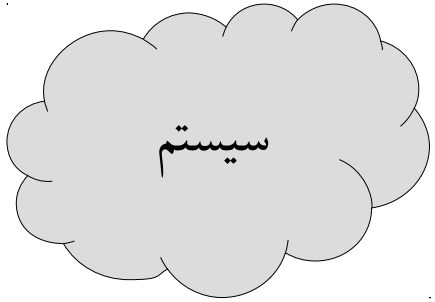
جلسه اول

مکانیک آماری

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه
دانشگاه قم
اسفند ۹۸

انرژی

در ترمودینامیک



سیستم: بخشی از دنیا که برای مطالعه انتخاب کرده‌ایم.

محیط: بخش باقیمانده از دنیا که سیستم را احاطه می‌کند.

تعادل حرارتی: هنگامی که کمیتهای مشاهده‌پذیر ماکروسکوپی سیستم (مانند حجم، فشار، دما و غیره) با گذشت زمان تغییر نمی‌کنند.

حالت تعادل: یک سیستم در تعادل حرارتی دارای یک مجموعه خاص از کمیتهای مشاهده‌پذیر ماکروسکوپی است. چنین مجموعه‌ای یک حالت تعادل خاص از سیستم را مشخص می‌کند.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

در ترمودینامیک

متغییرهای حالت: به کمیتهای مشاهده‌پذیر ماکروسکوپی یک سیستم در تعادل حرارتی، متغییرهای حالت گفته می‌شود. **ویژگی‌های متغییرهای حالت:**

۱- مقادیر قطعی دارند.

۲- مستقل از زمان‌اند.

تابع حالت: تابعی از متغییرهای حالت است که یک مقدار خوش تعریف برای هر حالت تعادلی سیستم دارد.

* تابع حالت سیستم می‌تواند تابعی از هر دو متغییر extensive (انرژی، حجم مغناطش، جرم و غیره) و intensive (دما، فشار، میدان مغناطیس، چگالی انرژی و غیره) باشد.

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

در ترمودینامیک

* تابع حالت سیستم، **دیفرانسیل کامل** دارد.

$$f = f(x_1, x_2), \qquad \mathrm{d}f = \frac{\partial f}{\partial x_1}\mathrm{d}x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2}\mathrm{d}x_2$$

$$\frac{\partial}{\partial x_2}\left(\frac{\partial f}{\partial x_1}\right) = \frac{\partial}{\partial x_1}\left(\frac{\partial f}{\partial x_2}\right)$$

مثال: تابع حالت یک گاز می‌تواند شکلی بصورت $f(p, V, T) = 0$ داشته باشد.
برای گاز ایده‌آل

$$pV = Nk_BT$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

قانون اول ترمودینامیک :

* انرژی داخلی یک تابع حالت سیستم است.

* یک مقدار خوش تعریف برای هر حالت تعادلی سیستم دارد.

* انرژی داخلی سیستم را می‌توان بوسیله گرم کردن سیستم یا بوسیله انجام کار روی سیستم تغییر داد. گرما و کار شکلهایی از انرژی هستند.

$$\Delta U = \Delta Q + \Delta W$$

* بطور قراردادی ΔQ مثبت است وقتی گرما به سیستم اعمال شود و ΔQ منفی است وقتی گرما از سیستم استخراج شود.

انرژی

* بطور قراردادی ΔQ مثبت است وقتی گرما به سیستم اعمال شود و ΔQ منفی است وقتی گرما از سیستم استخراج شود.
* همچنین ΔW مثبت است وقتی محیط کار روی سیستم انجام می‌شود و ΔW منفی است وقتی سیستم کار روی محیط انجام می‌دهد.
* نمایش دیفرانسیلی تغییرات انرژی داخلی

$$\mathrm{d}U = đQ + đW$$

* $đQ$ و $đW$ دیفرانسیل ناکامل اند. پس گرما و کار **نمی‌توانند** که تابع حالت سیستم باشند.

