

Необходимо подчеркнуть, что указанные здесь выводы относительно распределения как самих молекул, так и их скоростей имеют место лишь в том случае, когда число молекул газа весьма велико, так как только тогда будет иметь силу закон *больших чисел*, служащий основой статистического метода ¹⁾.

Одним из частных приемов, присущих статистическому методу, является вычисление *средних значений* различных величин, подверженных индивидуальным колебаниям (например, средней молекулярной скорости и средней энергии поступательного движения одной молекулы).

§ 75. Термодинамический метод

Направления полета молекул, скорости молекул, их соударения, сцепление их в агрегаты, распад этих агрегатов и другие события микромира случайны. Однако в природе нет явлений, которые не были бы подчинены закономерностям, и случайными событиями управляют свои законы и прежде всего закон *больших чисел*. В обширных собраниях молекул выравниваются случайные события, и из «хаоса» микромира закономерно рождается упорядоченный ход явлений в макромире ²⁾ — статистическая закономерность.

Существуют три пути для изучения статистических закономерностей в физике.

Первый путь: представляют себе картину событий, происходящих в микромире, и с помощью точных законов механики и теории вероятностей предугадывают посредством вычислений, к сожалению, сложных, как отразится неупорядоченность микромира на ходе процессов, доступных непосредственному наблюдению. Это — путь *статистической механики*.

Второй путь — постоянное сочетание теории с опытом: на основе физических и химических опытов с помощью догадок нащупывают закономерности, имеющие статистический смысл; придумывают простые «модельные объяснения» этих закономерностей и на

¹⁾ Закон *больших чисел* формулируется так: при достаточно большом числе независимых испытаний следует с вероятностью, сколь угодно близкой к достоверности, ожидать, что отношение числа появлений события к числу испытаний будет сколь угодно близко к вероятности события.

Вот простой пример для иллюстрации этого закона. Пусть имеется кубик из однородного материала, грани которого отмечены цифрами от 1 до 6. Кубик подкидывают как попало вверх, после чего он падает на стол. Вероятность того, что кубик ляжет определенной гранью вверх (например, той, где цифра 4), выражается отношением $1/6$. С другой стороны, если много раз бросать кубик подобным образом, то число появлений грани 4 («событие») будет относиться к числу бросаний («испытаний»), как $1:6$.

²⁾ Термин *макро* (греч. *μακροσ* — *б о л ь ш о й*) противопоставляется термину *микро*. Макроскопический объем — это объем, содержащий достаточно большое число молекул.

основе созданных таким образом временных и еще далеко не совершенных гипотез планируют новые серии опытов для уточнения ранее найденных закономерностей и для обнаружения новых фактов. Это — путь *молекулярной физики*.

Третий путь своеобразен. Он принадлежит *термодинамике*¹⁾. Из большого числа добытых опытом истин избираются только две-три, но зато наиболее достоверные, основные по своему значению и общности, а затем методом строго логического вывода следствий из них устанавливают множество частных закономерностей, позволяющих точно предугадать ход различных процессов и свойства разнообразных веществ.

Исторически термодинамика возникла в результате требований, предъявленных к физике со стороны теплотехники. Но она давно переросла эти требования. Теперь понятия «тепло» и «работа» играют в термодинамике хотя и важную роль, но все же они ни в какой мере не определяют предмета термодинамики.

Предметом термодинамики служат все те факты (объекты и явления) физики и химии, которые представляют собой статистически закономерный результат событий, разыгрывающихся в микромире. Типичными примерами фактов, подлежащих термодинамическому исследованию, являются: диффузия и вообще неупорядоченное проникновение молекул одного вещества в гущу молекул другого (растворение, абсорбция); охлаждение и нагревание, сопровождающиеся изменением интенсивности движения отдельных частиц вещества; химические реакции; кристаллизация, плавление, испарение и т. д.

Таким образом, предмет термодинамики, статистической механики и молекулярной физики один и тот же. Эти три науки родственны, развиваются параллельно, но методы их глубоко различны.

Термодинамика черпает свое содержание дедуктивным методом из нескольких законов физики, установленных с полной достоверностью опытным путем. Все ее выводы являются поэтому столь же достоверными, как и законы, положенные в ее основу (конечно, подразумевается условие, что в ходе рассуждений не было допущено какой-либо логической или вычислительной ошибки).

В настоящее время эмпирический базис термодинамики складывается из двух основных и одного дополнительного законов. Термодинамика как самостоятельная наука возникла в середине XIX в., когда были открыты два основных ее закона. Мы будем называть их поэтому *началами* термодинамики. Третий закон (так называемый тепловой закон Нернста) был установлен в начале XX в.; он служил

¹⁾ Слово «термодинамика» происходит от греческих слов *therme* — тепло и *dinamis* — сила. Учитывая историю происхождения слова «термодинамика», его надо расшифровывать так: «наука о силах, связанных с теплом» (но вовсе не о движении тепла; изучение явления теплопроводности и законов движения тепла не входит в задачи термодинамики).

