

$x(t^*) = A$ она не успевает достигнуть нижней точки $x = -A$ и изменить направление движения. В этом случае столкновение шарика с убегающей плиткой приведет к уменьшению его энергии.

Итак, увеличению энергии шарика соответствует промежуток фаз

$$\varphi(t^*) \in \left[0, \frac{\pi}{2}\right] \cup \left[\frac{3\pi}{2} - \varepsilon, 2\pi\right],$$

а уменьшению — промежуток $\varphi(t^*) \in \left[\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2} - \varepsilon\right]$.

Как видно, первый промежуток на 2ε шире, чем второй. Если предположить, что в момент t^* фаза плитки с равной вероятностью принимает значения от 0 до 2π , то наши рассуждения приводят к такому выводу: столкновения шарика с плиткой, движущейся навстречу, более вероятны, чем с движущейся в том же направлении, и, следовательно, происходят чаще. Значит, в среднем шарик чаще получает энергию, чем отдает, что и объясняет наблюдаемый рост средней максимальной высоты его подскока. В реальных условиях столкновения не могут быть абсолютно упругими, т.е. происходит переход энергии в тепло (диссипация). Этим фактом обусловлено существование предельной максимальной высоты подскока.

Задачу можно было бы считать решенной, если бы не предположение о равновероятном распределении фазы плитки в момент времени t^* . Вообще говоря, фазу столкновения всегда можно определить точно из законов движения шарика и плитки, почему же мы говорим о ней как о случайной величине, да еще и равномерно распределенной? Все дело тут в слове «точно». В действительности всякая физическая

величина может быть определена лишь с известной степенью точности. Оказывается, если в определении фазы некоторого столкновения мы ошибемся на число порядка $10^{-3} \cdot 2\pi$, то уже через несколько столкновений значение фазы, полученное из расчета, будет отличаться от действительного на величину, сравнимую с 2π . Системы, в которых малое отклонение в значениях определяющих параметров приводит к существенным изменениям, в динамике принято называть *хаотическими*. Поведение таких систем на практике почти никогда не удается предсказать в точности, и поэтому об их состоянии в некоторый момент времени говорят с той или иной долей вероятности, как если бы на движение этих систем влияли случайные факторы.

Идея механической модели, описанной в задаче, впервые была предложена Э.Ферми для объяснения громадных энергий частиц, прилетающих на Землю в космических лучах. Потоки частиц, «сталкиваясь» с переменными магнитными полями галактик и газовых скоплений, ускоряются подобно тому, как ускоряется шарик при соударениях с массивной плиткой.

В этой связи возникает вопрос: может ли ускорение шарика продолжаться неограниченно долго? В случае неупругого столкновения ответ ясен: нет; не может, так как теряемая в виде тепла энергия увеличивается с ростом энергии шарика. Интересно, что, даже если соударения упругие, все равно энергия шарика будет ограничена. Хотя, согласно нашим рассуждениям, средняя энергия шарика должна возрастать, тем не менее, нужно понимать, что выражение для скорости шарика справедливо

только в предположении, что энергия плитки много больше энергии подпрыгивающего шарика. Иными словами, мы считаем, что массивная плитка значительно изменяет энергию шарика, а шарик на движение плитки почти не влияет. Это допущение становится неверным, если средние энергии шарика и плитки сравнимы по величине. В этом случае, как нетрудно показать, увеличения средней энергии шарика при его столкновении с движущейся навстречу плиткой не происходит. Таким образом, средняя энергия шарика будет возрастать до тех пор, пока не станет сравнимой со средней энергией плитки.

Если интерпретировать шарик как малую частицу, а плитку как газ из массивных молекул, в который эта частица помещена, то наши рассуждения позволяют заключить, что средняя кинетическая энергия частицы будет увеличиваться, пока не сравняется со средней кинетической энергией молекул газа. Усмотрев это следствие из знаменитой теоремы Больцмана о равномерном распределении энергии по степеням свободы в задаче про гравитационную машину, мы могли бы сразу дать ответ на поставленный в ней вопрос. Необходимо заметить, однако, что правомерность обращения к теореме Больцмана существенно связана с хаотичностью (со стохастичностью) системы шарик — плитка. Характерной особенностью таких систем является своеобразная эволюция в их описании. Точно заданные законы движения содержат в себе хаотичность (при определенных условиях), которая в результате приводит к необходимости вероятностного описания.

Наука в двадцатом веке

В.ВАЙСКОПФ

(Начало см. на с. 10)

физику элементарных частиц, ядерную физику, атомную и молекулярную физику, физику конденсированных сред и т.д. Каждый уровень имеет собственные законы и концепции, основанные на взаимодействии квазиэлементарных объектов, состоящих из элементарных составляющих с более высокого уровня. При этом энергия связи этих элементарных составляющих меньше для более низких уровней. И внутреннее устройство составляющих не важно для

процессов, изучаемых на каждом уровне. Существуют теории, описывающие процессы на каждом уровне без учета внутренней структуры элементов. Например, существенная часть ядерной физики имеет дело с протонами и нейтронами как частицами, не думая об их кварковом составе. Атомная и молекулярная физика работает с атомами, не зная ничего об атомных ядрах. И конечно, кварковая структура частиц совершенно не интересна для биологии, которая имеет собственные законы и концепции.

При движении с низших уровней к высшим возрастает сложность, появляются новые законы, которые не противоречат законам более низких уровней, но не могут быть выведены

из них. В процессе расширения и остывания Вселенной она проходит стадии как бы от высших уровней вещества к низшим, создавая все более сложные объекты, пока не доходит до живых существ на Земле, а возможно и на других планетах.

Наличие таких более или менее разьединенных уровней науки приводит к нежелательному эффекту суперспециализации. Работая на одном из уровней, ученые практически ничего не знают о ситуации на других уровнях, поскольку эта информация совершенно не нужна им для работы. К тому же, просто нет времени и возможности быть в курсе происходящего на других уровнях.

Окончание следует