

Необратимость процессов термодинамических систем

Процессы, которые может совершать макроскопическая система (изотермические, адиабатические) под воздействием внешнего источника потенциальных сил и которые описываются формулами, например,

$$pV = \frac{2}{3} NE = \frac{2}{3} N(E_0 + \Delta E) \quad (1)$$

$$\Delta E = \alpha \int_{p_0}^p V \cdot dp \quad (2)$$

$$\alpha = 1 \quad \frac{p}{p_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-\frac{5}{3}}, \quad \frac{E}{E_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^{-\frac{2}{3}}, \quad \frac{E}{E_0} = \left(\frac{p}{p_0} \right)^{\frac{2}{5}}. \quad (3)$$

по своей сути идеализированы. Они выведены для стационарных состояний системы в квазистатическом приближении. Оно предполагает, что систему можно перевести из одного состояния в другое без нарушения характера стационарности. Это возможно только при бесконечно малых воздействиях на систему, например, снимать груз с поршня бесконечно малыми порциями, или таким же образом нагружать его. Естественно, что длительность таких процессов определяется бесконечно большими отрезками времени.

Процессы в квазистатическом приближении считаются обратимыми. При этом имеется в виду, что при проведении процесса в прямом а затем в обратном направлении, восстанавливается не только состояние системы, но состояние окружения (нагреватели, холодильники, внешние параметры и т.д.). Бесконечно медленных процессов в природе не существует. Все процессы протекают с определенной скоростью. Не исключением являются также процессы, рассматриваемые нами (изотермические, адиабатические). Но при этом, в нашем случае, приходится снимать давление или же нагружать поршень определенными порциями.

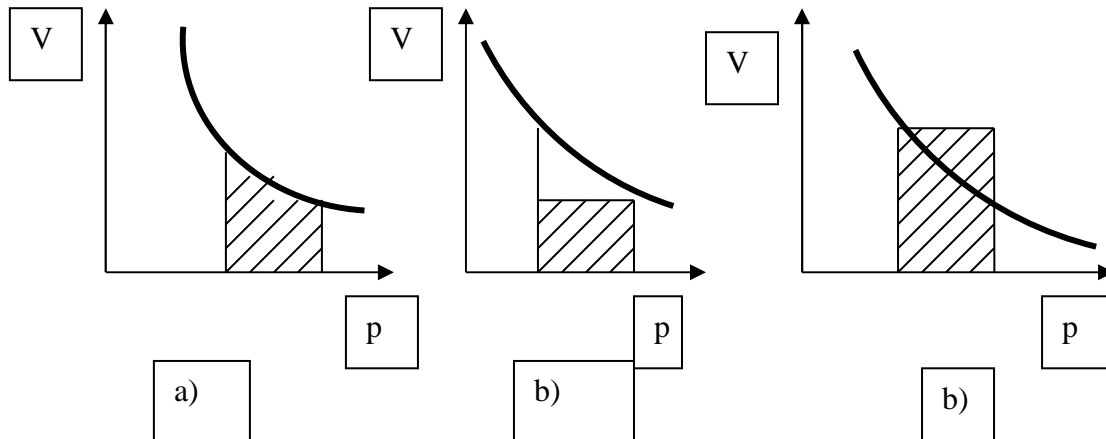
На рисунках а) и б) показаны диаграммы изотермического процесса при переходе системы из состояния p_1, V_1 в состояние p_2, V_2 .

а) - процесс квазистатический,

б) – процесс ускоренный, нестационарный.

Заштрихованная площадь в первом и во втором случае – это та полезная работа, которую совершила система, вернее, это та потенциальная энергия, которую мы отняли у системы. Во втором случае она меньше. В этом случае система в начальное мгновение находится в несвойственном для данной температуры состоянии p_2, V_1 . Это состояние нестационарное. Возникнут колебания поршня вокруг положения равновесия V_2 . Колебания будут продолжаться до тех пор, пока избыточная потенциальная энергия

системы не превратится в кинетическую энергию (тепло), которую поглотит термостат.



Чтобы вернуть систему также быстро в исходное состояние p_1, V_1 , необходимо нагрузить систему внешними потенциальными силами, т.е. затратить работу в виде потенциальной энергии. Затраченная энергия равна $(p_1 - p_2)V_2$, в то время как в прямом направлении процесса была получена энергия $(p_1 - p_2)V_1$. В процессе, протекающем в обратном направлении, также есть нестационарное состояние p_1, V_2 , также возникнут колебания поршня и будут продолжаться до тех пор, пока избыточная потенциальная энергия не превратится в тепло и поглотится термостатом. В конце концов система вернется в исходное состояние, но при этом источник потенциальной энергии лишился энергии $(p_1 - p_2)(V_1 - V_2)$. Столько же энергии приобрел источник кинетической энергии (термостат).

В результате полного цикла в окружающей среде произошли изменения. Работа (потенциальная энергия) была превращена в тепло (кинетическую энергию). Такой процесс можно назвать необратимым и в основе такой необратимости лежит скорость протекания данного процесса.

Рассмотрим многоступенчатый процесс в прямом и обратном направлениях.

Количество ступеней: $k = \frac{p_1 - p_2}{\Delta p}$

Необратимость процесса характеризуется энергией: $(V_1 - V_2)\Delta p$.

Как видно, при устремлении $k \rightarrow \infty$ и $\Delta p \rightarrow 0$ этот процесс превратится в бесконечно долгий и обратимый (квазистационарный).

