

## Второй закон термодинамики

---

В этой главе вводится второй закон термодинамики и рассматриваются некоторые проблемы, непосредственно с ним связанные. Главная цель состоит в том, чтобы уяснить сущность этого фундаментального закона и освоить понятие энтропии, которая представляет собой наиболее важную физическую величину, но, к сожалению, часто кажется студентам чем-то весьма отвлеченным.

### ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

#### § 1. Обратимые и необратимые процессы

*Обратимый процесс.* Предположим, что при переходе рассматриваемой системы из состояния  $\alpha$  в другое состояние  $\alpha'$  термостат переходит из состояния  $\beta$  в  $\beta'$ . Если каким-либо образом возможно вернуть одновременно систему в состояние  $\alpha$ , а термостат — в состояние  $\beta$ , то процесс перехода  $(\alpha, \beta) \rightarrow (\alpha', \beta')$  называют обратимым.

Такое определение обратимости является наиболее общим. Часто приводится менее общее определение: рассматриваемый процесс является обратимым, если на каждой стадии его можно обратить с помощью бесконечно малых изменений термостата. В этом смысле обратимый процесс представляет собой не что иное, как квазистатический процесс, рассмотренный в гл. 1, § 5. Любой квазистатический процесс в этом смысле обратим. Обратимый процесс в широком смысле необязательно обратим в узком смысле. Например, чисто механические или электромагнитные явления обратимы в широком смысле, но они могут и не быть обратимыми при более узком определении обратимости <sup>1)</sup>. Обычно рассматри-

---

<sup>1)</sup> Примером такого рода может служить движение заряженной частицы во внешнем магнитном поле. Чтобы обратить направление движения, необходимо из-за наличия силы Лоренца изменить направление магнитного поля. Следовательно, без изменения магнитного поля такое движение в узком смысле не является обратимым.

ваемые обратимые процессы являются комбинациями чисто механических или электромагнитных процессов и квазистатических тепловых процессов.

Следовательно, мы можем воспользоваться более узким определением обратимости тепловых процессов; обратимым процессом будем считать квазистатический процесс. На самом деле все физические процессы протекают с конечной скоростью и, следовательно, являются необратимыми, так как они всегда происходят с некоторым трением. Обратимый процесс представляет собой идеализацию.

Процессы, которые нельзя провести обратимым образом, называются необратимыми.

*Обратимые и необратимые циклы.* Пусть изучаемая система переходит из состояния  $\alpha$  в это же состояние  $\alpha$ , а термостат — из состояния  $\beta$  в состояние  $\beta'$ , причем процесс перехода  $(\alpha, \beta) \rightarrow (\alpha, \beta')$  является обратимым. В этом случае переход  $\alpha \rightarrow \alpha$  называют обратимым циклом. Если этот процесс необратим, то цикл называют необратимым. В случае квазистатического изменения процесс обратим на каждой стадии.

*Обратимая и необратимая тепловая машина.* Тепловой машиной называется устройство, позволяющее производить работу при циклическом процессе теплообмена между системой (рабочим веществом) и термостатом. Такая машина может быть как обратимой, так и необратимой в зависимости от того, обратимым или необратимым является цикл.

## § 2. Лемма (цикл Карно)

Одним из наиболее мощных методов исследования проблем, связанных со вторым законом термодинамики, является мысленный эксперимент, основанный на использовании цикла Карно. Здесь мы дадим определение цикла Карно в узком смысле для случая, когда рабочим веществом является идеальный газ (такой цикл показан на фиг. 19 и схематически на фиг. 20). Пусть при одном изотермическом процессе система получает от резервуара  $R_1$  ( $T_1$ ) количество тепла  $Q_1$ , а при втором — количество тепла  $Q_2$  от резервуара  $R_2$  ( $T_2$ ); тогда можно записать

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0. \quad (2.1)$$

Так как для доказательства этого соотношения достаточно уравнения состояния идеального газа и первого закона термодинамики