения с постоянной скоростью, аристотелевская философия, придававшая состоянию покоя особый статус, затрещала по швам. В действительности утверждение Галилея предполагает нечто большее, оно предполагает, что законы физики выглядят с точки зрения движущегося с постоянной скоростью наблюдателя точно так же, как и с точки зрения покоящегося. Если некоторый объект находится в состоянии равномерного прямолинейного

¹ «Беседы и математические доказательства, касающиеся двух новых отраслей науки, относящихся к механике и местному движению синьора Галилео Галилея Линчео, философа и первого математика светлейшего великого герцога тосканского с приложением о центрах тяжести различных тел». Галилео Галилей. Избранные труды. — М.: Наука, 1964.

движения относительно одного наблюдателя, то он также будет находиться в состоянии равномерного прямолинейного движения и относительно другого. Аналогично объект, который ускоряется или замедляется по отношению к одному наблюдателю, будет делать то же самое и по отношению к другому. Эта эквивалентность двух точек зрения получила название *принцип относительности Галилея*, который предвосхитил Эйнштейна почти на три столетия.

Нам очень повезло, что принцип относительности Галилея оказался справедлив, потому что, когда мы измеряем скорости и перемещения окружающих нас объектов относительно неподвижной и стабильной *terra firma*¹, Земля в то же самое время летит по орбите вокруг Солнца, Солнце обращается вокруг центра Галактики, Галактика движется относительно местной группы галактик и так далее. Так что мы в действительности не стоим на месте, а летим с достаточно большой скоростью относительно далеких галактик. Если бы нам пришлось принимать во внимание все эти движения, чтобы описать полет мяча относительно Земли, то ни Галилей, ни Ньютон никогда не смогли бы вывести свои законы. Законы классической физики работают только потому, что равномерное (в масштабах человеческой жизни) движение нашей Галактики относительно ее соседей не изменяет поведение предметов на Земле. Открытие же этих законов, в свою очередь, позволило астрономам впоследствии обнаружить движение нашей Галактики относительно других объектов во Вселенной.

Я вернусь к теме относительности позже. Сейчас же я хочу рассказать, как Галилей развил свой первый успех в исследовании равномерного движения. Поскольку большинство

¹ Terra firma — лат. «земная твердь». — *Примеч. пер.*

движений, которые мы наблюдаем в природе, не являются равномерными, Галилей считал необходимым исследовать и их. И снова мы встречаемся с уже сформулированной ранее максимой, требующей задаваться вопросом не «почему?», а «как?».

Мне думается, что сейчас неподходящее время для занятий вопросом о причинах ускорения в естественном движении, по поводу которого различными философами было высказано столько различных мнений; одни приписывали его приближению к центру, другие — постепенному частичному уменьшению сопротивляющейся среды, третьи — некоторому воздействию окружающей среды, которая смыкается позади падающего тела и оказывает на него давление, как бы постоянно его подталкивая; все эти предположения и еще многие другие следовало бы рассмотреть, что, однако, принесло бы мало пользы. Сейчас для нашего Автора будет достаточно, если мы рассмотрим, как он исследует и излагает свойства ускоренного движения (какова бы ни была причина ускорения), приняв, что моменты скорости, начиная с перехода к движению от состояния покоя, идут, возрастая в том же простейшем отношении, как и время, то есть что в равные промежутки времени происходят и равные приращения скорости¹.

Галилей рассматривает наиболее простой вид неравномерного движения, а именно такой, при котором скорость тела изменяется с течением времени равномерно. Насколько правомерна такая идеализация? Галилей гениально показал, что подобное упрощение фактически описывает движение всех падающих тел, если пренебречь сопротивлением воздуха. Это исследование открыло путь к ньютоновскому закону всемирного тяготения. Без знания о том, что в основе падения тел лежит равноускоренное движение, прийти к соотношению

¹ «Беседы и математические доказательства...» (см. ссылку на с. 90).

