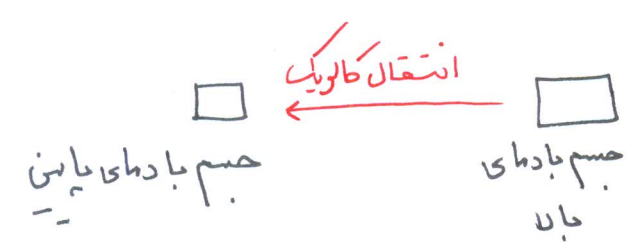


فقط در اثر اختلاف دما بین یک دستگاه و محیط اطرافش مبادله می شود.

گرما ←

حضور قوی ← وجود مقداری شی مادی به خام کالریک : دمای بالاتر = کارایی بیشتر

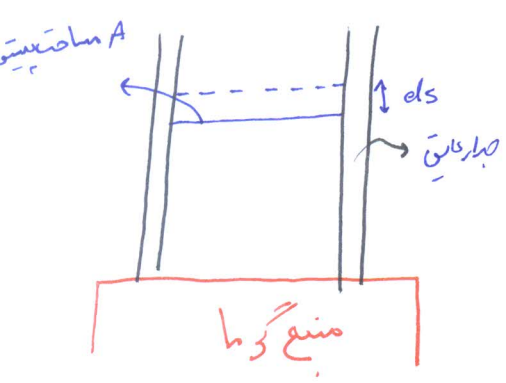


امروزه ← گرما نوعی انرژی است

زول جا آزمایشی نشان داد ← هرگاه مقدار مبنی از انرژی مکانیکی به گرما تبدیل شود، مقدار گرمای حاصل همیشه یکسان است.

↓
هم ارزی گرما و کار مکانیکی w

مطابقی w و q برای یک فرایند ترمودینامیک



P_i, V_i دستگاه (گاز) در ابتدا با محیط خارجی (نامل گرما و بیستون) در تعادل است
 P_f, V_f دارن گرما به سیستم از تزان - دستگاه با محیط خود برهم کنش می کنند و به تعادل می رسند

در یافت گرما ← انبساط گاز
بیستون بالای روگ
کار انجام شده تا بیستون بالا رود

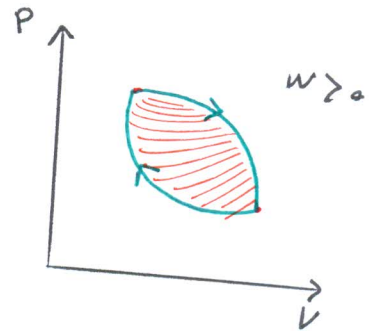
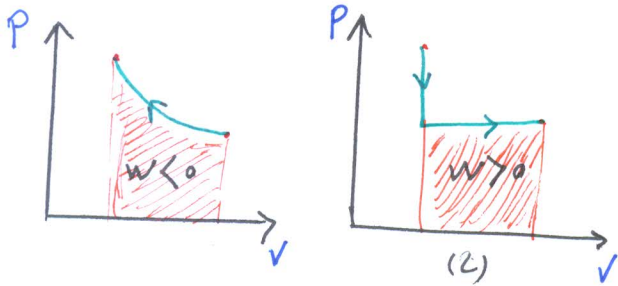
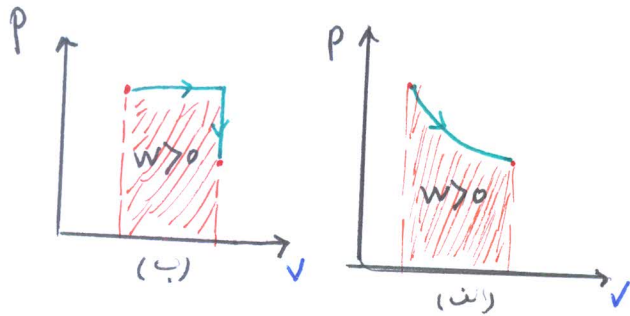
$$dw = \vec{F} \cdot d\vec{s} = p A ds = p dV$$

در حالت کلی : فشار در حین تغییر مکان ثابت نخواهد ماند.

کل کار انجام شده توسط
گاز روی پیستون برابر است
با

$$W = \int dw = \int_{V_i}^{V_f} P dV \Rightarrow P \text{ بر حسب } V$$

کار انجام شده توسط یک دستگاه، نه تنها به حالت اولیه و حالت نهایی
آن بلکه به مسیر فرایند نیز بستگی دارد.



حوضی ساعتگرد ← کار مثبت

$$w_b > w_{af} > w_c$$

- گرمایی که یک دستگاه می‌گیرد یا از دست می‌دهد نه فقط به حالت‌های اولیه و نهایی،
بلکه به مسیر فرایند نیز بستگی دارد.

گرمایی داخل دستگاه جریان می‌یابد که به نحوه‌ی گرما دادن بستگی دارد.

— قانون اول ترمودینامیک :

گرمایی که به سیستم می‌رسد Q → برای جذب شده توسط دستگاه ← Q
 گرمایی که از سیستم می‌رود W → کار انجام شده توسط دستگاه ← W

اما

$$Q - W$$

به مسیر بستگی ندارد و فقط به حالت‌های اولیه و نهایی بستگی دارد.

تعریف انرژی تیپانسیل : تابعی از مشخصات فضای وجود دارد که مقدار نهایی آن منتهای مقدار اولیه‌اش و یا کار انجام شده در تغییر مکان جسم برابر است.

کار نیروی باسیلار به فضای اولیه و نهایی بستگی دارد

$Q - W$ به مسیر بستگی ندارد

$$\Delta U = Q - W$$

انرژی داخلی

تابعی از مشخصات ترمودینامیکی وجود دارد که ΔU با تفاضل $Q - W$ برابر است.

قانون اول ترمودینامیک

وقتی دستگاه کار انجام می‌دهد W مثبت
 وقتی به دستگاه گرما وارد می‌شود Q مثبت
 ↓ تفسیرات کوچک

$$du = dq - dw$$

— فرایند برگشت پذیر و برگشت ناپذیر :

فرایند برگشت ناپذیر : در یک جهت تغییر صورت می‌گیرد که آن را به سوی وضعیت تعادل پیش می‌برد ، همه ی فرایندهای طبیعی برگشت ناپذیرند

انتقال گرما از منبع به دستگاه ← رسیدن به تعادل ← بماندن در حالت تعادل

فرایند برگشت پذیر : [reversible process]

اگر اختلاف دماها بی نهایت کوچک باشند (به سمت صفر میل کنند)

↓
با کم کردن دمای منبع به مقدار بی نهایت کوچک جهت شارش گرما را می‌توان معکوس کرد.

این فرایند ایده آل برگشت پذیر نامیده می‌شود

↓
دستگاه مقدار بی نهایت کوچک از حالت تعادل دومی شروع

قابل محاسبه است $W = \int p \, dV$

↓
برای فرایندهای که نمودار P بر حسب V را رسم می‌کنیم ، یعنی لحظه به لحظه دستگاه در حالت تعادلی و فرایند برگشت پذیر است.

۹۲ جاروشنهای حساب دفرانسیل می‌توان با آنظار بنا کرد

- فرایندهای ویژه و گرمای ویژه :

+ فرایند بی‌دررو : (آدیباتیک)

↳ در آن هیچ انتقال گرمایی صورت نمی‌گیرد .

$$Q = 0 \Rightarrow \Delta u = -W$$

- اگر دستگاه کار انجام دهد انرژی داخلی آن کاهش می‌یابد .