фундаментом лишь для некоторых дополнительных глав термодинамики ¹⁾. Первое и второе начало термодинамики могут быть сформулированы так.

Первое начало. Невозможно возникновение или уничтожение энергии.

Второе начало. Невозможен процесс, единственным результатом которого было бы превращение теплоты в работу.

Сформулируем эти начала иначе, чтобы сразу стало очевидным их значение для техники. С этой целью введем представление о вечном двигателе (перпетуум мобиле) первого и второго родов.

Двигатель, который, повторяя произвольное число раз один и тот же процесс, был бы способен производить работу в количестве, большем по сравнению с тем количеством энергии, которое он поглощает извне,— другими словами, двигатель, который сам бы рождал энергию,— называют *перпетуум мобиле* ²⁾ *первого рода.*

Под термином *перпетуум мобиле второго рода* подразумевают такой *тепловой двигатель, который, повторяя произвольное число раз один и тот же процесс, был бы способен целиком превращать в работу все тепло, черпаемое им у какого-нибудь тела или тел, играющих роль источников тепла (не нуждаясь, таким образом, в других телах, служащих для стока теплоты, не превращенной в работу).*

Например, если бы можно было изобрести такую паровую машину, которая все тепло, заимствуемое у котла, полностью превращала бы в работу и не нуждалась бы, следовательно, ни в холодильнике, ни в каком-либо теле, заменяющем холодильник ³⁾, то эта машина была бы перпетуум мобиле второго рода.

Обе эти машины, с точки зрения нужд человека, являются особо заманчивыми. Будь построено перпетуум мобиле первого рода, человечеству уже не надо было бы больше заботиться о топливе, химическая энергия которого преобразуется в двигателях внутреннего сгорания и в паровых машинах в энергию механическую, не надо было бы сооружать плотины на реках для гидросиловых установок.

Будь построено перпетуум мобиле второго рода, мы овладели бы неисчерпаемыми природными источниками тепла. Простой расчет показывает, что при посредстве перпетуум мобиле второго рода мы могли бы, преобразуя получаемую от воды океанов теплоту в работу, приводить в движение машины всех заводов, существующих во всех странах света, и только через 1700 лет заметили бы, что температура воды в океанах понизилась на одну сотую градуса.

¹⁾ Тепловой закон Нернста определяет свойства тел при очень низких температурах.

²⁾ От лат. *perpetuum mobile* — вечно движущееся.

³⁾ У паровых машин холодильником служит конденсатор или (в менее экономичных машинах) атмосферный воздух.

Было сделано несчетное количество попыток построить вечный двигатель. Это никому не удалось. Случайность ли это? Не следует ли продолжить и усилить попытки?

Ответ на эти вопросы дают два начала термодинамики:

Первое начало говорит: *перпетуум мобиле первого рода невозможно*.

Второе начало говорит: *перпетуум мобиле второго рода невозможно*.

Двигатели описанного свойства могут существовать лишь в нашей фантазии; в реальном бытии им нет места. Попытки их осуществить обречены на провал. Усилия надо направить не на их осуществление, а прежде всего на то, чтобы понять, почему двигатели описанного свойства оказываются невозможными.

§ 76. Термодинамическая характеристика состояния тел и термодинамические процессы

Понятие «тело» в физике (в особенности в термодинамике) имеет смысл, пожалуй, противоположный тому, который в него вкладывает геометрия. Когда в термодинамике или в статистике говорят «тело», то подразумевают предмет, внешний вид которого, форма, цвет нам представляются несущественными; мы этим словом обозначаем *вещество, заполняющее определенный объем*, связываем с ним не зрительное, как в геометрии, а скорее осязательное впечатление.

Под словом «тело» мы подразумеваем воду, воздух, железо, каменную соль, ртуть или какое-либо другое вещество, взятое в определенном объеме и характеризующееся некоторой упругостью, плотностью, степенью нагретости и другими непосредственно или косвенно установленными физическими признаками, имеющими объективную меру. Если все эти признаки во всех частях тела одинаковы, мы говорим про тело, что оно *физически однородно*. Тело может быть физически неоднородно в отношении плотности, в отношении упругости, степени нагретости, степени наэлектризованности, намагниченности и т. д.¹⁾

Все признаки, характеризующие тело и имеющие объективную меру, как-то: плотность, упругость, степень нагретости, степень наэлектризованности, процентное соотношение между количествами разных веществ, из которых слагается тело, и т. д., называют *термодинамическими параметрами состояния тела*. Когда изменяется

¹⁾ Если тело представляет собой с м е с ь (именно смесь, а не химическое соединение) нескольких веществ, то, как бы тонка эта смесь ни была, будь то даже раствор или сплав, мы говорим что это тело *химически неоднородно*. Так, воздух химически неоднороден, так как представляет собой смесь кислорода с азотом, аргоном и другими газами. Вода химически однородна, так как хотя она и состоит из водорода и кислорода, но здесь они находятся в химическом соединении, а не в смеси.