ترمودینامیک - کاردانی ماشین خودرو

نیرو: طبق قانون دوم نیوتن $F = m.a$

m: جرم $kg - gr$

a: شتاب $\frac{m}{s^2}$ یا $\frac{cm}{s^2}$

جاذبه: $g = 9,8 \frac{m}{s^2}$

وزن = نیروی وارد بر جسم

m: کمیتی مستقل است.

$W = m . a$

$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$ یا $g_{moon} = 1,6V \frac{m}{s^2}$

N (نیوتن) $\leftarrow kg \times \frac{m}{s^2}$ واحد وزن یا نیرو

مثال) فضانوردی در محلی که $g = 9,792 \frac{m}{s^2}$ است دارای وزنی برابر 730 (N) می‌باشد. جرم و وزن فضانورد در ماه چقدر می‌باشد؟ $g_{moon} = 1,6V \frac{m}{s^2}$

$F = mg \quad 730 = m \times 9,792 \rightsquigarrow m = 74,55 \ kg$ جرم فضانورد

وزن فضانورد در ماه $\rightsquigarrow W = 74,55 \times 1,6V = 124,5 (N)$

دما:

دما به صورت گرمی یا سردی احساس می‌شود. وسیله اندازه‌گیری دما: دماسنج است.

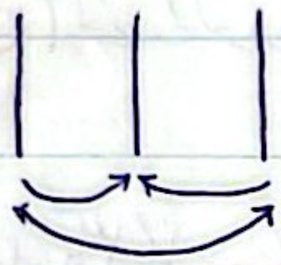
تساوی دما: دو جسم، یکی گرم و دیگری سرد، را که هر یک با دماسنج جیوه‌ای تماس دارند در نظر بگیرید. اگر این دو جسم را هم ارتباط گرمایی

بدتر ارزیابی کنند، به مرور زمان مقاومت الکتریکی قطعه کربنی کاهش و برای قطعه سرد افزایش می یابد. ولی پس از مدتی هیچ تغییری در مقاومت قطعه ها مشاهده نمی شود.

به علاوه ستون جیوه داخل قطعه گرم ابتدا پایین می آید و برای قطعه سرد بالا می رود، اما پس از مدتی هیچ تغییری در ارتفاع ستون های جیوه دیده نمی شود.

✓ پس: دو جسم دارای تساوی دمایی اند هرگاه؛ در ضمن تماس گرمایی، هیچ تغییری در هیچ خاصیت مشاهده پذیر آن ها روی ندهد.

✓ قانون صفرم ترمودینامیک: اگر دو جسم با جسم سومی دارای تساوی دمایی باشند، با یکدیگر نیز تساوی دمایی دارند.



واحد دما: درجه سانتیگراد (سلسیوس) °C - °F (فارنهایت) - R (رنکین)
K (کلوین)

$$T(K) = T(^\circ C) + 273{,}15$$
$$T(R) = T(^\circ F) + \underbrace{459{,}67}_{\simeq 460}$$
$$T(^\circ F) = 1{,}8\,T(^\circ C) + 32$$

$$\frac{K - 273{,}15}{100} = \frac{^\circ F - 32}{180} = \frac{^\circ C}{100}$$

✓ حجم مخصوص و حجمی:

حجم مخصوص یک ماده بعنوان حجم جرم واحد تعریف و با نماد v نشان داده می‌شود.

حجم مخصوص یک ماده بعنوان جرم حجم واحد تعریف می‌شود و معکوس حجم مخصوص است.

حجم مخصوص با نماد ρ نشان داده می‌شود.

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad \rho : \frac{Kg}{m^3} \ , \ \frac{gr}{cm^3}$$

$$v = \frac{V}{m} \qquad v = \frac{1}{\rho} \quad : \frac{m^3}{Kg} \ , \ \frac{cm^3}{gr}$$

حجم ویژه سیالات با افزایش دما، افزایش می‌یابد (تقریباً) یعنی است از دما $v \propto T$

اما حجم ویژه گازها هم تابعی است از دما و هم تابعی است از فشار $v = F(T,P)$

فشار: مؤلفه قائم نیروی وارد بر سطح ← نیرو

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m.a}{A} = \frac{Kg \times m/s^2}{m^2} = \frac{N}{m^2} = pa$$

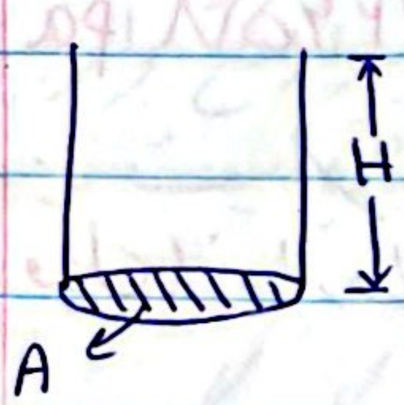
سطح مقطع ←

واحدهای فشار: $pa \ / \ bar \ / \ atm \ / \ psi$

$$1\ atm = 14.7\ psi = 101325\ pa = 101.325\ Kpa = 10.34\ m H_2O$$

$$1\ bar = 10^5\ pa$$

✓ فشار وارد بر سطح مقطع با افزایش ارتفاع زیادتر می‌شود.



$$H \uparrow \rightsquigarrow P \uparrow$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} = \frac{(\rho \times V)g}{A} \qquad \rho = \frac{m}{V} \rightsquigarrow m = \rho \times V$$

