

Лекция 3

Первый закон термодинамики

Историческое развитие открытия первого закона термодинамики. Первый закон термодинамики как закон сохранения и превращения энергии. Теплота и работа – формы передачи энергии. Принцип эквивалентности. Работа расширения. Внутренняя энергия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через внутреннюю энергию. Работа перемещения. Техническая работа. Энтальпия. Аналитическое выражение первого закона термодинамики через энтальпию. Формулировки первого закона термодинамики. Выражение первого закона термодинамики для процессов с трением.

Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765) - первый русский учёный-естествоиспытатель мирового значения, энциклопедист, химик и физик

1748г. В письме к Эйлеру



«Тело, которое своим толчком возбуждает другое тело к движению, столько же теряет от своего движения, сколько сообщает другому»

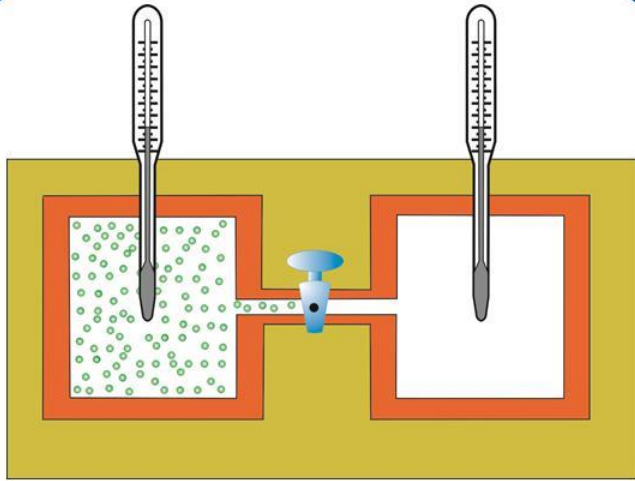
В 1798 г. В эксперименте **Румфорд** обнаружил, что в результате трения резца выделяется теплота: **«если изолированное тело или система тел способны без ограничения производить теплоту, то она (теплота) не может быть материальной субстанцией»**, и что **«только движение в состоянии обеспечить непрерывное возбуждение и распространение тепла в наших опытах»**.

Одновременно с работой другой английский ученый **Г. Дэви** показал, что два куска льда, жира или воска можно расплавить простым трением друг о друга, без соприкосновения с каким-либо более нагретым телом.

1807 г.

Объяснил неправильно, не понял, что совершил.

Связывал теплоемкость с объемом.



Жозеф Луи Гей-Люссак (фр. Joseph Louis Gay-Lussac; 1778 — 1850) — французский химик и физик, член Французской Академии наук.

РАСШИРЕНИЕ В ПУСТОТУ



Юлиус Роберт фон Майер (нем. Julius Robert von Mayer; 1814—1878) — немецкий врач и естествоиспытатель.

ЦВЕТ КРОВИ НА ЭКВАТОРЕ

Первым правильно сформулировал закон сохранения и превращения энергии



«О количественном и качественном определении сил», 16.06.1841.
Прошла незамеченной.

В «О сохранении силы» (1847) Гельмгольц формулирует закон строже и детальнее

1843 г.

Повторил опыты Гей Люссака, но сделал правильный вывод:

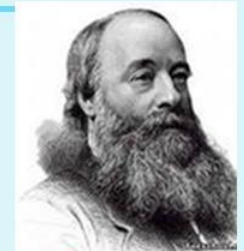
$$U(V_1, T) = U(V_2, T)$$

Закон Джоуля. Идеальный газ.

Джеймс Прескотт Джоуль (англ. James Prescott Joule; 1818 -1889) — английский физик, пивовар.

