

ТЕРМОДИНАМИКА

Первое НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ

18.04.2020

Состояние системы. Процессы

Температура - это величина характеризующая состояние Термодинамического равновесия макросистемы

Температурную шкалу берут по тройной точке воды ($T_{тр}$)

В термодинамической шкале температур (шкале Кельвина) принимается по определению, что $T_{тр} = 273,16 \text{ K}$

По шкале Цельсия: $t = T - 273,15$

$T = 0$ - абсолютный ноль ($t = -273,15^\circ \text{C}$)

Состояния макросистемы характеризуются величинами, которые называют термодинамическими параметрами (давление p , объем V , температура T и др.). Если эти параметры имеют определенные и постоянные значения для любой части макросистемы, то ее состояние называют равновесным. Будучи выведена из состояния равновесия (система устанавливается к равновесию), система в дальнейшем возвращается в равновесное состояние. Это происходит за время, равное по порядку величины времени релаксации (τ).

Время релаксации - время за которое первоначальное отклонение какого-либо параметра состояния уменьшается в 2 раз.

Процесс - переход системы из одного состояния в другое протекает ~~всегда~~ ~~до тех пор~~ по ~~протеканию~~ ~~термодинамическим~~ ~~неравновесным~~ ~~состояниям~~ (по ~~своему~~ ~~взаимодействию~~ ~~между~~ ~~тем~~ ~~через~~ ~~после~~ ~~равновесных~~ ~~состояний~~ - ~~квазистатический~~ (равновесный) процесс). Равновесные процессы называют обратимыми, т.к. он может быть проведен в обратном направлении.

Первое начало термодинамики

Внутренняя энергия (U) - величина, состоящая из:

- суммарной кинетической энергии хаотического движения молекул в Ц-системе, связанной с самой системой (в этой системе отсчета суммарная кинетическая энергия всех молекул равен нулю, а система как целое покоится)
- собственной потенциальной энергии взаимодействия всех молекул, т.е. энергии взаимодействия только между молекулами, принадлежащими данной системе
- внутренней энергии остальных молекул, атомов, ядер, ...

U - функция состояния и не зависит от того, какими путями мы пришли систему в данное состояние

Внутренняя энергия - внутренняя подсистема (много систем, что внутр. энергия всей системы равна сумме внутр. энергий ее частей)

Внутреннюю энергию ~~можно~~ макросистемы можно изменить, совершив над системой работу A' внешними макроскопическими силами (сопротивляясь перемещению внешних тел), либо теплопередачей (осуществляя путем непосредственного передачи внутр. энергии макросистеме от внешних тел при контакте с ними, также и через излучение)

Первое начало термодинамики:

Приращение внутр. энергии макросистемы при ее переходе из начального состояния 1 в конечное 2 равно сумме совершённой над системой работы A' всех внешних макроскопич. и кол-ва переданного системе тепла Q :

$$U_2 - U_1 = Q + A' \quad (A' = -A)$$

$$Q = \Delta U + A$$

A' - работа, производимая силой системы над внешними телами

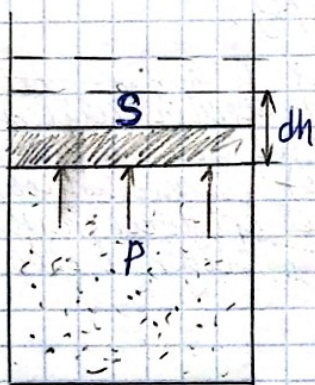
Т.е. кол-во теплоты Q , совершённое макросистеме, что на приращение ΔU внутр. энергии и на совершение работы A над внеш. телами

Если $Q < 0$ - тепло отводится от системы

$A < 0$ - работа производится над системой

$$\delta Q = dU + \delta A$$

$\delta Q, \delta A$ - полное дифференциалы



$$\delta A = F dh$$

F - сила, с которой газ действует на поршень

$$F = pS$$

S - площадь сечения поршня

$$\delta A = p S dh$$

$$S dh = dV \Rightarrow$$

$$\delta A = p dV$$

Работа, совершаемая газом при конечных изменениях объема (от V_1 до V_2):

$$A = \int_1^2 p dV$$

Если в результате изменений макросистема возвращается в исходное состояние, то говорят, что она совершила круговой процесс или цикл



$$A = S$$

Если по часовой, то $A > 0$

$$dV > 0$$

против часовой $A < 0$

$$dV < 0$$

$$\delta Q = dU + p dV \quad (1.6)$$

Теплоёмкость идеального газа

Идеальными называют газ, уравнение которого имеет вид:
(взائم. м/у молекулами пренебр. можно)

$$pV = \nu RT \quad (1.7) \quad \text{— уравнение Клапейрона}$$

где ν — кол-во в-ва

R — универсальная газовая постоянная $R = 8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$