حجم مخزن $= A \times h$

$$P = \frac{\rho V g}{A} = \frac{\rho A h g}{A} = \rho g h \Rightarrow P = \rho g h$$

واحد $\rightsquigarrow \frac{kg}{m^3} \times \frac{m}{s^2} \times m = \frac{N}{m^2} = pa$

فشار $\begin{cases} \text{مطلق} \\ \text{نسبی} \end{cases}$

$$P_{Absolute} = P_{gage} + P_{atm}$$

مطلق — نسبی — اتمسفر — با بارومتر اندازه‌گیری می‌شود

مثال) پیستونی به قطر $1cm$ — جرم $6,14\ kg$ را بر روی آن گذاشته‌ایم - در صورتیکه شتاب ثقل محل $9,28\ m/s^2$ باشد، فشار نسبی چقدر خواهد شد؟ چنانچه فشار بارومتر $728\ pa$ باشد، فشار مطلق چقدر است؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{mg}{A} \rightarrow \frac{\pi D^2}{4} \text{ یا } \pi r^2 \quad \frac{6,14 \times 9,28}{\pi \times (0,05)^2 \times 10^{-4}} = 72,058 \times 10^4\ N/m^2$$

$$P_A = P_g + P_{atm} = 72,058 \times 10^4 + 728 = 7206528\ pa$$

مثال) فشار در کف مخزن حاوی بنزین $25^\circ C$ به ارتفاع $7,5m$ چقدر است؟ سطح فوقانی بنزین در معرض فشار اتمسفر $101\ kpa$ قرار دارد. $\rho_{\text{بنزین}} = 750\ \frac{kg}{m^3}$

$$P = \rho g h = ۷۵۰ \frac{kg}{m^۳} \times ۹,۸ \frac{m}{s^۲} \times ۷,۵ m = ۵۵۱۲۵ pa$$
$$= ۵۵,۱۲۵ kpa$$

P درون مخزن $= ۱۰۱ + ۵۵,۱۲۵ = ۱۵۶,۱۲۵ kpa$

مثال) در $۲۷^\circ C$ فشارسنجی جیوه‌ای عدد $۶۰,۵ cm$ را نشان می‌دهد. شتاب ثقل محل $۹,۷۸۴ \frac{m}{s^۲}$ است. این ارتفاع جیوه معادل با چند کیلوپاسکال است؟

at $۲۷^\circ C \rightsquigarrow \rho = ۱۳,۵۳ \ gr/cm^۳$

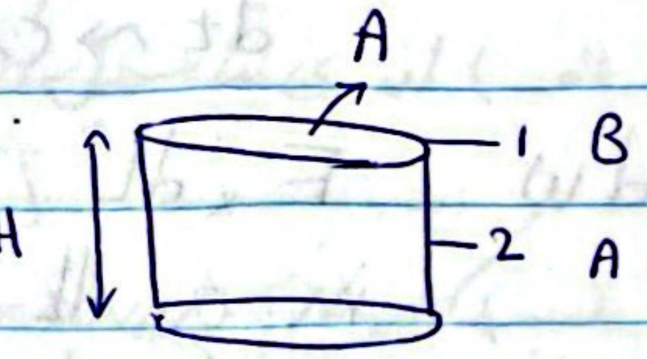
$$P = \rho g h \qquad \rho = ۱۳,۵۳ \frac{gr}{cm^۳} \times \frac{۱ kg}{۱۰^۳ gr} \times \frac{۱۰^۶ cm^۳}{۱ m^۳} = ۱۳۵۳۰ \frac{kg}{m^۳}$$

$$P = ۱۳۵۳۰ \frac{kg}{m^۳} \times ۹,۷۸۴ \frac{m}{s^۲} \times ۰,۶۰۵ m = ۸۰,۰۹ kpa$$

کار:

$$dw = \underline{F} . d\underline{l}$$
کار — نیرو . جابه‌جایی

حاصلضرب نیرو در جابه‌جایی



$$P = \frac{F}{A} \rightsquigarrow F = P \times A$$

$$V = A \times H \rightsquigarrow H = \frac{V}{A}$$

که در این جا تغییر ارتفاع برابر با همان جابه‌جایی است.

$$dw = (P \times A) \times d\frac{V}{A} = P \times A \times \frac{dv}{A} = P dV$$