- سهی فرایندهای « ناآلفانی » بی‌دررو اند ، (انتقال گرما قدری کند است)

عایق بندی گرمایی سیستم (دستگاه)

فرایند سریع انجام شود

→ فرایند بی‌دررو

+ فرایند تک‌حجم (حجم - ثابت)

نی‌تواند کار انجام دهد $W = 0$

$$\Delta u = Q$$

- اگر گرما در دستگاه جذب شود انرژی داخلی سیستم افزایش می‌یابد

+ فرایند حرزهای

$$\Delta u = 0 \Rightarrow Q = W \text{ (فرایند حرزهای)}$$

کار خالص که در خلال این فرایند انجام می‌شود برابر با مقدار انرژی خالصی که مبادله می‌شود

→ انبساط آزاد ←

یک فرایند بی‌دررو است که در آن کاری روی دستگاه یا توسط دستگاه انجام نمی‌شود.



$w = 0$ ← دیواره‌های ظرف صلب

$Q = 0$ ← مبادی گرمی نداریم

↓

$\Delta U = 0$

$T_i = T_f$ ← گاز ایده‌آل

← انبساط آزاد یک فرایند برگشتناپذیر

در حالت‌های میانی حجم و فشار و دما دارای مقادیر میانی هستند. برای دستگاه نیست. نمی‌توان نمودار $p-v$ را برایش رسم کرد. از $w = \int p \, dv$ نمی‌توان برای محاسبه‌ی کار استفاده کرد.

گرمای ویژه مولی c
گرمای ویژه مولی C

$C_v = c M$ ← جرم یک مول

$Q = m C \Delta T = \frac{m}{M} C_v \Delta T = n C_v \Delta T$ ← جرم

حجم ثابت $Q = n C_v \Delta T$

فشار ثابت $Q = n C_p \Delta T$

↓
تعداد مول

- ظرفیت گرمایی ویژه :

الف) ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت ($v = cte \Rightarrow dw = 0$)

$$\begin{cases} dQ = n C_v dT \Rightarrow C_v = \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_v \\ du = dQ - dw = dQ - 0 \Rightarrow dQ = du \end{cases}$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{1}{n} \frac{du}{dT} \begin{cases} \text{گازی تک اتمی} & du = \frac{3}{2} n R dT \Rightarrow C_v = \frac{3}{2} R \\ \text{گازی دواتمی} & du = \frac{5}{2} n R dT \Rightarrow C_v = \frac{5}{2} R \\ \text{گازی سه اتمی با پیوند} & du = 3 n R dT \Rightarrow C_v = 3 R \end{cases}$$

ب) ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت ($P = n C_p dT$)

$$\begin{cases} du = dQ - dw \Rightarrow dQ = du + dw = n C_v dT + p dv \\ P_* V = n R T \Rightarrow p dv + v dp = n R dT \\ p = cte \Rightarrow dp = 0 \end{cases} \Rightarrow p dv = n R dT$$

$$C_p = \frac{1}{n} \left(\frac{dQ}{dT} \right)_p = \frac{1}{n} \left(\frac{du + dw}{dT} \right)_p = \frac{1}{n} \frac{du}{dT} + \frac{1}{n} \frac{dw}{dT}$$

$$= \frac{1}{n} \frac{n C_v dT}{dT} + \frac{1}{n} \frac{n R dT}{dT} = C_v + R$$

$$C_p \begin{cases} \text{گازی تک اتمی} & \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R \\ \text{گازی دواتمی} & \frac{5}{2} R + R = \frac{7}{2} R \\ \text{گازی سه اتمی با پیوند} & 3 R + R = 4 R \end{cases}$$

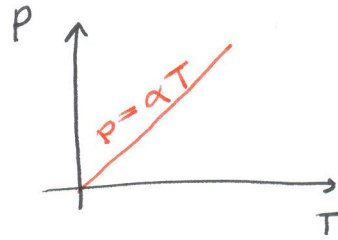
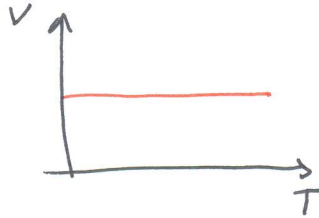
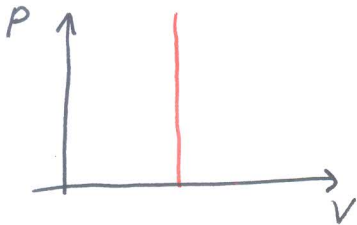
فرایندها :

الف) فرایند تک حجم :

$$\left\{ \begin{array}{l} V = cte \Rightarrow W = 0 \Rightarrow \Delta U = Q - W = Q - 0 = Q \\ Q = \Delta U = nC_V \Delta T \end{array} \right.$$

اگر تعداد مول گاز کم نشود $(\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2})$

$$PV = nRT \Rightarrow P = \left(\frac{nR}{V}\right)T = \alpha T$$

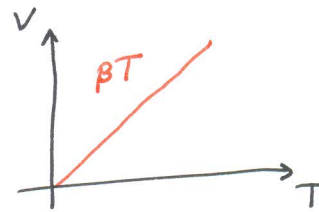
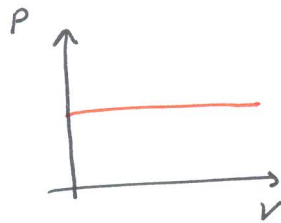
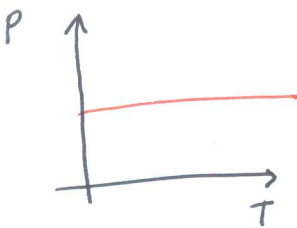


ب) فرایند تک فشار

$$\left\{ \begin{array}{l} P = cte \Rightarrow Q = nC_P \Delta T \\ \Delta U = nC_V \Delta T \\ W = \int p dv = p \int_{V_1}^{V_2} dv = p(V_2 - V_1) \\ \Delta U = Q - W \Rightarrow nC_V \Delta T = nC_P \Delta T - p \Delta V \end{array} \right.$$

اگر تعداد مول گاز تغییر نکند $(\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2})$

$$PV = nRT \Rightarrow V = \frac{nR}{P}T = \beta T$$

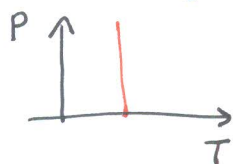
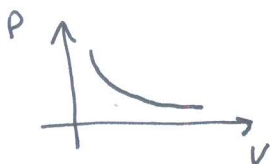


ج) فرایند تک دما

$$T = cte \Rightarrow \Delta U = nC_V \Delta T = 0 \Rightarrow Q = W$$

$$Q = W = \int_{V_1}^{V_2} p dv = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dv = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dv}{V} = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$PV = nRT \Rightarrow P = \frac{nRT}{V} = \frac{const}{V}$$



فرایند بی‌دررو (آدیباتیک)

فرایند یالست - هیچ گرمای بین سیستم و محیط مبادله نشود. به عبارتی سیستم با دما از دریا

$$\begin{cases} PV = nRT \\ dQ = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} pdv + vdp = nRdt \\ du = -dw \Rightarrow nC_v dT = -pdv \end{cases} \quad (Q=0)$$

$$\begin{cases} dT = \frac{pdv + vdp}{nR} \\ dT = \frac{-pdv}{nC_v} \end{cases} \Rightarrow \frac{pdv + vdp}{nR} = \frac{-pdv}{nC_v}$$

$$pC_v dv + vC_v dp = -pRdv$$

$$p(C_v + R)dv + vC_v dp = 0$$

vC_v ← ظرفیت گرمایی $C_p = C_v + R$ ← باقیمانده

$$\frac{pC_p dv}{vC_v} + \frac{vC_v dp}{vC_v} = 0 \Rightarrow \left(\frac{C_p}{C_v}\right) \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0$$

$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$ ← ضریب اتمسیتی گاز

$$\gamma \frac{dv}{v} + \frac{dp}{p} = 0 \Rightarrow \int \gamma \frac{dv}{v} + \int \frac{dp}{p} = cte$$

$$\Rightarrow \gamma \ln v + \ln p = \ln v^\gamma + \ln p = \ln p v^\gamma = cte$$

$$p v^\gamma = e^{cte} = \text{ثابت}$$

$p v^\gamma = \left(\frac{nRT}{v}\right) v^\gamma = \text{ثابت} \Rightarrow T v^{\gamma-1} = \frac{\text{ثابت}}{nR} = \text{ثابت}$ • nR ثابت است

هنگامی که یک گاز ایده‌آل تحت فرآیند با درون‌تاب بودن...

