Разность температур $\Delta T = T_1 - T_2$ можно приравнять любому произвольно выбранному значению.

Для получения некоторой конкретной шкалы нужно условиться: 1) в отношении выбора реперных точек *1* и *2*; 2) в отношении выбора единицы измерения температуры.

Если в качестве реперных точек выбрать точку таяния льда и точку кипения воды при нормальном давлении, то точно проведенный опыт дал бы значения

$$\frac{Q_1}{Q_1 - |Q_2|} = 3{,}7316;$$

$$\frac{Q_2}{Q_1 - |Q_2|} = 2{,}7316.$$

Если далее условиться в качестве одного градуса шкалы принять $^1/_{100}$ интервала между реперными точками, то очевидно,

$$T_1 = 373{,}16^\circ\,\mathrm{K}; \quad T_2 = 273{,}16^\circ\,\mathrm{K},$$

где К (Кельвин) — символ абсолютной шкалы.

§ 22. Тождественность газовой и термодинамической температур

В предыдущем изложении мы не различали температуру термодинамическую — величину, играющую роль теплового потенциала, и газовую температуру — температуру, отсчитываемую по шкале газового термометра, т. е. термометра, основанного на использовании свойств идеального газа (следовательно, вещества, обладающего двумя свойствами: 1) оно удовлетворяет уравнению состояния Клапейрона; 2) его внутренняя энергия не зависит от объема). Несомненно, тождество этих температур не является непосредственно очевидным. Покажем, что они действительно тождественны.

Условимся пока различать газовую и термодинамическую температуру. С этой целью будем обозначать газовую — буквой Θ, а термодинамическую — буквой T. Тогда уравнение (16.16) перепишется в виде

$$pv = R\Theta. \tag{22.1}$$

Мы еще не знаем тождественны ли эти температуры, но отчетливо понимаем, что между ними должна существовать взаимно однозначная зависимость. Иначе невозможно было бы говорить об измерении температуры газовым термометром. Следовательно,

$$\Theta = \Theta(T). \tag{22.2}$$

Для установления вида связи между Θ и T привлечем выражение (16.9):

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p.$$

Газ, заполняющий газовый термометр (водород, гелий), можно считать газом идеальным. Но для идеального газа

$$\left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = 0,$$

следовательно,

$$T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v - p = 0. \tag{22.3}$$

Производную $\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$ в выражении (22.3) вычисляем как производную от неявной функции на основании (22.2). Получаем

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial p}{\partial \Theta}\right)_v \frac{d\Theta}{dT} = \frac{p}{\Theta}\frac{d\Theta}{dT}, \tag{22.4}$$

так как

$$\left(\frac{\partial p}{\partial \Theta}\right)_v = \frac{p}{\Theta}.$$

Подставляем (22.4) в (22.3). Имеем

$$T\frac{p}{\Theta}\frac{d\Theta}{dT} - p = 0,$$

или

$$p\left(\frac{T}{\Theta}\frac{d\Theta}{dT} - 1\right) = 0.$$

Так как $p \neq 0$ всегда, то нулю равна скобка:

$$\frac{T}{\Theta}\frac{d\Theta}{dT} - 1 = 0. \tag{22.5}$$

Разделяя переменные и интегрируя дифференциальное уравнение (22.5), получим

$$\Theta = kT. \tag{22.6}$$

Таким образом, между газовой и термодинамической температурами существует прямая пропорциональная зависимость (нули обеих шкал совпадают). Коэффициент пропорциональности k зависит от выбора единицы. Если выбрать одинаковую единицу измерения температур в обеих шкалах, т. е. положить $k = 1$, то

$$\Theta = T. \tag{22.7}$$

Это значит, что газовая и термодинамическая температуры тождественны. Поэтому их можно не различать.

§ 23. Обобщенный цикл Карно

Рассмотрим основы термодинамической теории двигателя. Двигателем называется система, работающая по круговому процессу и преобразующая в результате своей работы взаимодействия любого рода в механические.

С точки зрения термодинамического анализа двигатель представляет систему с двумя степенями свободы, из которых одна обязательно механическая, а другая — любая. Если вторая степень свободы тепловая, то двигатель — тепловой, электрическая — электрический и т. д.

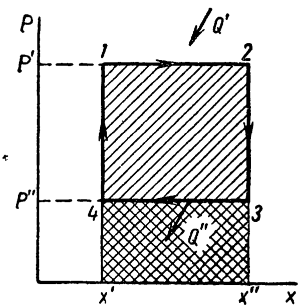

Рис. 12

Системе с двумя степенями свободы отвечают четыре термодинамических параметра: x_1, P_1; x_2, P_2.

Пусть, совершая круговой процесс, система взаимодействует с двумя источниками (внешними телами) различных потенциалов P' и P'' (в случае теплового двигателя — с двумя источниками различной температуры T' и T'').

Условимся, что $P' > P''$. Изучение процесса, совершаемого двигателем, будем вести в координатной системе Px (рис. 12).

Нанесем в произвольном масштабе на график линии равного потенциала P' и P''. Доведем значение потенциала системы до значения P' (точнее $P' - \mathscr{E}$) и приведем ее в контакт с внешним телом, имеющим потенциал P'. Допустим, что координата x системы в этом случае примет значение x'. Отметим начальное состояние системы точкой 1 на диаграмме.

Будем производить расширение рабочего тела при постоянном потенциале P'. При этом точка, отображающая состояние системы, будет перемещаться вдоль линии P', причем направление перемещения (в сторону