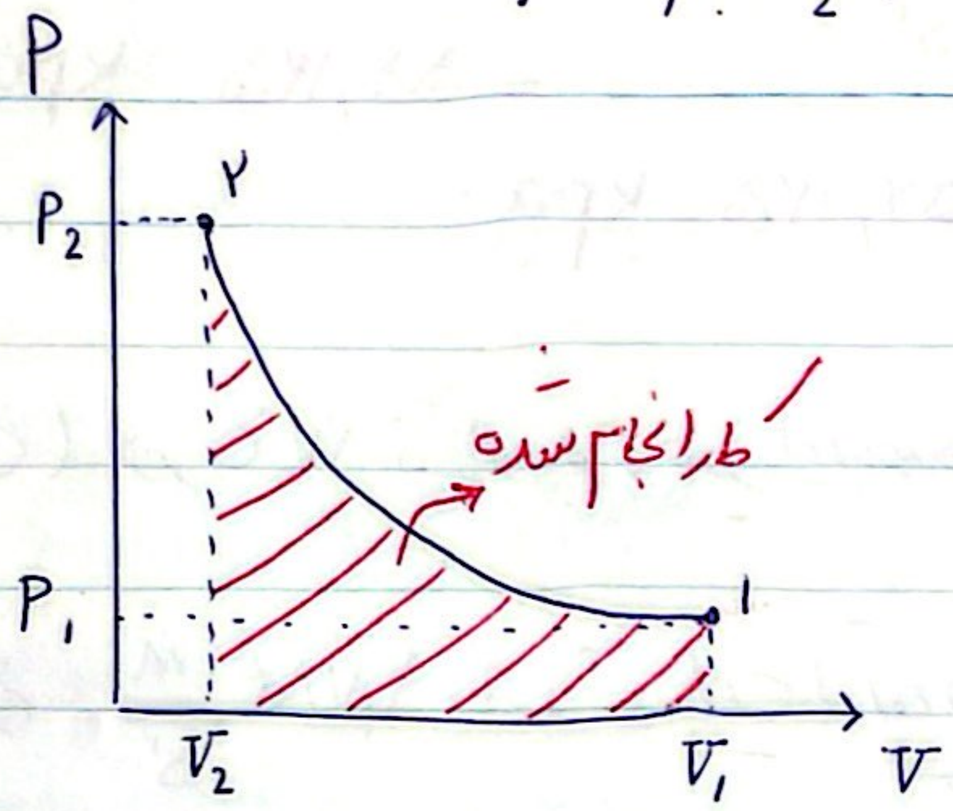
انتگرال‌گیری

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

$V_2 > V_1$ ↳ انبساط

$V_2 < V_1$ ↳ تراکم

جابه جایی می تواند از h_1 به h_2 و یا از h_2 به h_1 باشد.



$V_1 \longrightarrow V_2$

① $\longrightarrow$ ② مقدار کار انجام شده

$$W = \int p\,dV = pa \times m^3 = \frac{N}{m^2} \times m^3 = N \times m = J$$ واحد کار ژول

انرژی: ـ جنبشی E_K ← به سرعت بستگی دارد.

ـ پتانسیل E_p

تغییرات سرعت $a = \frac{du}{dt}$ شتاب

سرعت $u = \frac{dL}{dt}$ ← تغییرات جابه جایی / تغییرات زمان

$$dw = F \times dL$$
$$= m \cdot a \cdot dL$$
$$= m \cdot \frac{du}{dt} \cdot dL = m \cdot \left(\frac{dL}{dt}\right) \cdot du = m \cdot u \cdot du$$
($\frac{dL}{dt} \to u$)

انتگرال گیری از u_1 تا u_2

$$W = E_K = \int_{u_1}^{u_2} m u\,du$$
$$= m \int_{u_1}^{u_2} u \cdot du = m \left(\frac{u^2}{2} \Big|_{u_1}^{u_2} \right) = m \left(\frac{u_2^2 - u_1^2}{2} \right)$$

انرژی جنبشی در یک نقطه $\rightarrow$ $u \rightsquigarrow \boxed{E_K = \frac{1}{2} m u^2}$

$$\text{واحد} \Rightarrow Kg\left(\frac{m}{s}\right)^2 = Kg \times \frac{m}{s^2} \times m = N \times m = J$$

پتانسیل: $\rightarrow$ ارتفاع z

$dw = F.dL \rightsquigarrow$ تغییر ارتفاع

$= mg.dz$

$$W = \int_{z_1}^{z_2} mg.dz \qquad E_p = W = mg(z_2 - z_1)$$

$$\boxed{E_p = mgz}$$

کار انجام شده بر روی جسم برای بالا بردن آن معادل تغییر در انرژی پتانسیل است.

مثال) آسانسوری به جرم $2500\ kg$ در ارتفاع $10\ m$ بالای پایه آسانسور قرار دارد. به ارتفاع $100\ m$ بالای پایه صعود می‌کند. شتاب ثقل $9{,}8\ \frac{m}{s^2}$ است.

الف) انرژی پتانسیل آسانسور را نسبت به پایه در حالت اولیه

$$E_p = mgz_1 = 2500 \times 9{,}8 \times 10 = 245000\ J$$

ب) کار لازم برای بالا بردن آسانسور

$$W = mg(z_2 - z_1) = 2500 \times 9{,}8 \times (100 - 10) = 2205000\ J$$

ج) انرژی پتانسیل آسانسور نسبت به پایه در بالاترین ارتفاع

$$E_p = mgz_2 = 2500 \times 9{,}8 \times 100 = 2450000\ J$$

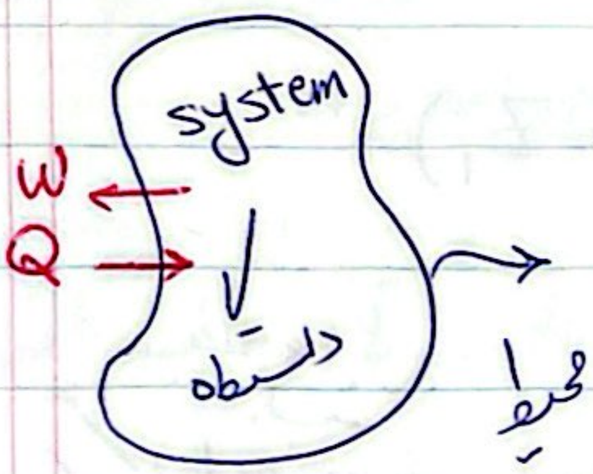
انرژی داخلی (درونی) : U

ناشی از آرایشی که مولکول‌های مواد در کنار یکدیگر می‌گیرند.