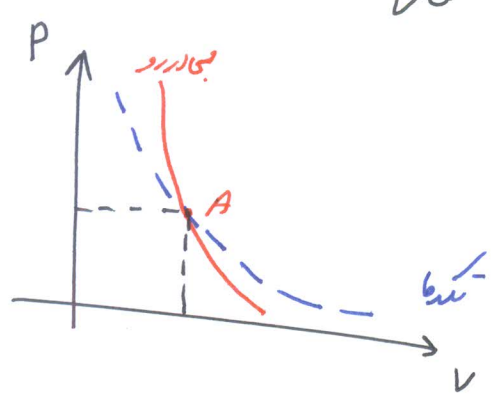
$$P_i V_i^\gamma = P_F V_F^\gamma$$

$$T_i V_i^{\gamma-1} = T_F V_F^{\gamma-1}$$

برای $\frac{P_i V_i}{T_i} = \frac{P_F V_F}{T_F}$ داریم:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \left\{ \begin{array}{l} \text{یک اتمی: } \frac{5}{2}R = 1.66 \\ \text{دو اتمی: } \frac{7}{2}R = 1.4 \\ \text{سه اتمی: } \frac{4R}{3} = 1.33 \end{array} \right.$$

$PV^\gamma = \text{تایید} \Rightarrow P = \frac{\text{تایید}}{V^\gamma} \Rightarrow P \propto \frac{1}{V^\gamma}$ منحنی P-V

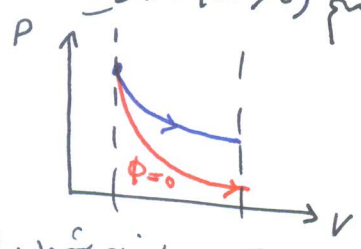


نسبت دینامی در نقطه A

یک اتمی: $\frac{dp}{dv} = \frac{d}{dv} \left(\frac{nRT}{v} \right) = nRT \frac{d}{dv} \left(\frac{1}{v} \right) = -\frac{nRT}{v^2} = -\frac{P}{v}$

دو اتمی: $\frac{dp}{dv} = \frac{d}{dv} \frac{\text{تایید}}{V^\gamma} = -\frac{\gamma (\text{تایید})}{V^{\gamma+1}} = -\frac{\gamma P}{V}$

اگر حجم یک گاز را از V_1 تا V_2 افزایش دهیم کار انجام شده توسط سیستم ($w > 0$) در فرآیند ثابت دما...



اگر خواهم حجم یک گاز را از V_1 به V_2 کاهش دهم کار انجام شده بر روی سیستم با این انجام شود ($w < 0$) در فرآیند با درون‌تاب بودن.



کار در فرآیند ایزوثرم:

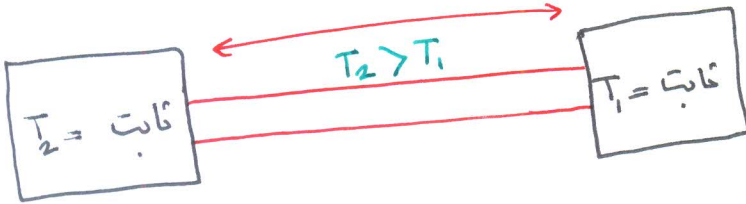
$$Q = 0 \Rightarrow \Delta U = -W \Rightarrow W = -\Delta U = -nC_V \Delta T$$

کار در فرآیند ایزوچال: $P = \text{const}$ (تاب) $V_i \rightarrow V_f$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{C_V \bar{P}}{V^\gamma} dV = C_V \bar{P} \int_{V_i}^{V_f} V^{-\gamma} dV = \frac{C_V \bar{P}}{-\gamma + 1} V^{-\gamma + 1} \Big|_{V_i}^{V_f}$$

$$= \frac{(PV^\gamma)}{1-\gamma} \Big|_{V_i}^{V_f} = \frac{PV}{1-\gamma} \Big|_{V_i}^{V_f} = \frac{P_f V_f - P_i V_i}{1-\gamma}$$

H در حالت پایا



جهان گرمای $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$

حالت پایا: دمای هر نقطه از میله در طول زمان ثابت است.

در تمام مقطعها $\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ یکسان است.

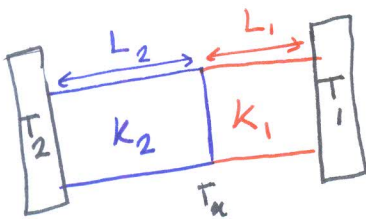
از سمت انتقال انرژی گرمایی

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = -kA \frac{dT}{dx}$$

T به طور ضمنی کمی سرد

$$\frac{-dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$



دیواری مرکب «حالت پایا»

حالت پایا ← دمای هر نقطه نسبت به زمان تغییر نمی کند.

انتقال گرما از دو ماده برابرند چینی

$$H_2 = H_1$$

$$\frac{k_2 A (T_2 - T_n)}{L_2} = \frac{k_1 A (T_n - T_1)}{L_1}$$

اگر این طور نباشد دما در نقطه تنبلی اندک و حالت پایا وجود نخواهد داشت

$$T_n = \frac{k_1 L_2 T_1 + k_2 L_1 T_2}{k_1 L_2 + k_2 L_1} \quad \xrightarrow{\text{جابجایی } T_n \text{ در } H} \quad \frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{A(T_2 - T_1)}{L_1/k_1 + L_2/k_2}$$

$$\frac{\Delta\phi}{\Delta t} = \frac{A(T_2 - T_1)}{\sum_{i=1}^n L_i/k_i}$$

- روش های انتقال گرما

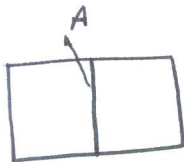
- رسانش ✓

- هرفت x

- تابش x

- رسانش گرمایی :

انتقال انرژی ناشی از اختلاف دمای بین قسمت های مجاور یک جسم را رسانش گرمایی می گویند.



آزمایش $\rightarrow \Delta Q \propto A \frac{\Delta T}{\Delta x}$

در حالت صدی که ضخامت dx به بینهایت کوچک
و اختلاف دما dT است.

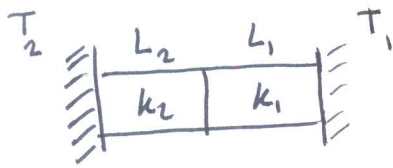
$$H = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = -kA \frac{dT}{dx}$$

تناسب تناسب

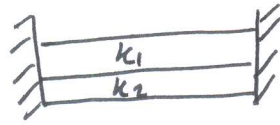
گردانی دما

گرمای همواره از دمای بالاتر به دمای
پایین تر جریان می یابد. نسبت رسانش است
- در رابطه تا $\frac{\Delta Q}{\Delta t}$ مثبت شود.

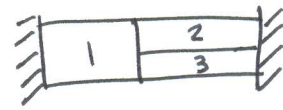
- k به دما بستگی دارد و با افزایش دما اندکی زیاد می شود
اما در گستره های دماهای محدود مقدار k یک ماده را ثابت
می توان فرض کرد.