انرژی

$$\mathrm{d}U = đ Q + đ W$$

$$đ Q = C \mathrm{d}T \Rightarrow \boxed{\begin{aligned} C_V &= \left(\frac{đ Q}{\mathrm{d}T}\right)_V \\ C_p &= \left(\frac{đ Q}{\mathrm{d}T}\right)_p \end{aligned}}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

فاکتور یا ضریب بی‌درورویی

$$đ Q = C_V \mathrm{d}T, \quad đ Q = C_p \mathrm{d}T$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

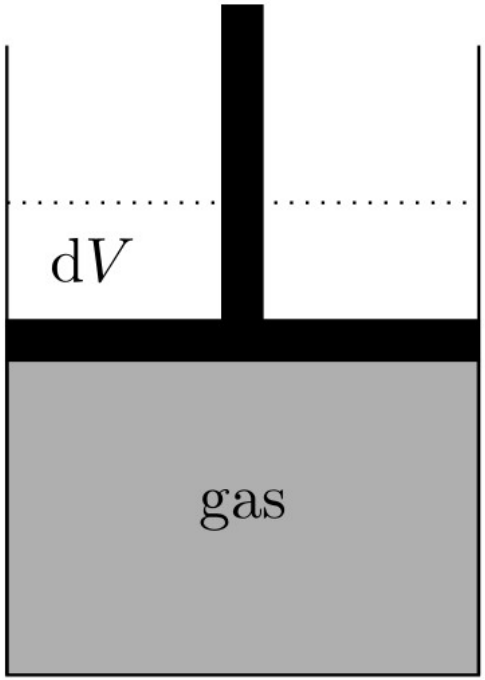
$$\mathrm{d}U = đQ + đW$$

$$đW = F\mathrm{d}x$$

$$p = \frac{F}{A} \Rightarrow F = pA$$

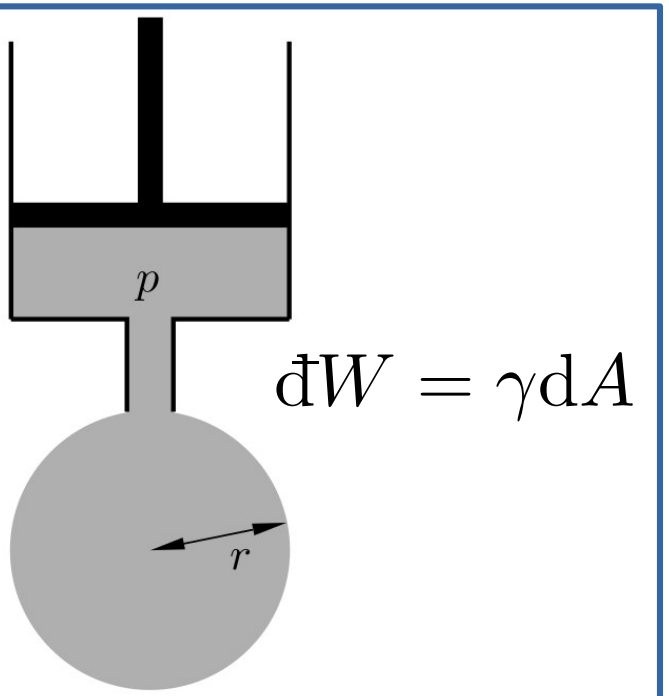
$$F\mathrm{d}x = pA\mathrm{d}x = p\mathrm{d}V$$