- قانون اول ترمودینامیک:

دستگاه: قسمتی که در آن فرایند رخ می‌دهد.

هر چیزی که در دستگاه قرار نگیرد، آن محیط اطلاق می‌شود.



تغییرات انرژی محیط $= \pm Q \pm W$

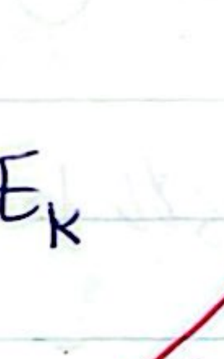
تغییرات انرژی سیستم $= \Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k$

قانون اول ترمودینامیک: مجموع تغییرات انرژی محیط و سیستم صفر است.

$$\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k + (\pm Q \pm W) = 0$$

$$\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k = \pm Q \pm W$$

قرارداد:



$$\rightsquigarrow \Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k = Q - W$$

دستگاه بسته:

تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل صفر است. $\Delta U = Q - W$

J J J

واحد انرژی درونی ژول است (چون واحد کار و گرما هم ژول است)

کمیت‌ها:
- به مسیر بستگی دارند: کار - گرما
- به مسیر بستگی ندارند: تابع حالت: دما T، فشار P، حجم مخصوص v، انرژی داخلی U

اگر کمیت A غیر تابع حالت باشد $\rightsquigarrow \int dA = A$

اگر کمیت A تابع حالت باشد $\rightsquigarrow \int dA = \Delta A$

$$\int_{U_1}^{U_2} dU = U_2 - U_1 = \Delta U \qquad \int_{P_1}^{P_2} dP = P_2 - P_1 = \Delta P$$

$$\int dW = W \qquad \int dQ = Q$$

✓ کمیت‌هایی که تابع حالت نیستند، هنگامیکه انتگرال گیری شوند به تغییر معین را نشان نمی‌دهند بلکه نمایانگر یک کمیت معین هستند.

خاصیت غیر متمرکز: Extensive
- به مقدار ماده بستگی دارد: حجم

خاصیت متمرکز: Intensive
- به مقدار ماده بستگی ندارد: فشار، حجم ویژه، دما

مثال) آب از آبشاری به ارتفاع ۱۰۰ متر جریان دارد. ۱ kg آب را در نظر بگیرید و فرض کنید هیچ انرژی بین این ۱ kg آب و محیطش مبادله نمی شود.

الف) انرژی پتانسیل آب در بالای آبشار نسبت به پایین آن

$$E_p = mgz = 1 \times 9.8 \times 100 = 980\ J$$

ب) انرژی جنبشی آب درست قبل از برخورد به آبشار

$$\text{تغییرات انرژی در دستگاه} = 0 = \Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k = Q - W$$

$$E_{p_1} - E_{p_2} + E_{k_1} - E_{k_2} = 0$$

$$E_{p_1} = E_{k_2} = 980\ J$$

① E_p

② E_k

ج) پس از آنکه ۱ kg آب به رودخانه وارد شود، چه تغییری در حالت آن رخ می دهد؟ تمام انرژی آن به انرژی درونی تبدیل می شود.

مثال) گاز در سیلندری که توسط پیستون محبوس شده است دارای فشار اولیه ۷ bar و حجم m^3 ۱ است. در صورتیکه حجم گاز ۲ برابر حجم اولیه شود و فشار محیط برابر ۱۰۱٫۳ kpa باشد، تغییر انرژی دستگاه چقدر است؟ (شدت مبادله گرما ناچیز است)

$$\Delta U + \Delta E_p + \Delta E_k = Q - W$$

$$\longrightarrow \Delta U = -W \qquad \text{(دستگاه روی محیط کار انجام داده)}$$

$$W = \int p\,dV = p\Delta V = 101.3\,(0.2 - 0.1) = 10.13\ kJ \qquad \Delta U = -10.13\ kJ$$

مثال سری ۳

مثال) ظرفی توسط پیستونی به قطر 8 cm که فنری بر روی آن قرار دارد، محبوس شده است. جرم پیستون و فنر باهم 20 kg است. شتاب گرانش محلی $9.8\ m/s^2$ و فشار جو 101 kpa می باشد.

الف) در صورتیکه از اصطکاک بین سیلندر و پیستون صرف نظر شود، چه نیروی بر حسب نیوتن از طرف جو، پیستون و فنر بر ظرف وارد می شود؟

$$F_1 = mg = 20 \times 9.8 = 196\ (N)$$

$$P = \frac{F_2}{A} \quad 101 \times 10^3 = \frac{F_2}{\frac{\pi (0.08)^2}{4}} \rightarrow F_2 = 507.424\ (N)$$

$$F_{کل} = F_1 + F_2 = 703.424\ (N)$$

ب) فشار ظرف بر حسب kpa چقدر است؟

$$P = \frac{F}{A} = \frac{703.424}{\frac{\pi (0.08)^2}{4}} = 140012.73 = 140.0127\ kpa$$

