

#### 1.4. Работа расширения

Какова бы ни была форма поверхности, ограничивающей объем, занятый телом, элементарная работа, выполняемая телом в процессе *равновесного* расширения, всегда равна произведению давления на элементарное приращение объема:

$$\delta A = p dv. \quad (1.2)$$

Действительно, допустим, что рассматриваемое тело заключено в горизонтально расположенный цилиндр и удерживается при заданном значении своего объема подвижным поршнем, который может перемещаться внутри цилиндра без трения. При равновесном состоянии давление направлено перпендикулярно к поверхности оболочки, следовательно, на поршень действует со стороны тела сила, равная произведению давления  $p$  на площадь поршня  $s$ . Нужно представить себе, что расширение происходит *равновесно*, т. е. при бесконечно малом отклонении состояния тела от равновесного состояния. Это расширение может быть вызвано или осторожным медленным нагреванием, или постепенным уменьшением силы, удерживающей поршень. Произведение силы  $p \cdot s$  на элементарное перемещение поршня  $dl$  равно элементарной работе расширения  $\delta A = p \cdot s dl$ . Но  $sdl$  есть не что иное, как приращение объема  $dv$ , следовательно,  $\delta A = p dv$ .

Случай, когда поверхность тела имеет произвольную форму, легко свести к предыдущему. С этой целью можно мысленно разбить поверхность, ограничивающую тело, на бесконечно малые площадки и подсчитать работу, производимую всеми этими площадками при их, вообще говоря, неодинаковом перемещении при расширении и сжатии тела. Проще, однако, вообразить, что рассматриваемое тело погружено в абсолютно несжимаемую жидкость, налитую в цилиндр, так что расширение тела на объем  $dv$  вызывает перемещение поршня, который произведет работу, равную произведению  $p dv$ .

Если давление тела на поршень не равно  $p$ , то происходит неравновесное расширение. Обозначим через  $p_{эфф}$  то среднее давление, которое тело фактически оказывает на поршень в момент расширения. Повторив приведенные рассуждения, находим, что при неравновесном расширении или сжатии

$$\delta A_{неравн} = p_{эфф} dv. \quad (1.3)$$

Предоставляя телу возможность быстро увеличить свой объем, мы должны резко понизить давление на тело ( $p_{эфф} < p$ ). Поэтому при неравновесном расширении  $\delta A_{неравн} < p dv$ .

В предельном случае мы можем совершенно устранить силы, уравнивающие, хотя бы частично, давление тела ( $p_{эфф} = 0$ ): тогда тело приобретает возможность расширяться, не производя работы. Таков, например, случай расширения воздуха в пустоту.

Чтобы вызвать быстрое сжатие, мы должны приложить к телу силы, значительно превышающие его равновесное давление ( $p_{эфф} > p$ ). Поэтому при неравновесном сжатии абсолютное значение  $\delta A_{неравн}$  всегда больше абсолютного значения произведения  $p dv$ . Но так как в данном случае эти величины отрицательны ( $dv < 0$ ), то, следовательно, алгебраически и в этом случае  $\delta A < p dv$ . Таким образом, мы видим, что для процессов неравновесного расширения и сжатия всегда

$$\delta A_{неравн} < p dv.$$

Работа, производимая телом при равновесном расширении от объема  $v_1$  до объема  $v_2$ , равна

$$A = \int_{v_1}^{v_2} p dv. \quad (1.4)$$

Графически в диаграмме ( $p, v$ ) работа равновесного расширения изображается площадью, которая расположена под кривой  $p = f(v)$ , характеризующей «путь перехода». Площадь, изображающую работу, принято рассматривать как величину алгебраическую — положительную, если тело расширяется, производя работу ( $\delta A > 0$ ), и отрицательную, если тело сжимается, потребляя работу ( $\delta A < 0$ ).

### 1.5. Тепловое равновесие и температура

Температура является важнейшим термодинамическим параметром. Своим существованием температура как величина обязана статистической закономерности, господствующей над молекулярными явлениями. Законы статистики обуславливают особый вид равновесия — *тепловое равновесие* тел, а факт теплового равновесия влечет представление о *температуре*.

Если бы тело человека было не восприимчиво к ощущениям тепла и холода, то «степень нагретости» как понятие физиологическое для нас не существовало бы (как не существует, например, физиологического восприятия «степени намагниченности»). Но это не отразилось бы на физическом смысле разности температур как меры отклонения тел от теплового равновесия друг с другом. Неизменной осталась бы также роль, которую температура играет в явлениях природы и в технике, хотя в обыденной жизни, в быту она заняла бы менее заметное место, такое как показания барометра.

В физике для характеристики степени отклонения тела от состояния равновесия служит понятие о «разности уровней». Это понятие иногда имеет геометрический смысл (разность высот), но чаще — энергетический (разность потенциалов). Понятие «разность уровней» универсально, но конкретное его содержание неодинаково для разных видов равновесия. В случае отклонения от состояния теплового равновесия «разностью уровней» служит разность температур. Поэтому между температурой и потенциалом существуют некоторые черты сходства. Но тепловое равновесие по самой сути своей (по статистической своей основе) отлично от других видов равновесия. Поэтому аналогия между температурой и потенциалом поверхностна; все действительно важные и интересные свойства температуры начинаются там, где эта аналогия кончается.

Во избежание недоразумений нужно пояснить здесь смысл некоторых слов, которые будут часто встречаться.

Про тела говорят, что они приведены к *термическому соприкосновению*, если тем или иным способом для них обеспечена возможность теплообмена, причем, однако, вещества, входящие в состав одного тела, не могут проникать внутрь другого. Можно представить себе, что при термическом соприкосновении тела остаются разъединенными теплопроводной *диатермической* перегородкой, непроницаемой для веществ, входящих в состав этих тел, и химически индифферентной по отношению к ним. Заметим, что нет необходимости, чтобы тела, заключенные в теплопроводные оболочки, непосредственно примыкали друг к другу. Тепловое излучение обеспечивает возможность теплообмена и тогда, когда они разъединены и находятся в пустоте или в среде, проницаемой для лучистой энергии.

Когда возможность теплообмена устранена, говорят, что тела *термически изолированы*. Можно представить себе при этом, что каждое тело заключено в оболочку, непроницаемую для тепла (в *адиабатную оболочку*).

Если два или несколько тел приведены в термическое соприкосновение друг с другом и если тела эти, будучи изолированы от окружающего мира, пребывают в равновесии (в том смысле, что никакими измерениями не может быть обнаружено изменение с течением времени их состояния), говорят, что они находятся в *тепловом равновесии*. Можно сказать также, что они находятся в *термическом*, или *температурном*, *равновесии*. Эти три термина равнозначны.