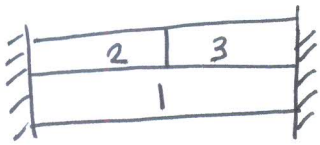
$$H_1 = H_2$$



$$H = H_1 + H_2$$



$$H = H_1 = H_2 + H_3$$

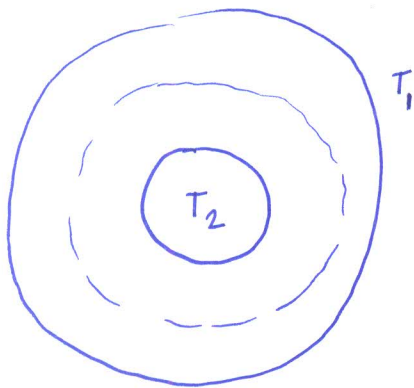


$$H_2 = H_3$$

$$H = H_1 + H_2 = H_1 + H_3$$

دیواره‌ی استوانه‌ای

باب



$$T_2 > T_1$$

$$H = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -kA \frac{dT}{dr}$$

$$A = 2\pi r L$$

$$H \frac{dr}{r} = -2\pi k L dT \Rightarrow \int_a^b H \frac{dr}{r} = -2\pi k L \int_{T_2}^{T_1} dT$$

$$H \ln r \Big|_a^b = 2\pi k L (T_2 - T_1)$$

$$H(\ln b - \ln a) = 2\pi k L (T_2 - T_1)$$

استوانه $H = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{2\pi k L (T_2 - T_1)}{\ln b/a}$

کروی $H = \frac{4\pi k r_1 r_2 (T_1 - T_2)}{r_2 - r_1}$

نظریه‌ی جنبشی گازها

دوین فیزیکی ← **محاسبه** ← سرعت مولکولها و میانگین سرعت مولکولها
 میانگین گیری در ریاضی

الف) توصیف ماکروسکوپی: گاز ایده‌آل گاز است در تمام شرایط از رابطه‌ی $PV = nRT$ پیروی کند.
 (فشار Pa ، حجم m^3 ، دما K ، تعداد مولها)

در خطای کم به اندازه‌ی کافی پایین، مقدار R برای تمام گازها یکسان است.

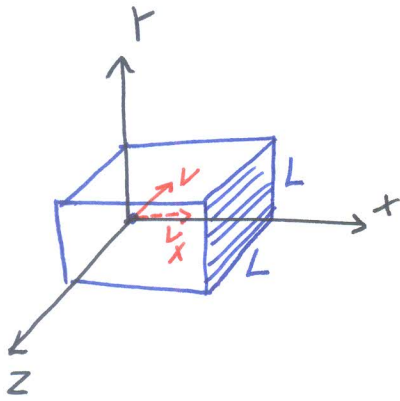
$$R = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K}$$

خطای کم به اندازه‌ی کافی ← مقدار تمام گازها واقعی به گاز ایده‌آل نزدیک می‌شود.

ب) توصیف میکروسکوپی:

- ۱- تشکیل هرگازی از ذراتی نفعه‌ای یا کره‌ای است و همان به نام مولکول
- ۲- حرکت تصادفی مولکولها و تبعیت از قوانین نیوتن
- ۳- تعداد کل مولکولها زیاد
- ۴- حجم مولکولها کمتر از حجم اشغال شده توسط گاز
- ۵- نیروی نفعه در هنگام برخورد وارد می‌شود.
- ۶- برخورد آکسیان لنزو در زمان بسیار کوتاهی اتفاق می‌افتد.

محاسبه‌ی فشار بر اساس نظریه‌ی جنبشی



نیروی وارد از یک سوئول بر دیواره

نیروی کل وارد بر دیواره

تعداد کل سوئول

$L^3 =$ حجم گاز

$m =$ جرم یک سوئول

$M' =$ جرم کل گاز

$\rho = \frac{M'}{L^3} =$ چگالی گاز

$$F'_x = \frac{\Delta P_n}{\Delta t} = \frac{mV_n - (-mV_n)}{2(\frac{L}{v_x})} = \frac{mV_x^2}{L}$$

$$F_x = \sum F'_x = \frac{m}{L} (v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{nx}^2)$$

$$F_x = \frac{m}{L^2} (v_{1x}^2 + \dots + v_{nx}^2)$$

$$= \frac{mN}{L^3} \frac{(v_{1x}^2 + \dots + v_{nx}^2)}{N}$$

$$= \frac{M'}{L^3} \bar{v}_x^2 = \rho \bar{v}_x^2$$

در جهت‌های مختلف $\bar{v}_x^2 = \bar{v}_y^2 = \bar{v}_z^2$ ، $\bar{v}_x^2 + \bar{v}_y^2 + \bar{v}_z^2 = \bar{v}^2 \Rightarrow \bar{v}_x^2 = \frac{1}{3} \bar{v}^2$

$\rho = \frac{m}{L^3}$ \rightarrow $P = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2$

چند میانگین مربعی سرعت v_{rms}

$$v_{rms} = \sqrt{\bar{v}^2} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}}$$

$\rho = \frac{M'}{V} = \frac{nM}{V}$ ، n جرم مول، M جرم مولی

$P = \frac{nRT}{V}$

$$\rightarrow v_{rms} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}} = \sqrt{\frac{3(nRT/V)}{nM/V}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{3RT}{N_A M}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

جرم مولی گاز
 $M = N_A m$

— دما در نظریه جنبشی

— انرژی جنبشی هر مولکول (ویا هر مول) از یک گاز ایده آل تابع دما است.



انرژی مولکولهای آنها هم برابر است. \rightarrow دمای جسم ۱ = دمای جسم ۲

$$P = \frac{1}{3} \rho \bar{v}^2 \rightarrow \frac{NRT}{V} = \frac{1}{3} \frac{M'}{V} \bar{v}^2 \rightarrow RT = \frac{1}{3} M \bar{v}^2$$

$$\rightarrow \boxed{\frac{3}{2} RT = \frac{1}{2} M \bar{v}^2}$$

انرژی متوسط جنبشی انتقالی هر مول گاز ایده آل
جرم یک مول

$$N_A = 6.02 \times 10^{23}$$

$$\frac{1}{2} M \bar{v}^2 = \frac{1}{2} \frac{M \bar{v}^2}{N_A} = \frac{3}{2} \left(\frac{R}{N_A} \right) T = \frac{3}{2} kT$$

$$\boxed{k = 1.38 \times 10^{-23} \frac{J}{\text{molcul. } k}}$$

سرعت \rightarrow مولکول سبک تر

تبادل گرمایی بودن دو جسم به معنی برابری انرژی کل نیست بلکه به معنای برابری انرژی مولکول هر دو جسم ویا مولهای دو جسم است.

$$\Delta U = \frac{3}{2} Nk\Delta T = \frac{3}{2} NR\Delta T$$

- تقسیم مساوی انرژی :

انرژی جنبشی بیاض
تک اتمی

$$\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{1}{2} m \bar{v}_x^2 + \frac{1}{2} m \bar{v}_y^2 + \frac{1}{2} m \bar{v}_z^2 = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{3}{2} kT$$

↓
 $\frac{1}{2} kT$

بر اساس قضیه همپاری انرژی مقدار میانگین این جمله مساوی دیگر $\frac{1}{2} kT$ است.
هر کدام از راه های مستقل جذب انرژی را یک درجه آزادی می نامند. پس انرژی
میانگین مولکول به ازای هر درجه آزادی برابر است با $\frac{1}{2} kT$ که k
ثابت بولتزمن است.