ج) اگر ظرف داخل سیلندر پر شود منبسط می شود و پیستون و فنر را به طرف بالا می راند در صورتیکه پیستون و فنر به اندازه 30 cm بالا رود، کار انجام شده توسط ظرف بر حسب kJ چقدر است؟ انرژی پتانسیل پیستون و فنر چقدر تغییر می کند؟

$$W = F \Delta L = 703.424 \times 0.3 = 211.0272\ J$$

$$E_p = mgh = 20 \times 9.8 \times 0.3 = 58.8\ J$$

مثال) ماده‌ای یک فرآیند برگشت‌پذیر مطابق راهی می‌شود و در طی آن، از حالت اولیه ۲۰ bar، حالت نهایی 8 bar منبسط می‌شود. مسیر فرآیند توسط معادله $P = \frac{0.036}{V} - 4$ بیان می‌شود که در آن P بر حسب bar و V بر حسب m^3 است. اگر ΔH برای این تغییر حالت $-1400\ J$ باشد، W، Q و ΔH را تعیین کنید.

$$20 = \frac{0.036}{V_1} - 4 \rightarrow V_1 = 0.0015\ m^3$$

$$8 = \frac{0.036}{V_2} - 4 \rightarrow V_2 = 0.003\ m^3$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P\,dV = \int_{V_1}^{V_2} \left(\frac{0.036}{V} - 4\right) dV = 0.036 \ln\frac{V_2}{V_1} - 4(V_2 - V_1)$$

$$= 0.036 \ln\frac{0.003}{0.0015} - 4(0.003 - 0.0015) = 0.1895\ bar \cdot m^3$$

$$0.1895\ bar \times m^3 \times 10^5 \frac{Pa}{bar} = 1895\ J$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$-1400 = Q - 1895$$

$$Q = +495\ J$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV) = \Delta U + (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$

$$-1400 + (8 \times 0.003 - 20 \times 0.0015) \times 10^5$$

$$\Delta H = -2000\ J$$

مثال) یک فشارسنج جیوه‌ای در یک طرف آن در معرض هواست در دمای $20^\circ C$ عدد $28.72\ cm$ را نشان می‌دهد. فشار جو $99.24\ kPa$ است. اگر فشار مطلق اندازه‌گیری شده $150.6 \times 10^3\ Pa$ باشد، فشار پمانی در آن محل چقدر بوده است؟

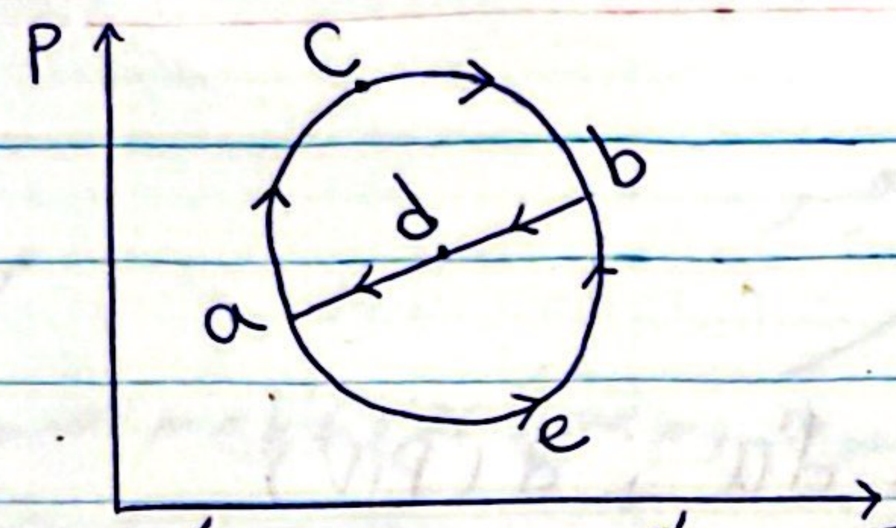
$$P_{مطلق} = P_g + P_{atm}$$

$$150.6 \times 10^3 = P_g + 99.24 \times 10^3$$

$$P_g = 51.36 \times 10^3\ Pa = \rho \times g \times 0.2872$$

$$\rho = 13.56 \times 10^3\ kg/m^3 \quad g = 9.79\ m/s^2$$

مثال)



هنگامیه دستگاه از a به b در مسیر acb در نظر گرفته شود، ۱۰۰ ژول گرما به دستگاه انتقال می یابد و دستگاه مقدار ۴۰ ژول کار انجام می دهد. حیه مقدار گرما به دستگاه در مسیر aeb انتقال می یابد در صورتیکه کار انجام شده توسیله دستگاه برابر ۲۰ ژول باشد؟

دستگاه از حالت b به حالت a در مسیر bda مراجعت می نماید. در صورتیکه کار انجام شده بروی دستگاه برابر ۳۰ ژول باشد، آیا دستگاه گرما جذب می نماید و یا گرما می دهد؟ مقدار آن چقدر است؟