между силой, массой и ускорением было бы весьма затруднительно. В действительности, чтобы прийти к этому выводу, Галилею пришлось преодолеть два препятствия, не имеющих непосредственного отношения к обсуждаемой теме, но его аргументы были настолько простыми и убедительными, что я не могу устоять перед соблазном привести их.

Аристотель утверждал, что падающие тела мгновенно приобретают свою скорость, стоит их только отпустить. Этот вывод был основан на непосредственном наблюдении, не подкрепленном никакими измерениями. Галилей был первым, кто убедительно показал, что это не так, причем в своем доказательстве он использовал до смешного простой пример. Доказательство Галилея основывалось на *мысленном эксперименте*. Но сейчас я предлагаю вместо мысленного эксперимента провести реальный. Возьмите банную тапочку и уроните ее в воду с высоты 20 сантиметров. Затем повторите эксперимент, уронив тапочку с высоты 10 сантиметров. Если предположить, что громкость, с которой тапочка делает «плюх», зависит от ее скорости, вы легко убедитесь, что скорость тапочки увеличивается в процессе падения.

Следующим шагом Галилея стала демонстрация того факта, что все предметы, независимо от их массы, должны падать с одним и тем же ускорением, если пренебречь сопротивлением воздуха. Большинство людей считают, что Галилей продемонстрировал это своим знаменитым экспериментом с бросанием пушечного ядра и мушкетной пули с Пизанской башни. В действительности это легенда. Галилей никогда ничего не бросал с Пизанской башни, а вместо этого предложил, на этот раз уже действительно *мысленный* эксперимент, который обнажил парадокс, возникающий при предположении, что тело, имеющее вдвое большую массу, должно падать вдвое быстрее. Представьте себе, что вы

бросаете с башни два пушечных ядра одинаковой массы. Они должны падать с одним и тем же ускорением и достичь земли одновременно, даже если скорость их падения зависит от массы. Теперь представьте себе, что, пока они падают, некто очень проворный высовывается в окно и склеивает эти ядра друг с другом. Теперь мы имеем одно тело, масса которого в два раза больше массы каждого из ядер. Здравый смысл говорит нам, что это новое тело ни с того ни с сего не станет падать со вдвое большим ускорением, чем падали ядра по отдельности, до того, как некто мазнул их клеем. Таким образом, мы неизбежно приходим к выводу, что ускорение падающих тел не должно зависеть от их массы.

После этого Галилей перешел от мысленных экспериментов к реальным и занялся непосредственным измерением ускорения падающих тел, чтобы убедиться в том, что оно постоянно. Напомню, что это означает, что скорость изменяется с течением времени равномерно. Опять-таки я обращаю внимание на то, что при создании того фундамента, на котором впоследствии была создана теория тяготения, Галилей предпринял попытку описать, *как* падают тела, но не *почему*. Это похоже на пример Фейнмана с шахматами: сначала мы внимательно изучаем конфигурации шахматной доски, затем тщательно описываем движение фигур. Снова и снова, начиная с Галилея, мы проходим путь от описания «игрового поля», на котором разворачиваются физические явления, к попытке понять правила, по которым эти явления «играют». В окончательной версии построенной таким способом картины уже игровое поле определяет правила, и позднее я покажу, что именно таким путем развивается современная физика ... но я отвлекся.

Галилей не остановился на достигнутом. Он занялся описанием более сложного типа движения и получил его путем

«копирования» уже достигнутого результата. До этого момента мы рассматривали движение только в одном измерении — либо падение вниз, либо движение в горизонтальной плоскости. Но брошенный мяч совершает одновременно оба эти типа движения. Если не учитывать сопротивление воздуха, то траектория мяча будет представлять собой дугообразную математическую кривую, называемую параболой. Галилей доказал это, используя уже полученные ранее результаты. Он предположил, что двухмерное движение может быть представлено как совокупность двух независимых движений, а именно движения с постоянным ускорением в вертикальном направлении и движения с постоянной скоростью в горизонтальном. Сложите вместе эти два движения, и вы получите параболу.