گاز تک اتمی: انرژی یک مولکول ← $\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{3}{2} kT$

انرژی یک مول = $N_A \left(\frac{3}{2} kT \right) = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT$

انرژی کل گاز $U = \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} NkT$

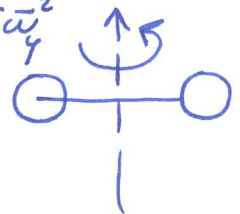
گاز دو اتمی: هر مولکول را به شکل یک دیسک در نظر می گیریم.

انرژی جنبشی انتقال = $\frac{1}{2} m \bar{v}^2 = \frac{1}{2} m \bar{v}_x^2 + \frac{1}{2} m \bar{v}_y^2 + \frac{1}{2} m \bar{v}_z^2 = \frac{3}{2} kT$

انرژی جنبشی دورانی = $\frac{1}{2} I \bar{\omega}^2 = 2 \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{1}{2} I \bar{\omega}_x^2 + \frac{1}{2} I \bar{\omega}_y^2$

انرژی جنبشی هر مولکول = $\frac{5}{2} kT$

انرژی جنبشی کل گاز = $\frac{5}{2} nRT = \frac{5}{2} NkT$



گاز با سه اتم و با پیوسته:

$$\frac{1}{2} I_1 \bar{\omega}_x^2 + \frac{1}{2} I_2 \bar{\omega}_y^2 + \frac{1}{2} I_3 \bar{\omega}_z^2 = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

$$\text{انرژی انتقال} = 3 \left(\frac{1}{2} kT \right)$$

انرژی جنبشی هر مولکول = $6 \left(\frac{1}{2} kT \right) = 3kT$

انرژی کل گاز $U = 3NkT = 3nRT$.

درجه آزادی

$$C_V = \frac{f}{2} R$$

$$C_P = C_V + R = \frac{f+2}{2} R$$

$\begin{matrix} \nearrow \text{حرکتی} & \frac{3}{2} R \\ \rightarrow \text{حرکتی} & \frac{5}{2} R \\ \searrow \text{حرکتی} & 3R \end{matrix}$

قانون اول ترمودینامیک:

در یک فرآیند $Q - W$ فقط به اختلاف دما و نهایی بستگی دارد.

گرمای جذب شده توسط دستگاه

کار انجام شده توسط دستگاه

می توان مثل نیروی فشاری
برای آن متناهی
تعریف کرد

$$\Delta U = Q - W$$

قانون اول ترمودینامیک

$$du = dq - dw$$

گاز ایده آل \rightarrow مولکولها با نیروی بر خوردی \leftarrow انرژی متناهی داخلی وجود ندارد.

انرژی داخلی گاز ایده آل تماماً جنبشی است.

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

انرژی داخلی گاز ایده آل

b5 $\frac{3}{2} kT \xrightarrow{N \text{ مولکول}} \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} n N_A kT = \frac{3}{2} nRT$ $w = \int p dv$

آنتروی و قانون دوم ترمودینامیک

- فرایند برگشت پذیر و برگشت ناپذیر:

- فرایندها را می توان به دو دسته ی برگشت پذیر و برگشت ناپذیر تقسیم کرد.

الف) فرایندی برگشت پذیر فرایندی است که به گونه ای انجام می شود که در

پایان فرایند، هم سیستم و هم محیط بدون آنکه تغییری در بقیه آن ایجاد کنند می توانند به حالت اولیه برگردند. به عبارتی فرایندی دوسویه است.

ب) فرایند برگشت ناپذیر فرایندی است که در پایان فرایند هم سیستم و هم محیط نمی توانند بدون تغییرات در محیط خودشان به حالت اولیه برگردند. به عبارتی فرایند یکسویه است.

فرایند رطبی تماماً برگشت ناپذیر بوده و فرایند مصنوعی هم به صورت برگشت ناپذیر و هم برگشت پذیر می تواند انجام شوند. البته فرایند برگشت ناپذیر لیده آن وجود ندارد و در حقیقت تمام فرایندها برگشت ناپذیرند. برای آنکه یک فرایند برگشت پذیر باشد باید:

۱- بدون اتلاف باشد.

۲- به طریقی تا و انجام گیرد.

به عبارتی سیستم لزبین حالت در تعادل ترمودینامیکی که می تواند در یک جهت و یا در جهت مخالف آن پیچیده شوند عبور کند. بنابراین مشخص است این فرایند باید تحت کنترل انجام شود.

حرفه گرگت نذر و برگت نذر:

کیا حرفه از صنایع تولیدی تشکیل شده است که در نهایت سیستم به حالت کولبه خود برمی گردد.
 اگر تمام فرآیندها حرفه برگت نذر باشند حرفه برگت نذر است.
 در غیر این صورت حتی اگر یکی از فرآیندها برگت نذر باشد حرفه برگت نذر است.

۱-۲-۸:

۴ - کیا حرفه به عنوان ماشین حراری:

در حرفه‌ای که ماشین حراری $w > 0$ و چون $\Delta u = 0$ است. بنابراین
 $\Phi = w > 0$. البته منظور از w و Φ کار و گرمای مبادیه شده بین سیستم و محیط
 است.

مجموع انرژی دریافت شده - مجموع انرژی ورودی $w =$

$$\eta = \frac{w}{\text{مجموع انرژی های ورودی}} = \frac{\text{انرژی دریافت شده}}{\text{انرژی ورودی}} \times 100 \quad \text{بازده (e.a.)}$$

به عنوان مثال اگر در یک ماشین در یکی از فرآیندها بین گرمای Φ_1 را بگیرد ($\Phi_1 > 0$) و
 در فرآیندی دیگر گرمای Φ_2 را از دست بدهد ($\Phi_2 = -|\Phi_2|$) در آن صورت داریم

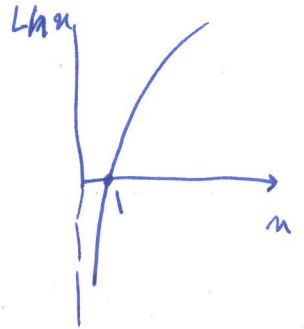
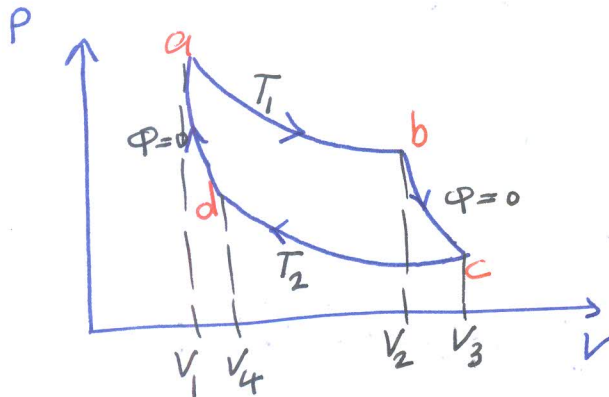
$$w = \Phi_1 - |\Phi_2|$$

$$\eta = \frac{w}{\Phi_1} = \frac{\Phi_1 - |\Phi_2|}{\Phi_1} = 1 - \frac{|\Phi_2|}{\Phi_1}$$

$$\text{بازده} = \frac{|\Phi_2|}{\Phi_1} \times 100$$

- چرخه‌ی کارنو:

یک چرخه‌ی کارنو از چهار فرآیند برگشت پذیر تشکیل شده است. مطابق شکل این چرخه از ۲ فرآیند گدای برگشت پذیر و ۲ فرآیند بی‌دردی برگشت پذیر تشکیل شده است. در شکل یک چرخه کارنو به عنوان یک ماشین حرارتی نمایش داده شده است. $(T_1 > T_2)$



$$a \rightarrow b; \text{ گدای } \rightarrow Q_1 = W_1 = nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$b \rightarrow c; \text{ بی‌دردی } \rightarrow Q = 0$$

$$c \rightarrow d; \text{ گدای } \rightarrow Q_2 = W_2 = nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}$$

$$d \rightarrow a; \text{ بی‌دردی } \rightarrow Q = 0$$

$$W = W_1 + W_{bc} + W_2 + W_{da}, \quad Q = Q_1 - |Q_2|$$

$$\Delta U = 0 \Rightarrow W = Q_1 - |Q_2|$$

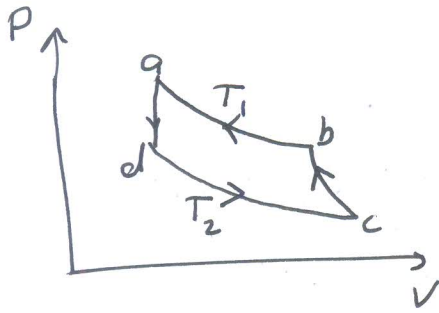
$$|Q_2| = \left| nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} \right| = nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}$$

$$e = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1}$$

T_2 دمای منبع سرد را که می‌باشد T_c و Q_2 با Q_c نمایش

داره می‌شود و T_1 دمای منبع گرم را با T_H و Q_1 با Q_H نمایش می‌دهند

حرفه کار از درجه حرارت عکس :



$$b \rightarrow a \quad \Phi'_1 = W_1 = nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} < 0$$

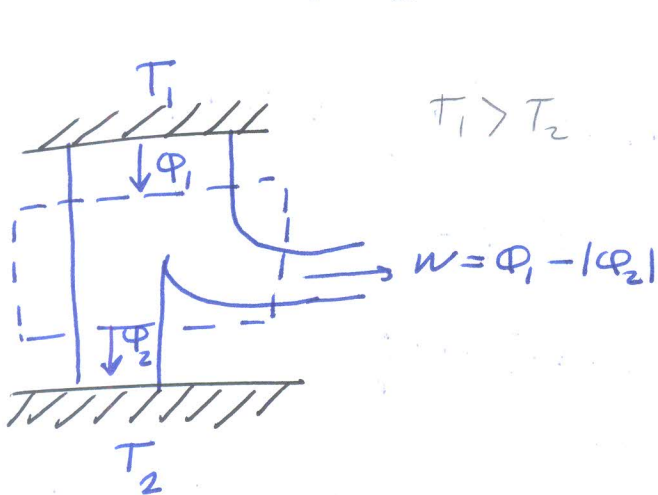
$$c \rightarrow b \quad a \rightarrow d \Rightarrow Q = 0$$

$$d \rightarrow c \quad \Phi'_2 = nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4} > 0$$

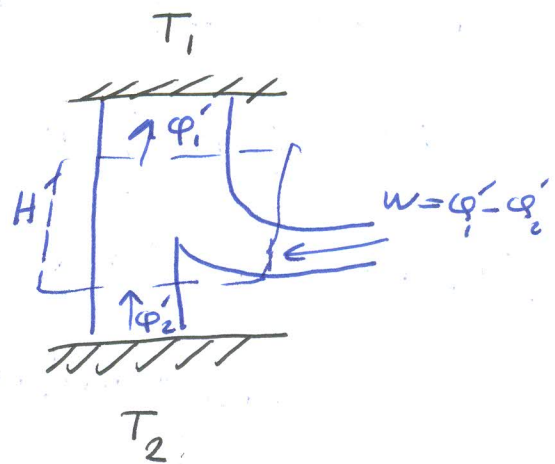
به عبارتی بخیال گرمای Φ'_2 را از منبع سرد T_2 گرفته و گرمای Φ'_1 را به منبع گرم T_1 می دهد و برای این کار لازم است که کار w به بخیال داده می شود.

$$W = W_1 + W_{cb} + W_2 + W_{ad} = \Phi'_1 - \Phi'_2$$

ساختن حرارتی و بخیال را می توان به صورت زیر نمایش داد.



ساختن حرارتی



معادله‌ی بازده خاص فرضی کارنو:

$$e = 1 - \frac{|\varphi_2|}{\varphi_1} = 1 - \frac{nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{nRT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

b, a : $P_1 V_1 = P_2 V_2$

c, b : $P_2 V_2^\gamma = P_3 V_3^\gamma$

d, c : $P_3 V_3 = P_4 V_4$

a, d : $P_4 V_4^\gamma = P_1 V_1^\gamma$

$$\Rightarrow \frac{P_1 P_2 P_3 P_4 V_1 V_2^\gamma V_3 V_4^\gamma}{P_1 P_2 P_3 P_4 V_2 V_3 V_4^\gamma} = \frac{P_1 P_2 P_3 P_4 V_1 V_3 V_4^\gamma}{P_1 P_2 P_3 P_4 V_2 V_3 V_4^\gamma}$$

$$(V_2 V_4)^{\gamma-1} = (V_3 V_1)^{\gamma-1}$$

$$V_2 V_4 = V_3 V_1 \Rightarrow \frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Rightarrow \ln \frac{V_3}{V_4} = \ln \frac{V_2}{V_1} \Rightarrow \boxed{e = 1 - \frac{T_2}{T_1}} \Rightarrow \frac{|\varphi_2|}{\varphi_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

این فرمول خاص فرضی کارنو است.

قانون دوم ترسوریناسیبا :

قانون دوم ترسوریناسیبا دارای دو بیان مختلف است که با هم هم ارزند به عبارتی
نقض یکی از بیان ها منجر به نقض دیگری می شود.

الف) بیان کلوین : امکان ندارد که تنها اثر یک ماشین حرارتی این باشد
که بطور مداوم گرما را از منبع سردتر گرفته و به کار تبدیل کند (به عبارتی
ماشین حرارتی ایده آل که بازده آن صد درصد است وجود ندارد)

ب) بیان کلاسیوس : امکان ندارد که تنها اثر یک چرخه این باشد که به طور
مداوم گرما را از منبع سردتر گرفته و به منبع گرمتر منتقل می کند (به عبارتی
- چرخه ای ایده آل نداریم).

هم ارز بودن دو بیان قانون دوم ترسوریناسیبا :

بیان کلوین بلامانع : عدم امکان ساخت ماشین گرمای کامل :

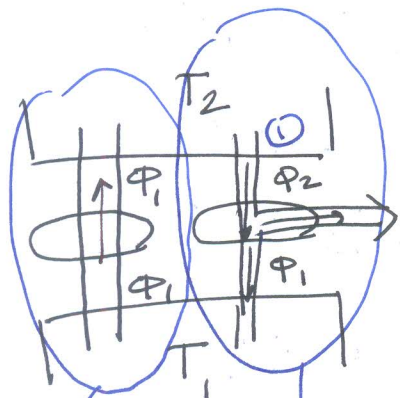
بیان کلاسیوس : عدم ساخت چرخه ای کامل :

برای شان دادن هم ارزی تو بیان \iff اگر یکی از بیان ها نادرست باشد بیان دیگر
هم نادرست است.

بیان کلوین - پلانک نادرست

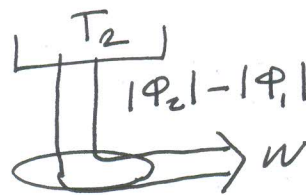
بیان کلوژیوس نادرست ←

↓
نقطه کامل بدون درستی کار



W

⇒



نقطه کامل متصل به
این حالتین همان ϕ_1
را از منبع سردی لبر
و منبع گرم باز
مکاگرداند.

حالتین گرمای معشاری گرم
از منبع گرم میگیرد
معشاری از آن را به کار
تبدیل می کند و قسمتی
را به منبع سرد می دهد.