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U_{acb} = 100 - 40 = 60\ j$$

$$\Delta U_{acb} = \Delta U_{aeb}$$

$$\Delta U_{aeb} = Q_{aeb} - W_{aeb}$$

$$60 = Q_{aeb} - 20 \rightarrow Q_{aeb} = 80\ j$$

$$\Delta U_{bda} = -\Delta U_{aeb} = -60$$

$$-60 = Q - (-30) \rightarrow Q = -90\ j$$

گرما از دستگاه می دهد

آنتالپی H:

$$H = U + PV$$

انرژی درونی ← نشار ← حجم

ژ ژ ژ

H تابع حالت ⇝ $\begin{cases} U \\ P \\ V \end{cases}$ تابع حالت

$\int dA = \Delta A$ تابع حالت

$$dH = dU + d(PV)$$

$$\Delta H = \Delta U + \Delta(PV)$$

مثال) محاسبه نمائید تغییر انرژی داخلی و تغییر آنتالپی را برای 1kg آب $1/2 \frac{m^3}{kg}$ هنگامیکه در دمای ثابت $100^\circ C$ و فشار ثابت $101,33\ kpa$ تبخیر می‌شود. حجم ویژه مایع آب و بخار آب در این شرایط برابر $0,00104 \frac{m^3}{kg}$ و $1,673 \frac{m^3}{kg}$ است. برای این تبخیر مقدار $2256,9\ kj$ گرما به آب اضافه می‌شود.

$H = U + PV$ (0.5)

$\Delta U = Q - W$ (0.25) $\quad W = P\Delta V = 101,33\,(1,673 - 0,00104) = 169,4\ kj$ (0.25)

$\Delta U = 2256,9 - 169,4 = 2087,5\ kj$ (0.25)

$\Delta H = \Delta U + P\Delta V$ (0.25)

$= 2087,5 + 169,4 = 2256,9\ kj$ (0.25)

فرایندهای حالت پایدار: Steady - State

تغییرات پارامترها نسبت به زمان صفر است.

$$\frac{\partial(\text{پارامترها})}{\partial t} = 0$$

مثال ۱۱: ظرفی سه لیتری حاوی ۳ کیلوگرم بخار آب است که توسط شیری به محیط خارج متصل است. شیر را باز می‌کنیم تا مقداری از بخار آب خارج شود. در حین خروج بخار آب، گرما به آن داده می‌شود تا فشار داخل ظرف ثابت بماند. اگر در پایان فرایند، دمای داخل ظرف $200^\circ C$ باشد، مقدار گرمای داده شده را محاسبه کنید.

تعادل:

= به معنی شرایط سکون و عدم تغییر

در ترمودینامیک: ۱- تنها به معنی عدم تغییر بلکه به معنی عدم تمایل به تغییر درون سیستم

فضایل ماکروسکوپیک

هر تمایلی برای تغییر به سبب نیرو محرکه ای ایجاد شده است. عدم چنین تمایلی مبین عدم وجود هر نیروی محرکه ای است.

یا

۲- دستگاه در حال تعادل ← دستگاهی که در آن تمامی نیروها در توازن کامل هستند.

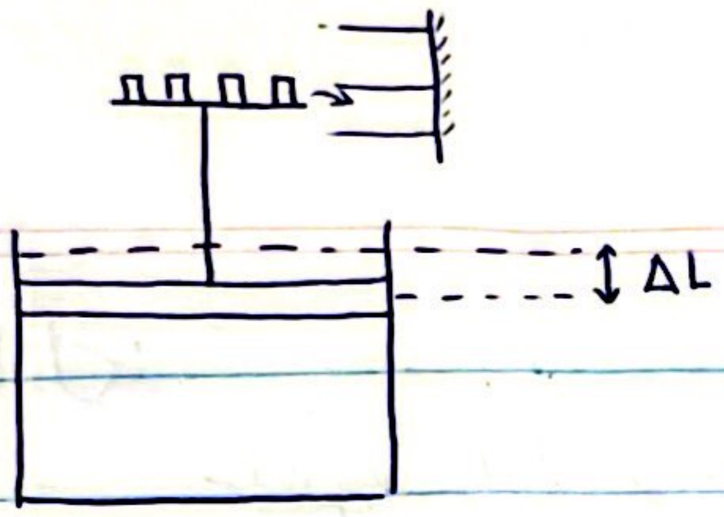
✓ انواع مختلف نیرو محرکه سبب انواع مختلف تغییرات می شوند: اختلاف دما ← جریان گرما

فشار بر روی یک پیستون سبب انتقال انرژی بصورت کار می شود.

۳- فرایند برگشت پذیر: reversible

✓ یک فرایند زمانی برگشت پذیر است که بتوان جهتش را در هر نقطه ای بوسیله یک تغییر بسیار جزئی در شرایط خارجی معکوس نمود.

برای بررسی فرایند برگشت پذیر: انبساط ساده یک گاز در یک سیلندر مجهز به پیستون



را بررسی می کنیم.

دستگاه: جاز محبوس در سیلندر

فرآیند: انبساط زمانی حاصل می شود که وزنه از روی پیستون برداشته شود.

فرضیات: پیستون بدون اصطکاک در داخل سیلندر می لغزد - پیستون و سیلندر نسبت به محیط خارج بی دررو هستند و به آن انتقال می دهند - جرم مجموعی جاز در سیلندر ثابت و جرم جاز نشتی ندارد.

- اثرات جاذبه بر محتویات سیلندر ناچیز است.

✓ وزنه ای ناگهان از روی پیستون برداشته می شود، پیستون و ملحقاتش به طرف بالا شتاب یافته و نوسان می کند و دامنه نوسانات بتدریج کاهش یافته و در نهایت در یک موقعیت تعادلی جدید به حال سکون در می آید.

