

нее движение и есть теплота. Однако последовательная феноменологическая термодинамика должна вводить расширенное понятие механической энергии, не обращаясь к атомистическим представлениям, руководствуясь одними только общими принципами, являющимися обобщениями опытных фактов. Ближайшей нашей целью и является введение этого понятия.

§ 11. Квазистатические процессы

1. В теоретических методах термодинамики широко используются так называемые *квазистатические* или *квазиравновесные* процессы, т. е. идеализированные процессы, состоящие из непрерывно следующих друг за другом состояний равновесия.

В качестве примера возьмем цилиндр с поршнем, который может свободно перемещаться в нем без трения. Пусть в цилиндре находится газ, и поршень удерживается в положении равновесия лежащим на нем грузом Q (рис. 6). Если снять часть груза или добавить новый, то равновесие нарушится. Возникнет довольно сложное движение газа и колебания поршня с грузом. Но в конце концов все эти движения затухнут, и рассматриваемая система вновь придет в состояние равновесия. Подобные неравновесные процессы очень сложны. Квазистатические процессы являются несравненно более простыми. Чтобы заставить газ в цилиндре расширяться или сжиматься квазистатически, допустим, что разгрузка или нагрузка поршня идет бесконечно малыми порциями. Для наглядности можно вообразить, что поршень нагружен мелким песком. Снимем или добавим одну песчинку. От этого равновесие нарушится бесконечно мало. Когда оно восстановится, снимем или добавим вторую песчинку. Повторив эту операцию много раз, можно в конце концов снять весь груз или изменить его на любую конечную величину. Вместе с грузом изменится на конечную величину и объем газа. Этот процесс состоит из последовательности бесконечно малых процессов, каждый из которых лишь ничтожно мало нарушает состояние равновесия. В пределе, когда масса каждой песчинки стремится к нулю, а полное число песчинок — к бесконечности, получится бесконечно медленный процесс, состоящий из последовательности равновесных состояний. Такой предельный процесс называется *равновесным*. Логически равновесный процесс надо отличать от квазиравновесного или квазистатического процесса. Однако надо помнить в виду, что строго равновесный процесс никогда не реализуется в природе. Поэтому в большинстве рассуждений квазиравновесный процесс называют просто равновесным, опуская

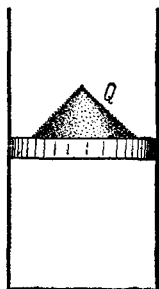


Рис. 6.

приставку «квази». Это будем делать и мы, когда такое сокращение не вызывает недоразумений.

2. Значение квазистатических процессов состоит в том, что они сильно упрощают термодинамические исследования. Это объясняется тем, что для мгновенного описания состояния системы, совершающей квазистатический процесс, требуется *столько же параметров, сколько и для описания равновесного состояния*. В случае газа таких параметров два, например объем и температура. Для более сложных систем число параметров может быть другим, но, если процесс квазистатический, оно, как правило, невелико. Напротив, для описания состояния системы, совершающей какой-либо сложный неквазистатический процесс, например турбулентное движение жидкости или газа, требуется, вообще говоря, *бесконечное множество* параметров.

Квазистатические процессы в строгом смысле этого слова никогда не реализуются в природе. Они являются абстракциями. Но к ним можно подойти сколь угодно близко. Очень многие реальные процессы, идущие с конечными скоростями, часто могут считаться приблизительно квазистатическими. Таковы, например, процессы расширения газов в цилиндрах тепловых двигателей или компрессоров. Образование сгущений и разрежений воздуха в звуковой волне также может рассматриваться как приблизительно квазистатический процесс.

3. В термодинамике часто встречаются следующие квазистатические процессы: 1) *изохорный процесс* — процесс, происходящий при постоянном объеме ($V = \text{const}$); 2) *изобарный процесс* — процесс, в котором давление остается постоянным ($P = \text{const}$); 3) *изотермический процесс* — процесс, происходящий при постоянной температуре ($T = \text{const}$). Как и все квазистатические процессы, указанные процессы можно графически изобразить непрерывными линиями (см. следующий параграф). Соответствующие кривые называются *изохорой* ($V = \text{const}$), *изобарой* ($P = \text{const}$) и *изотермой* ($T = \text{const}$).

§ 12. Макроскопическая работа

1. Рассмотрим снова газ в цилиндре с поршнем (рис. 7). Вычислим бесконечно малую или *элементарную работу* δA , совершаемую газом при бесконечно малом квазистатическом расширении, в котором его объем увеличивается на dV . Сила давления газа на поршень равна $F = PS$, где S — площадь поршня. Если поршень переместится на расстояние dx , то газ совершит работу $\delta A = F dx = PS dx$ или

$$\delta A = P dV, \quad (12.1)$$

так как приращение объема равно $dV = S dx$.