→ نکته ای خاص گرفته شده

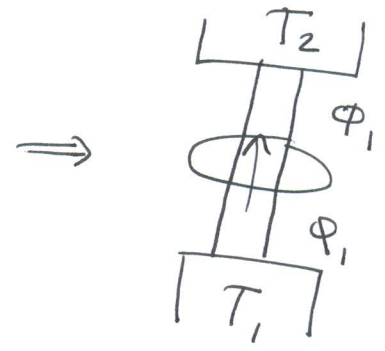
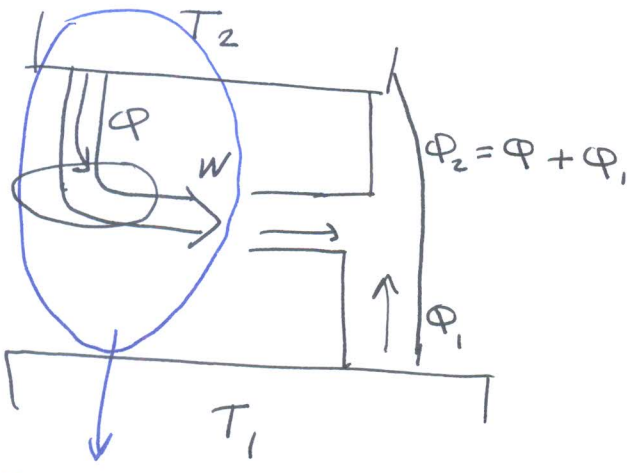
از منبع گرم $(\phi_1 - \phi_2)$ تبدیل

به کار شده

↓
نقض بیان کلوین - پلانک نادرست.

بیان کوزیوس

بیان کوزیوس - بلانک اارست



ماشین گرمای کامل
 داشته باشیم. می توان این
 ماشین گرمای کامل را به یک مثال
 عاری حاصل کرد.

بین انجا که کارگر و طائر
 منبع سرد به منبع گرم رفته

نقض بیان کوزیوس

که ما را می بردیم از منبع گرم
 آن را کامل به کار تبدیل می کند

قضیه کارنو:

تمام حوضه برگشت پذیری که بین دو دمای بالای T_1 و پایین T_2 کار می کنند
دارای بازدهی برابرند و تمام حوضه های برگشت پذیری که بین همین دو دما کار
می کنند دارای بازدهی برابر و یا کوچکترند.

یکی از حوضه برگشت پذیر که بین دو دما کار می کنند حوضه کارنو است.

بنابراین بازده تمام حوضه برگشت پذیر که بین T_1 و T_2 کار می کنند $(T_1 > T_2)$

برابر بازده کارنو یعنی $e = 1 - \frac{T_2}{T_1}$ بوده و $e' < e$ بازده حوضه

برگشت ناپذیر بین این دو دما $e < e'$ است.

ضرب عمکرد بخمال:

ضرب عمکرد یک بخمال نسبت گرمای گرفته شده از منبع سرد به کار لازم جهت

طی حوضه می باشد.

$$k = \frac{|\varphi_2|}{W}$$

که اگر حوضه یک حوضه کارنو (در جهت عکس) باشد این ضرب بصورت نظر

عبارت است از:

$$W = \varphi_1 - |\varphi_2| = |\varphi_2| \left(\frac{\varphi_1}{|\varphi_2|} - 1 \right) = |\varphi_2| \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right)$$

$$k = \frac{|\varphi_2|}{|\varphi_2| \left(\frac{T_1 - T_2}{T_2} \right)} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

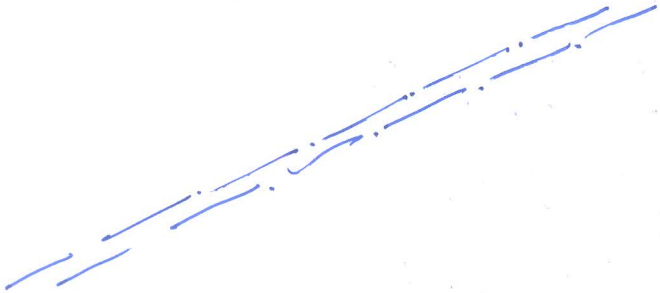
اگر e بازده یک ماشین حرارتی ایده ال برگشت پذیر باشد رابطه ای آن با k هنگامی که

جهت عکس عنوان یک بخمال برگشت ناپذیر کار می کند عبارت است از

$$= \frac{T_1 - T_2}{T_1}, \quad k = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \Rightarrow \boxed{ek = \frac{T_2}{T_1}}$$

- قانون سوم ترمودینامیک ،

با هیچ روشی ، هر قدر هم ایده آل باشد امکان ندارد که دمای یک sys را بتوان با انجام تعداد محدود عملیات ، تا صفر مطلق کاهش داد .



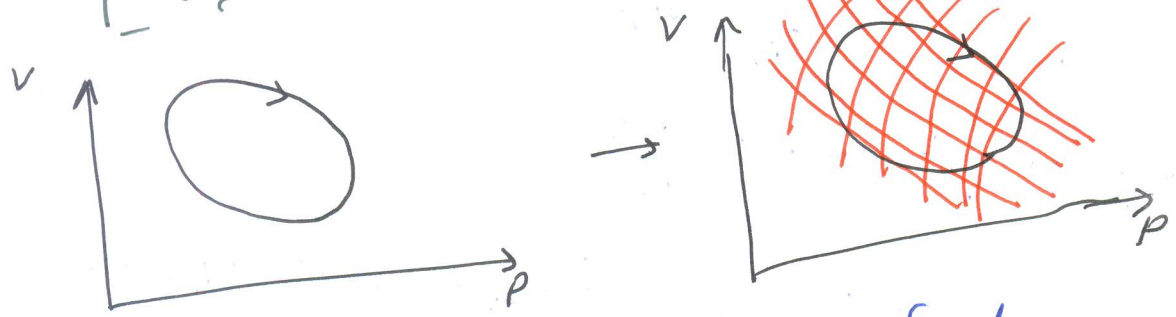
- انتودی :

از نتایج قانون دوم ترمودینامیک معرفی استغیری ترمودینامیکی به نام انتودی (S) است.

در یک فرآیند کاری $\frac{|\varphi_2|}{\varphi_1} = \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \frac{\varphi_1}{T_1} + \frac{-|\varphi_2|}{T_2} = 0$

$\varphi_2 = -|\varphi_2| \Rightarrow \frac{\varphi_1}{T_1} + \frac{\varphi_2}{T_2} = \sum \frac{\varphi_i}{T_i} = 0$

می توان نشان داد که هر فرآیند برگشت پذیر را می توان بصورت تعداد زیادی فرآیند کوچک کاری نمود نظر گرفت. بنابراین برای هر فرآیند برگشت پذیر داریم.



$\oint \frac{d\varphi}{T} = 0$ برای یک فرآیند برگشت پذیر $\Rightarrow \sum \frac{\Delta\varphi}{T} = 0$

انتودی $S \rightarrow ds = \frac{d\varphi}{T}$

$\Delta S = \int_i^F \frac{d\varphi}{T}$ برای یک فرآیند

برای یک فرآیند برگشت پذیر $\Delta S = \int \frac{d\varphi}{T} = 0$ است اما برای یک فرآیند برگشت پذیر می تواند $\Delta S > 0$ یا $\Delta S = 0$ یا $\Delta S < 0$ باشد. با توجه به آنکه

$\oint ds = 0$ است S یک استغیر حالت است. بنابراین $\Delta S_{i \rightarrow F}$ ربطی به مسیر ندارد

$(\Delta S)_{i \rightarrow i} = \oint ds = 0 = (\Delta S_{iF})_1 + (\Delta S_{Fi})_1 = 0$
 $\Rightarrow (\Delta S_{iF})_1 = -(\Delta S_{Fi})_2, -(\Delta S_{Fi})_2 = (\Delta S_{iF})_2$