در برداشتن ناگهانی وزنه از پیستون، نیروهای نامتعادل حاصل که بر روی پیستون اعمال می شوند سبب شتاب آن شده و منتهی به نوسان بعدیش می شود.

برداشتن ناگهانی وزنه کوچکتر، این اثر را تا بدین نمی کند بلکه آن را کاهش می دهد حتی برداشتن وزنه ای بسیار سبک سبب نوسانات پیستون با دامنه بسیار کوچک شده و چنین اثری را بوجود می آورد.

وزنه های بسیار کوچک یکی پس از دیگری باشدتی که بالا رفتن پیستون ادامه یابد برداشته شده و نوسان فقط در انتهای فرآیند صورت می گیرد.

اگر وزنه ها بر سیلندی گیره ای بودند جابجا شوند - در جریانی بسیار نرم (توسط دیدن) جدا شوند پیستون به طور یکنواخت اما با سرعت کم بالا می رود - دستگاه هیچگاه بیش از اندکی از تعادل داخلی و یا از تعادل با محیطش خارج نمی شود - اگر جهت انتقال برگشت شود ← فرآیند جهتش معکوس شده و در مسیر اولیه به عقب باز می گردد ← برگشت پذیر

✓ فرآیند برگشت پذیر از این نظر که هیچ گاه کاملاً مشاهده نمی شود ایده آل می باشد و معرف حدی است برای عملیات فرآیندهای حقیقی.

مثال) در یک سیلندر مجهز به پیستون، پیستون در سیلندر با اصطکاک ناچیزی می لغزد و یک نیروی خارجی آن را در موازنه با فشار یک گاز داخل سیلندر به مقدار ۱۴ bar نگه می دارد. حجم اولیه گاز $0.03\ m^3$ است. فشار خارجی بر روی پیستون تدریجاً کاهش یافته تا گاز به ۲ برابر حجم اولیه اش منبسط شود. تحت این شرایط حجم گاز به فشاری بستگی دارد که حاصلضرب فشار در حجم ثابت است بر روی می کردد. محاسبه کنید کار انجام شده برای حرکت نیروی خارجی؟ هم مقدار کار انجام می گیرد در صورتیکه نیروی خارجی بجای تدریجی ناگهان به نصف مقدار اولیه اش کاهش یابد؟

$PV = K \rightsquigarrow$ ثابت $\qquad K = 14 \times 10^5 \times 0.03 = 42000\ j$

$P_1V_1 = P_2V_2 = K \qquad PV = K \rightsquigarrow P = K/V$

$V_2 = 2V_1 = 2 \times 0.03 = 0.06\ m^3$

$$W = \int P\,dV = \int K\frac{dV}{V} = K \ln \frac{V_2}{V_1} = 42000 \ln \frac{0.06}{0.03} = 29112\ j$$

$$P_2 = \frac{K}{V_2} = \frac{42000}{0.06} = 700000\ pa = 7\ bar$$

$P_2 = 7$ bar (ب

دستگاه بین شرایط تعادل مشابه حالت نهایی حاصل در

فرآیند برگشت پذیر راحت می کند. پس تغییر حجم قبل بوده و کار

$$W = 7\times10^{5} \times (\%6 - \%3) = 21000^{0.25} \quad]^{0.25}$$

فرآیند حجم ثابت و فشار ثابت:

در سیستمی که $\Delta E_p = \Delta E_K = 0$ است $\Delta U = Q - W$

برای یک مول ماده یا گرم ماده $dU = dQ - dw$ ← خاصیتی غیر متغیر نیز

برای n مول ماده $d(nU) = dQ - dw$ ← مقدار ماده بستگی دارد

Q و W همیشه بسته به مسیر طی کردن فرایند خواهند بود. حال مقدار مول ها هر چقدر که باشد.

برای یک فرآیند ساکن برگشت پذیر

$$dw = P\,d(nV)$$
$$\longrightarrow d(nU) = dQ - P\,d(nV)$$
$$\xrightarrow{V=cte} d(nU) = dQ$$
$$\xrightarrow{\int} Q = n\Delta U$$

در فرآیند حجم ثابت

✓ برای یک فرآیند ساکن حجم ثابت برگشت پذیر و مطابقی، گرمای انتقال یافته معادل تغییر انرژی داخلی دستگاه است.

$$H = U + PV$$
$$nH = nU + P(nV)$$
$$d(nH) = d(nU) + P\,d(nV) + (nV)\,dP$$ تغییر بسیار جزئی

$P=cte \longrightarrow d(nH) = \underbrace{d(nU) + Pd(nV)}_{dQ}$

در فرآیند فشار ثابت $Q = n\Delta H$

✓ برای یک فرآیند سامانه بسته تبادل مکانیکی در فشار ثابت، انتقال گرما معادل تغییر آنتالپی دستگاه می باشد.

ظرفیت گرمایی: مقدار گرمایی که به یک مول ماده داده می شود تا دمای آن یک درجه سانتی گراد افزایش پیدا کند.

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

$$C_P = \left(\frac{dH}{dT}\right)_P \rightsquigarrow \text{در فشار ثابت}$$

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V \rightsquigarrow \text{در حجم ثابت}$$

$$C_P = \left(\frac{dH}{dT}\right)_P \rightsquigarrow dH = C_P dT \Rightarrow \Delta H = \int_{T_1}^{T_2} C_P dT$$

$$C_V = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V \rightsquigarrow dU = C_V dT \Rightarrow \Delta U = \int_{T_1}^{T_2} C_V dT$$

✓ کار به طور کلی فقط برای یک فرآیند حجم ثابت صفر است.