N_A — кол-во в-ва, содержащее число частиц, равное постоянной Авогадро: $N_A = 6,022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$

Массу вещества m можно выразить молярная масса M

$$\nu = \frac{N}{N_A}$$

$$\nu = \frac{m}{M}$$

Теплоёмкость Тела / газа (C) — кол-во тепла, которое нужно сообщить телу, чтобы повысить его температуру на один кельвин.

$$C = \frac{\delta Q}{dT} \quad (1.9)$$

Молярная теплоёмкость c :

$$c = \frac{C}{\nu}$$

удельная теплоёмкость

C_V, C_P — теплоёмкости при постоянном объёме / давлении соотв.

при $dV=0$ из (1.6) $C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V$ (1.11) при дан. $V = \text{const}$
полная производная

Если считать, что C не зависит от T (по опытам C в широком интервале T почти не меняется)

$$\text{из (1.11)} \quad dU = C_V dT$$

$$U = C_V T$$

$$C = C_V + p \frac{dV}{dT} \quad \leftarrow \text{из (1.6), (1.9), (1.11)} \quad (1.13)$$

Изобарический процесс — $p = \text{const}$

$$\text{из (1.7)} \quad p \left(\frac{dV}{dT} \right) = R$$

$$C_P = C_V + R$$

$$\frac{C_P}{C_V} = \gamma = 1 + \frac{R}{C_V}$$

постоянная адиабаты

$$C_v = \frac{R}{\gamma - 1}$$

$$U = \frac{\gamma R T}{\gamma - 1} = \frac{pV}{\gamma - 1}$$

Политроновые процессы

Адиабатический процесс - процесс, который происходит без теплообмена с окружающей средой

$$\delta Q = d\left(\frac{pV}{\gamma - 1}\right) + p dV = 0$$

$$d p V + p d V (\gamma - 1) = d p \cdot V + p d V + \gamma p d V - p d V = 0$$

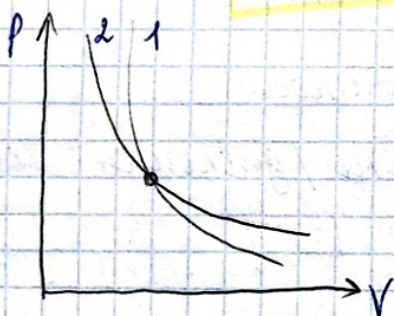
$$V d p + \gamma p d V = 0 \quad | : p V$$

$$\frac{d p}{p} + \gamma \frac{d V}{V} = 0$$

$$d \ln p + \gamma d \ln V = d \ln (p V^\gamma) = 0$$

$$\Rightarrow \boxed{p V^\gamma = \text{const}} - \text{уравнение адиабаты}$$

$$\boxed{T V^{\gamma-1} = \text{const}}$$



1 - адиабата ($p V^\gamma = \text{const}$)

2 - изотерма ($p V = \text{const}$)

Политроновые процессы - процессы, где $p V^n = \text{const}$ (n - произвольная константа - показатель) (1.19)

$$\boxed{C_n = \text{const}}$$

$$\hookrightarrow C = C_v + \frac{p dV}{dT}$$

$$T V^{n-1} = \text{const}$$

Проиграю: $d T \cdot V^{n-1} + T (n-1) V^{n-2} d V = 0$

$$\frac{d V}{d T} = -\frac{1}{n-1} \frac{V}{T} = -\frac{R}{p(n-1)}$$

$$C_n = C_v - \frac{R}{n-1} = \frac{R}{\gamma-1} - \frac{R}{n-1} \Rightarrow C_n = \text{const}$$

Если $n = \gamma$, то $C_n = 0$ (адиабат. процесс)
 $n = 1$, то $C_n \rightarrow \infty$ (изотерм. процесс)

$1 < n < \gamma$:

$$C_n = \frac{n-\gamma}{(\gamma-1)(n-1)} R$$

$$\Rightarrow C_n < 0$$

(или общ. тепло системы, а не одна из частей)

$$n = \frac{C_n - C_p}{C_n - C_v}$$

Работа газа при полипроцессе:

$$A = Q - \Delta U = C_n \Delta T - C_v \Delta T = (C_n - C_v) \Delta T$$

$$C_n - C_v = -\frac{\gamma R}{n-1} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A = \frac{\gamma R (T_1 - T_2)}{n-1} = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{n-1}$$

при $n = \gamma$, $A = -\Delta U$

при полипроц. процессах $A \propto -\Delta U$

Для изотермических процессов:

$$A = \int p dV = \int \frac{\gamma R T}{V} dV = \gamma R T \ln \frac{V_2}{V_1}$$