به طور کلی برای یک گاز ایده آل داریم تحت یک فرآیند برگشت پذیر داریم:

$$\Delta S = \int \frac{d\phi}{T} = \int \frac{du + dw}{T} = \int \frac{du + p dv}{T} = \int \frac{n C_v dt + d(pv) - u}{T}$$

$$d(pv) = nR dt \Rightarrow \Delta S = \int \frac{n C_v dt + nR dt - v dp}{T}$$

$$= \int \frac{n(C_v + R) dt}{T} = \int \frac{dp}{\left(\frac{T}{P}\right)}$$

$$= \int_{T_1}^{T_2} \frac{n C_p dt}{T} - nR \int_{P_1}^{P_2} \frac{dp}{p}$$

$$\Delta S = n C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - nR \ln \frac{P_2}{P_1} \checkmark$$

ΔS را برای حالت خاص بررسی می‌کنیم (چون du ، $d\phi$ و dw تغییراتی کامل نیستند صرفاً آن‌ها را به صورت du ، $d\phi$ و dw می‌نویسیم)

الف) تک جسم برگشت پذیر:

$$\Delta S = \int_i^F \frac{d\phi}{T} = \int_i^F \frac{n C_v dt}{T} = n C_v \ln \frac{T_F}{T_i}$$

$$\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta S > 0$$

$$\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta S < 0$$

$$\Delta S = \int_1^F \frac{dQ}{T} = \int_1^F \frac{nC_p dt}{T} = nC_p \ln \frac{T_F}{T_i}$$

ب) تکانه‌های برگشت پذیر

$$\Delta T > 0 \Rightarrow \Delta S > 0$$

$$\Delta T < 0 \Rightarrow \Delta S < 0$$

ج) تکانه‌های برگشت پذیر

$$du = 0 \Rightarrow dQ = dW = p dv = \frac{nRT}{V} dv$$

$$\Delta S = \int_1^F \frac{dQ}{T} = \int_1^F \frac{\frac{nRT}{V} dv}{T} = nR \int_{V_1}^{V_2} \frac{dv}{V} = nR \ln \frac{V_F}{V_i}$$

$$\Delta V > 0 \Rightarrow \Delta S > 0$$

$$\Delta V < 0 \Rightarrow \Delta S < 0$$

فقط در فرآیند تکانه‌های برگشت پذیر با توجه به ثابت بودن دما می‌توان نوشت:

$$\Delta S = \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int dQ = \frac{Q}{T}$$

د) یک‌دروزی برگشت پذیر

$$dQ = 0 \Rightarrow \Delta S = 0 \Rightarrow S_F = S_i$$

۱۵) در یک فرآیند برگشت پذیر همواره داریم $\Delta S = 0$

همچنین اگر دمای جسم m با ظرفیت گرمایی ویژه c در یک فرآیند برگشت پذیر از T_1 تا T_2 تغییر کند، داریم:

$$\Delta S = \int_{T_1}^{T_2} \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{mcdt}{T} = mC \ln \frac{T_F}{T_i}$$

آنتروپی در فرایندهای برگشتناپذیر:

آنتروپی یک متغیر حالت است بنابراین هنگامی که sys از $F \rightarrow i$ می رود باید بتوانیم صرف نظر از آنکه فرایند برگشتناپذیر یا برگشتناپذیر است. DS را

حساب کنیم وی ساده $DS = \int \frac{dQ}{T}$ بر اساس حرفی کارنو برای فرایندهای برگشتناپذیر

بدست آمد. برای محاسبه DS در یک فرایند برگشتناپذیر باید مسیری برگشتناپذیر پیدا کرد که sys را از $i \leftarrow F$ ببرد و بر آن اساس DS را بدست آورد.

برای فرایندهای برگشتناپذیر (دو مسیر طوری که حرف برگشتناپذیر همیشه داریم $DS > 0$ (حتی در فرایندهای دوری $DS > 0$)

برگشتناپذیر

مثال: اگر حجم گازی در اثر انبساط آزاد از V_1 تا V_2 افزایش یابد می توان یک فرایند برگشتناپذیر تکامل را در نظر گرفته که حجم گاز در آن از V_1 تا V_2 افزایش می یابد (در انبساط آزاد $DU = Q - W = 0$ بنابراین $DT = 0$)

$$DU = Q - W = 0$$

$$= 0 - 0 = 0$$

$$DS = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = nR \ln 2 > 0$$

در نتیجه

آنتروپی و قانون دوم :

هر فرآیند طبیعی که از یک حالت تعادل شروع می‌شود و در حالت تعادل دیگر خاتمه می‌یابد در جهتی پیش می‌رود که آنتروپی موجود در سیستم را اصطلاحاً زیاد شود.

به عبارت متغیر تر، سورتوینا می‌تواند مفیدی با نام آنتروپی وجود دارد. فرآیند طبیعی تماماً برگشت ناپذیرند. بنابراین همواره برای آنها $\Delta S > 0$ است. در حالی که برای فرآیند برگشت پذیر، آنتروپی موجود در سیستم را اصطلاحاً تغییر می‌مانند

$$\Delta S = \Delta S_{sys} + \Delta S_{env} = 0$$

متغی T-S

اگر متغی T-S برای یک فرایند رسم شود سطح زیر منحنی برابر Φ باشد

شده در آن sys است. در زیر این منحنی را برای دو فرایند تکدام و

باید رسم می کنیم :

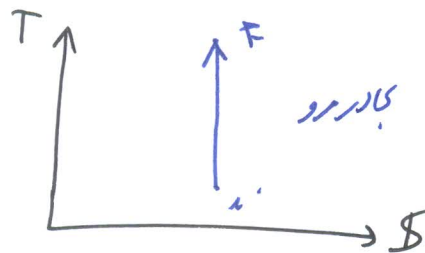
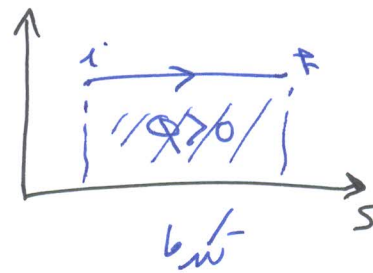
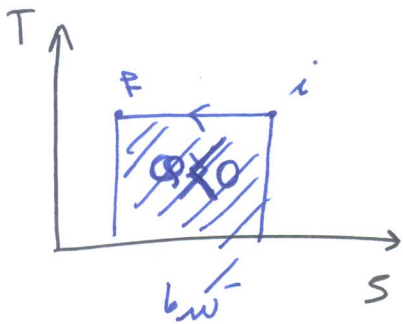
$$ds = \frac{d\Phi}{T} \rightarrow d\Phi = T ds$$

الف) تکدام :

$$\Delta\Phi = \int_i^F T ds = T \int_i^F ds = T(S_F - S_i)$$

ب) کاربرد :

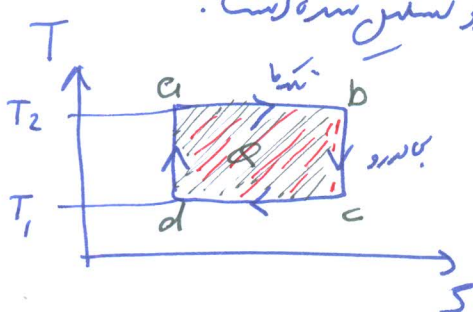
$$d\Phi = 0 \rightarrow ds = 0 \rightarrow S = cte$$



در یک چرخه کار در سطح زیر منحنی برابر Φ است.

$$\Delta U = 0 \Rightarrow \oint \delta W = \oint \delta \Phi$$

چرخه کار نو از دو فرایند تکدام و دو فرایند کاربرد تشکیل شده است.



$$T_2 > T_1$$

$$W = \Phi = \Phi_1 - |\Phi_2|$$