вить связь, количественно преобразующую термический потенциал — температуру.

Таким образом, для работы теплового двигателя необходимо иметь минимум два источника разных температур (нагреватель и холодильник). Это положение обычно формулируется как принцип исключенного perpetum mobile II рода, так как им утверждается невозможность использования практически неограниченных и непосредственно доступных источников тепла, таких, как атмосфера, океаны (использование которых создало бы ситуацию, фактически равноценную осуществлению вечного двигателя).

Принцип исключенного perpetum mobile II рода является прямым следствием количественной непреобразуемости термического потенциала, и, следовательно, этот принцип может быть распространен на все те взаимодействия, для которых характерна непреобразуемость соответствующего им потенциала.

§ 24. Обобщенная теорема Карно

Рассмотрим цикл реального двигателя (произвольный цикл в координатной системе Px) и сопоставим коэффициент полезного действия этого цикла с коэффициентом полезного действия цикла Карно, работающего в тех же границах по потенциалу, что и реальный цикл.

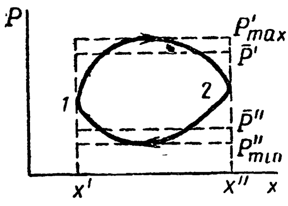

Рис. 14

Пусть в координатной системе Px (рис. 14) цикл двигателя изображается некоторой замкнутой кривой. Выделим два крайних состояния на этой кривой и отметим точки, соответствующие этим состояниям,— точки *1* и *2*. Абсциссы этих точек — x' и x''. При движении по верхней ветви цикла от точки *1* к точке *2* рабочее тело, взаимодействуя с источниками переменного потенциала P', получит количество воздействия Q' (происходит увеличение координаты x), измеряемое графически соответствующей площадью на диаграмме.

При движении по нижней ветви кривой от точки *2* к точке *1* рабочее тело отдаст источникам переменного потенциала P'' количество воздействия Q'', измеряемое также соответствующей площадью.

Вычислим Q' и Q''. Очевидно,

$$Q' = \int_{x'}^{x''} P dx, \tag{24.1}$$

$$|Q''| = \int_{x'}^{x''} P dx. \tag{24.2}$$

Привлекая теорему о среднем, можем представить уравнения (24.1) и (24.2) в следующем виде:

$$Q' = \overline{P}'(x'' - x'), \tag{24.3}$$

$$|Q''| = \overline{P}''(x'' - x'), \tag{24.4}$$

(черта наверху над буквой есть знак усреднения). Этим самым мы производим замену площадей двух кривых площадями равновеликих прямоугольников. Линия $\overline{P}'$ пойдет ниже P'_{max}, а линия $\overline{P}''$ пойдет выше P''_{min}. На графике площадь реального цикла будет заменена площадью равновеликого прямоугольника.

Коэффициент полезного действия реального цикла определится в виде

$$\eta' = \frac{Q' - |Q''|}{Q'} = \frac{\overline{P}' - \overline{P}''}{\overline{P}'} = 1 - \frac{\overline{P}''}{\overline{P}'}. \tag{24.5}$$

Между тем, располагая рассматриваемой совокупностью источников, при осуществлении цикла Карно можно выбрать два из них с потенциалами P'_{max} и P''_{min}. В этом случае для к. п. д. будем иметь

$$\eta = 1 - \frac{P''_{min}}{P'_{max}}. \tag{24.6}$$

Сопоставим (24.5) и (24.6). Так как $P''_{min} < \overline{P}''$ и $P'_{max} > \overline{P}'$, то

$$\frac{P''_{min}}{P'_{max}} < \frac{\overline{P}''}{\overline{P}'}. \tag{24.7}$$

Следовательно,

$$\eta > \eta'. \tag{24.8}$$

Таким образом, коэффициент полезного действия цикла Карно всегда больше коэффициента полезного действия любого другого цикла, ограниченного теми же пределами потенциала. Весьма существенно, что к. п. д. этого наивыгоднейшего цикла определяется только предельными значениями потенциала (P_{max} и P_{min}) и не зависит ни от каких свойств системы. В этом суть известной теоремы Карно.

Теперь рассмотрим несколько примеров приложения дифференциальных соотношений термодинамики к исследованию физических задач.

§ 25. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения жидкости от температуры

Коэффициент поверхностного натяжения жидкости зависит от температуры

$$\alpha = \alpha(T). \tag{25.1}$$

Опыт показывает, что α уменьшается с увеличением температуры жидкости и увеличивается по мере понижения температуры. Определим температурную зависимость коэффициента поверхностного натяжения термодинамическим методом.

Изучаемая нами система имеет две степени свободы: тепловую и степень свободы, связанную с поверхностными явлениями. Соответствующими параметрами системы являются следующие величины:

$$x_1 = S;\ P_1 = T;$$
$$x_2 = \Sigma;\ P_2 = \alpha. \tag{25.2}$$

Здесь α — коэффициент поверхностного натяжения, Σ — площадь поверхности жидкости.

Для изучения температурной зависимости α нужно исследовать свойства производной $\left(\frac{\partial \alpha}{\partial T}\right)_\Sigma$. Сделаем это с помощью дифференциальных соотношений термодинамики. Согласно (25.2)

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial T}\right)_\Sigma \equiv \left(\frac{\partial P_2}{\partial P_1}\right)_{x_2}. \tag{25.3}$$

Производные такого вида обрабатываются при помощи дифференциальных соотношений третьего типа (14.5), поэтому

$$\left(\frac{\partial \alpha}{\partial T}\right)_\Sigma = -\left(\frac{\partial S}{\partial \Sigma}\right)_T. \tag{25.4}$$