ЭКВИВАЛЕНТ для РАБОТЫ и ТЕПЛОТЫ

ЭКВИВАЛЕНТ для ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ и ТЕПЛОТЫ (закон Джоуля – Ленца)



Рассматриваем равновесное состояние системы:

- ❑ «Все термодинамические параметры системы являются однозначными функциями окружающей среды»
- ❑ «Кинетическая энергия всей системы как целого и потенциальная энергия, определяемая внешними силовыми полями составляют внешнюю энергию термодинамической системы»
- ❑ «Кинетическая энергия движения молекул друг относительно друга внутри системы и потенциальная энергия, определяемая межмолекулярным взаимодействием внутри системы составляют внутреннюю энергию системы»
- ❑ «Внутренняя энергия системы является однозначной функцией ее состояния и меняется только под влиянием внешних воздействий»

Очень похоже на нулевое начало и неспроста.

1. «Количество подведенного тепла к изолированной системе расходуется на совершение работы и изменение внутренней энергии»
2. «В любом процессе полная энергия вселенной остается той же самой».
3. «Для любого термодинамического цикла сумма чистого тепла, доставленного в систему, и чистой работы, совершённой системой, равна нулю».
4. «Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы против внешних сил»
5. «Изменение полной энергии системы в квазистатическом процессе равно количеству теплоты Q , сообщенного системе, в сумме с изменением энергии, связанной с количеством вещества N при химическом потенциале μ , и работы A' , совершённой над системой внешними силами и полями, за вычетом работы A , совершённой самой системой против внешних сил» :

$$dU = \delta Q - \delta A + \mu dN + \delta A'$$

Разделение работы на две части, одна из которых описывает работу, совершённую над системой, а вторая – работу, совершённую самой системой, подчёркивает, что эти работы могут быть совершены силами разной природы вследствие разных источников сил.

Наиболее простой и близкий к нам случай

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A$$

$$F = Mg$$

Процесс медленный (равновесный в равномерном движении), работа против F при:

$$F = pS$$

$$\Delta A = pS\Delta x = p\Delta V$$

$$p\Delta V = \Delta W - \text{работа расширения}$$

$$\delta Q = dU + \delta W = dU + pdV$$

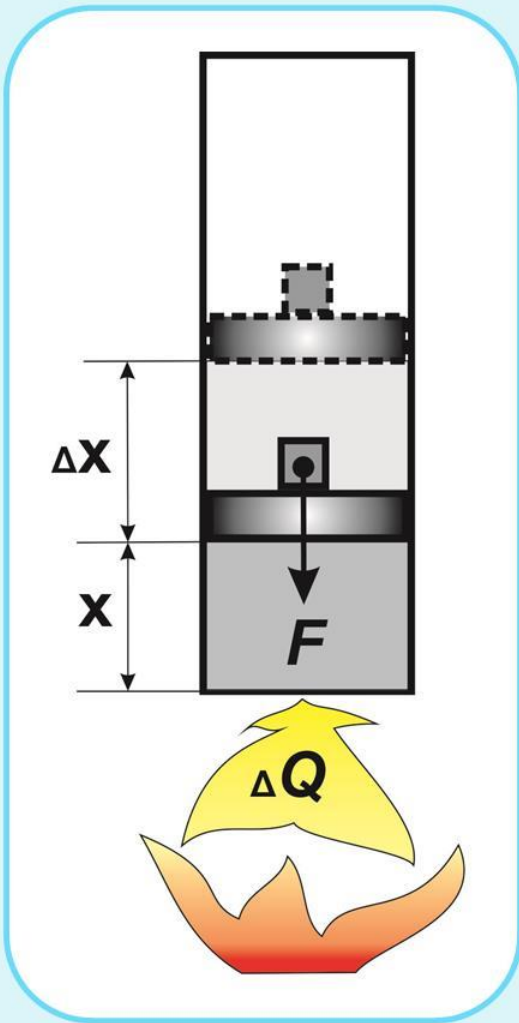
$$\delta q = du + \delta w = du + pdv$$

$$\delta W > 0 \text{ при } dV > 0$$

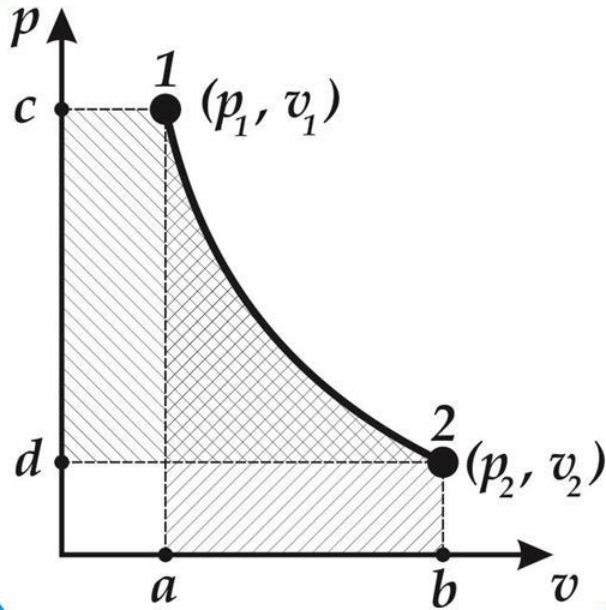
$\delta Q > 0$ - тепло к системе подводится.

$\delta Q < 0$ - тепло отводится.

$\delta Q = 0$ - система адиабатически изолированная.



Энтальпия. pv - диаграмма.



$$d(pv) = p dv + v dp$$

$$p dv = d(pv) - v dp$$

$$\delta q = du + p dv = du + d(pv) - v dp$$

$$\delta q = du = d(u + pv) - v dp = dh + \delta l$$

dh - энтальпи́я (гр. enthalpó — нагреваю)

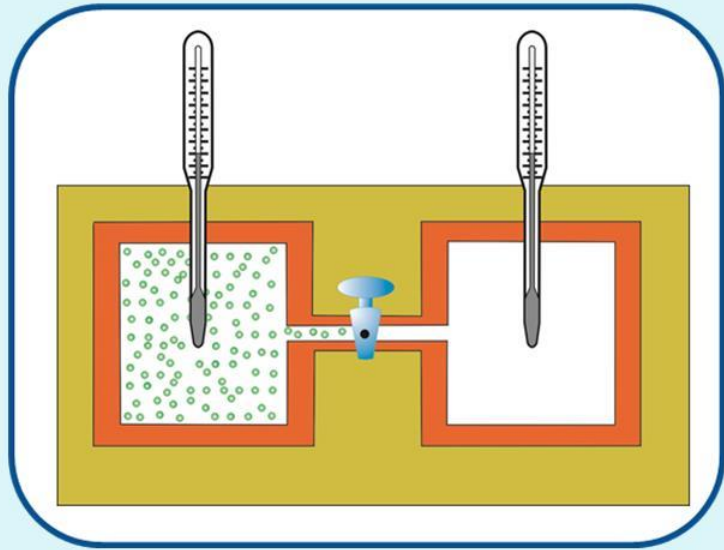
$-v dp = \delta l$ - внешняя, техническая, располагаемая работа

Рабочая диаграмма или
диаграмма работ

$$S_{a12b} = \int_1^2 p dv$$

$$S_{c12d} = - \int_1^2 v dp$$

$$q_{12} = u_2 - u_1 + \int_1^2 p dv = h_2 - h_1 - \int_1^2 v dp$$



Обратимся к опыту Гей Люссака

$$Q_{12} = U_2 - U_1 + \int_1^2 p dV$$

Расширение в вакуум - против давления $p = 0$.

$$\int_1^2 p dV = 0.$$

Процесс абатический $Q_{12} = 0$.

$$U_2 = U_1 \Rightarrow T_2 = T_1$$

ИДЕАЛЬНЫЙ ГАЗ !!! Закон Джоуля.