Несмотря на кажущуюся простоту вышеприведенного объяснения, независимость горизонтального и вертикального движения часто становится причиной ошибок даже среди физиков. Рассмотрим, к примеру, двух спортсменов: прыгуна в длину и баскетболиста. Прыгун в длину разбегается и, достигая максимальной скорости, отталкивается от земли вверх, пролетая по воздуху больше восьми метров. Баскетболист, наоборот, не имея никакой горизонтальной скорости, прыгает вверх, находясь под баскетбольной корзиной. На вопрос, кто из них дольше находится в воздухе, часто отвечают, что прыгун в длину, потому что он пролетает большее расстояние.

На самом деле, если оба спортсмена достигают в своем прыжке одинаковой высоты, то они проводят в воздухе одинаковое время, потому что горизонтальное движение прыгуна в длину происходит независимо от его вертикального движения. Аналогично в демонстрационном школьном опыте, когда один шарик выстреливается горизонтально, в то

время как второй одновременно с выстрелом начинает свободно падать, оба шарика достигают поверхности стола одновременно, несмотря на то что выпущенный горизонтально шарик пролетает гораздо большее расстояние, чем падающий отвесно.

Метод Галилея, показавшего, что два измерения могут быть представлены как две копии одного, точно так же, как и два соответствующих этим измерениям движения, был впоследствии взят на вооружение физиками. Тем же методом, то есть копированием имеющихся решений, большинство задач современной физики могут быть сведены к уже ранее решенным задачам, потому что задачи, которые имеют точное аналитическое решение, можно сосчитать по пальцам двух рук (ну, может быть, понадобятся еще несколько пальцев ног). В частности, если мы перейдем от двух пространственных измерений к трем, обнаружится, что для большинства трехмерных задач невозможно получить точное решение, даже задействовав всю вычислительную мощность всех существующих в мире суперкомпьютеров. Те же трехмерные задачи, которые мы можем решить, либо являются частными случаями более общей трехмерной задачи, когда мы искусственно ограничиваем возможный диапазон начальных и граничных условий, либо могут быть представлены в виде независимой комбинации нескольких более простых двумерных или одномерных задач.

Примеры подобного подхода можно найти везде. Я уже рассказывал о построении Стандартной солнечной модели, в которой внутренняя структура Солнца представляется центрально-симметричной, то есть считается, что все параметры — плотность, давление, температура, химический состав — зависят только от одной величины: расстояния от центра Солнца. Это позволяет упростить трехмерную модель

внутреннего строения Солнца до одномерной и записать все уравнения как функции одной-единственной переменной — расстояния r .

Еще один пример упрощения трехмерной задачи, в котором мы, в отличие от солнечной модели, не пренебрегаем двумя измерениями, а разбиваем задачу на одномерную и двухмерную, можно найти у себя дома на кухонном столе в виде кристалла поваренной соли. Законы квантовой механики, описывающие поведение атомов и субатомных частиц, позволяют объяснить законы образования химических соединений. Простейшим из всех атомов является атом водорода. Он состоит из одного протона, вокруг которого обращается один электрон. Решение уравнения, описывающего взаимодействие электрона и протона, однако, не столь просто.

Электрон в атоме водорода может находиться в нескольких состояниях, различающихся полной энергией. Каждое из основных энергетических состояний, или, как чаще говорят, каждый из *энергетических уровней*, в свою очередь, состоит из *подуровней*, различающихся формой электронной «орбиты». На простейшем уровне все химические взаимодействия, в том числе и те, которые отвечают за биохимические процессы, могут быть описаны набором правил, заключающихся в подсчете количества доступных электрону состояний. Элементы, у которых все доступные свободные состояния, кроме одного, заняты электронами, очень активно соединяются с элементами, у которых все доступные свободные состояния, кроме одного, свободны. Например, поваренная соль образуется, когда атом натрия, имеющий один электрон на верхнем уровне, соединяется с атомом хлора, у которого на верхнем уровне имеется одно не занятое электронами состояние. Атом натрия отдает «лишний» электрон атому хлора, у которого как раз «недостает» одного электрона.