$$đW = -p\mathrm{d}V$$



انرژی

$$\mathrm{d}U = đQ + đW$$



$$đW = \gamma \mathrm{d}A$$

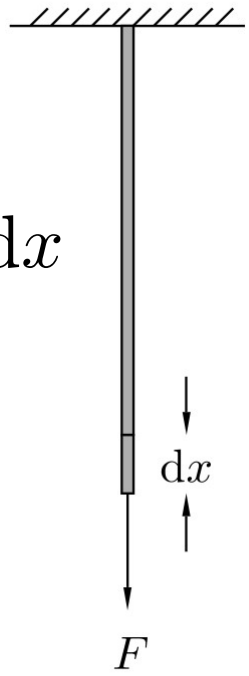
دوقطبی الکتریکی در یک میدان الکتریکی

$$đW = -\vec{p} \cdot \mathrm{d}\vec{E}$$

دوقطبی مغناطیسی در یک میدان الکتریکی

$$đW = -\vec{m} \cdot \mathrm{d}\vec{B}$$

$$đW = F\mathrm{d}x$$



انرژی

$$\mathrm{d}\,U = đ\,Q - p\mathrm{d}\,V$$

در یک سیستم گازی : (p, V, T),

$$f(p, V, T) = 0$$

$$p = p(V, T)$$

$$V = V(p, T)$$

$$T = T(p, V)$$

انرژی

$\mathrm{d}U = đQ - p\mathrm{d}V$

در یک سیستم گازی : (p, V, T),

گاز ایده‌آل: $f = pV - Nk_BT = 0$

$p = p(V,T)$ $\quad p = \dfrac{Nk_BT}{V}$

$V = V(p,T)$ $\quad V = \dfrac{Nk_BT}{p}$

$T = T(p,V)$ $\quad T = \dfrac{1}{Nk_B}pV$

انرژی

$$\mathrm{d}\,U = đ\,Q - p\mathrm{d}\,V$$

در یک سیستم گازی : (p, V, T),

$$f(p, V, T) = 0$$

$$U = U(p, V)$$

$$p = p(V, T)$$

$$U = U(p, T)$$

$$V = V(p, T)$$

$$U = U(V, T)$$

$$T = T(p, V)$$

گاز ایده‌آل: $$U(T) = \frac{3}{2} N k_B T$$

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

در یک سیستم گازی : (p, V, T), $\mathrm{d}U = đQ - p\mathrm{d}V$

$$p = p(V,T): \quad \mathrm{d}p = \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T \mathrm{d}V + \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V \mathrm{d}T$$

$$V = V(p,T): \quad \mathrm{d}V = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \mathrm{d}T$$

$$T = T(p,V): \quad \mathrm{d}T = \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V \mathrm{d}p + \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p \mathrm{d}V$$

انرژی

در یک سیستم گازی : (p, V, T), $\mathrm{d}U = đQ - p\mathrm{d}V$

$$U = U(V,T): \quad \mathrm{d}U = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \mathrm{d}V + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \mathrm{d}T$$

$$U = U(p,T): \quad \mathrm{d}U = \left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_p \mathrm{d}T$$

$$U = U(p,V): \quad \mathrm{d}U = \left(\frac{\partial U}{\partial p}\right)_V \mathrm{d}p + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_p \mathrm{d}V$$

انرژی

$$\mathrm{d}\,U = đ\,Q - p\mathrm{d}\,V \Rightarrow đ\,Q = \mathrm{d}\,U + p\mathrm{d}\,V$$

$$\mathrm{d}U = \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T \mathrm{d}V + \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \mathrm{d}T$$

$$đ\,Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \mathrm{d}T + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \mathrm{d}\,V$$

$$\frac{đ\,Q}{\mathrm{d}T} = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \frac{\mathrm{d}\,V}{\mathrm{d}T} \overset{\mathrm{d}\,V=0}{\Longrightarrow} C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$$

انرژی

$$đ Q = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \mathrm{d}T + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right] \mathrm{d}\, V$$

$$\mathrm{d}V = \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p + \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p \mathrm{d}T$$

$$đ Q = \left[\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p\right] \mathrm{d}T$$

$$+ \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \mathrm{d}p$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

$$\frac{đ Q}{\mathrm{d}T} = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T \frac{\mathrm{d}p}{\mathrm{d}T}$$

$$\overset{\mathrm{d}\,p=0}{\Longrightarrow} C_p = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$$

$$C_p = C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم

انرژی

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V$$

$$C_p = C_V + \left[\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T + p\right]\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$$

گاز ایده‌آل:

$$pV = Nk_BT$$

$$U(T) = \frac{3}{2}Nk_BT$$

$$C_V = \frac{3}{2}Nk_B$$

$$C_p = \frac{3}{2}Nk_B + [0 + p]\left(\frac{Nk_B}{p}\right) = \frac{5}{2}Nk_B$$

$$\Rightarrow \quad \gamma = \frac{C_p}{C_V} = \frac{5}{3}$$

محمدرضا مظفری گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه قم