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V} \right)_T = 0 \quad \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T = 0$$

давление изменилось, что не сказалось на температуры

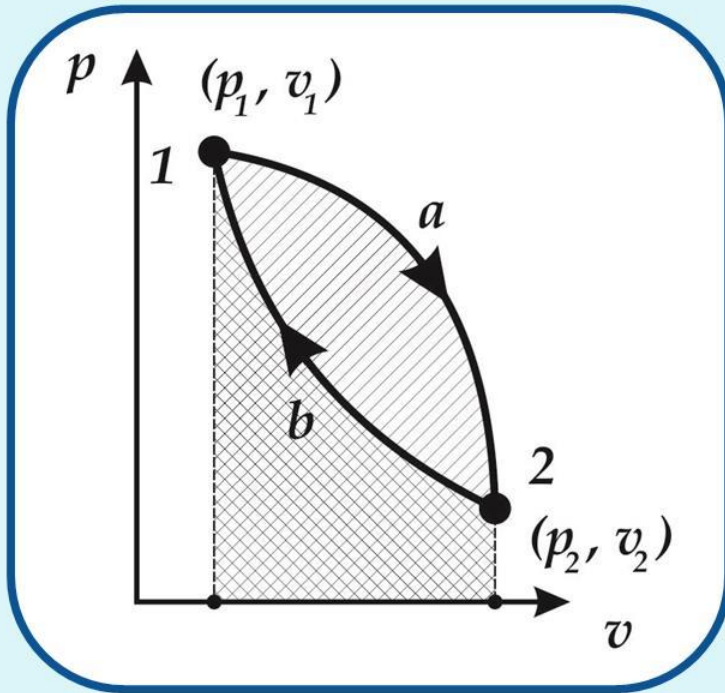
$$\left(\frac{\partial U}{\partial p} \right)_T = 0 \quad \left(\frac{\partial u}{\partial p} \right)_T = 0$$

$$u = u(T)$$

$$h = h(T)$$

Следствием закона Джоуля – то же и для

Теплота и работа цикла



$$\oint \delta q = \oint du + \oint \delta w = \oint dh + \oint \delta l;$$

$$\oint du = 0; \quad \oint dh = 0;$$

$$\oint \delta q = \oint \delta w = \oint \delta l = S_{1a2b1}.$$

Определив положительную работу (направо).

Сопоставив это с положительным теплом – подведенное.

Положительная работа цикла – при движении по часовой стрелке.

$$\eta_t = \frac{\text{что получили}}{\text{что затратили}} = \frac{\oint \delta q}{q_{1a2}} = \frac{\oint \delta w}{q_{1a2}} = \frac{\oint \delta l}{q_{1a2}}$$

Теплота процесса. Теплоемкость процесса.

$$c = \frac{\delta q}{dT}$$

Изохорный процесс: $v = \text{const}$ ($dv=0$). $\delta q_v = du + pdv = du$

$$\delta q_v = du \quad c_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v \quad \text{Идеальный газ} \quad c_v = \frac{du}{dT}$$

Изобарный процесс: $h = \text{const}$ ($dp=0$). $\delta q_p = dh - vdp = dh$

$$\delta q_p = dh \quad c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad \text{Идеальный газ} \quad c_p = \frac{dh}{dT}$$

Уравнение Майера

$$\frac{dh}{dT} = \frac{d(u + pv)}{dT} = \frac{du}{dT} + \frac{d(RT)}{dT}$$

$$c_p = c_v + R$$

$$c_p - c_v = R$$

Работа трения, внешняя теплота и теплота трения

Диссипация энергии (лат. **dissipatio** — рассеяние) — переход части энергии упорядоченных процессов (кинетической энергии движущегося тела, энергии электрического тока и т. п.) в энергию неупорядоченных процессов, в конечном счёте — в теплоту.

Особенно актуально при движении тела как целого.

Для неподвижного тела трение ведет к превращению части работы расширения Δw в теплоту трения $\Delta q_{\text{тр}}$, в отличие от $\Delta q_{\text{внеш}}$:

$$\delta q = \delta q_{\text{внеш}} + \delta q_{\text{тр}} = du + pdv$$

Особенности термодинамики движения позже