✓ یک گاز ایده آل گازی است که برای آن $\frac{PV}{T}$ بدون توجه به تغییر آنش مقدار ثابتی است. یک چنین گازی دارای حجمی برابر $0.02271 \frac{m^3}{mol}$ در صفر درجه سانتی گراد و 1 bar است.

$$C_V = \frac{3}{2}R \qquad C_P = \frac{5}{2}R \qquad R = 8.314 \frac{J}{mol.K}$$

$$C_V = ۲۰,۷۸۵ \quad , \quad C_P = ۲۹,۰۹۹ \ \frac{J}{mol.K}$$

هوا ابتدا در 1 bar و 25°C و به 5 bar در 25°C توسط دو فرایند مرکب متفاوت پذیر مکانیکی مختلف متداکم می‌شود. گرما، کار و تغییرات انرژی داخلی و انتالپی هوا را برای هر مسیر محاسبه کنید؟

الف) سرد کردن در فشار ثابت و سپس گرم کردن در حجم ثابت

انتهایی	الف	ابتدا	
5 bar	1 bar	1 bar	1 bar
$T_3 = ۲۵°C$	T_2	۲۵°C	0 °C
$V_3 = V_2$	V_2	$V_1 = ?$	٪۲۲۷۱ $\frac{m^3}{mol}$

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} \overset{0.25}{=} \frac{P_1 V_1}{T_1} \qquad V_1 = \frac{V_0 \times T_1}{T_0} \overset{0.25}{=} ٪۰,۲۲۷۹ \ m^3$$

طولانی

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} \overset{0.25}{=} \frac{P_3 V_3}{T_3} \qquad \overset{0.25}{V_3 = V_2} = \frac{P_1 V_1}{P_3} \overset{0.25}{=} ٪۰۰۲۹۵۸ \ m^3$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} \overset{0.25}{=} \frac{P_2 V_2}{T_2} \longrightarrow T_2 = \frac{T_1 V_2}{V_1} = \surd 0.25$$

در فشار ثابت $Q = \Delta H = C_P \Delta T = C_P (T_2 - T_1) \overset{0.25}{=} -6941$

$\Delta H = \Delta U + \Delta (PV) \overset{0.5}{}$

$\Delta U = \Delta H - P\Delta V = -۴۹۵۸ \overset{0.25}{}$

در حجم ثابت $Q = \Delta U = C_V \Delta T = C_V (T_3 - T_2) \overset{0.25}{=} ۴۹۵۸ J$

$W = 0 = P\Delta V$

ب) گرم کردن در حجم ثابت و سپس سرد کردن در فشار ثابت

10

اولیه	ثانویه
1 bar	5 bar
T_1	T_2
$V_1 \rightarrow 0.2459\ m^3$	$V_2 = V_1$

اولیه	ثانویه
1 bar	5 bar
0 °C	$T_3 = 25$ °C
$0.22471 \frac{m^3}{mol}$	V_3

$$\frac{P_2 V_2}{T_2} = \frac{P_0 V_0}{T_0} \longrightarrow T_2 = 1490\ K$$

گاز کامل: $W = \int p dV = 0$ $\quad Q = \Delta U = C_V \Delta T = C_V (T_2 - T_1) =$

فشار ثابت: $Q = \Delta H = C_p \Delta T = C_p (T_3 - T_2) =$

$\Delta U = \Delta H - \Delta(PV) =$

$W = \int p dV = P \Delta V = P (V_3 - V_2) =$

مثال) انرژی داخلی آب مایع در دمای 100 °C و فشار 1 bar برابر با $419 \frac{kj}{kg}$ و حجم ویژه آن برابر با $1.044 \frac{cm^3}{gr}$ است. الف) آنتالپی آن چقدر است؟

$H = U + PV$

$$1.044 \frac{cm^3}{gr} \times \frac{10^3\ gr}{kg} \times \frac{1\ m^3}{10^6\ cm^3} = 1.044 \times 10^{-3} \frac{m^3}{kg}$$

$$PV = 10^5 \times 1.044 \times 10^{-3} = 1.044 \times 10^2 \frac{J}{kg}$$

$$\frac{kg \cdot \frac{m}{s^2}}{m^2} \times \frac{m^3}{kg} = \frac{N \cdot m}{kg} = \frac{J}{kg}$$

$$\frac{1.044 \times 10^2}{10^3} = 0.1044 \frac{kj}{kg}$$

$$H = 419 + 0.1044 = 419.1044 \frac{kj}{kg}$$

مثال) در دمای 200°C و فشار 800 kPa آب به حالت بخار درمی‌آید که در آن انتالپی برابر با $2838.6 \frac{kJ}{kg}$ و حجم ویژه آن $260.79 \frac{cm^3}{gr}$ است. ΔU و ΔH فرایند را حساب کنید.

$$H = 2838.6 \frac{kJ}{kg}$$

$$v = 260.79 \frac{cm^3}{gr} \times \frac{10^3 gr}{1 kg} \times \frac{1 m^3}{10^6 cm^3} = 0.26079 \frac{m^3}{kg}$$

$$Pv = 800 \times 10^3 \times 0.26079 = 208542 \times 10^5 \frac{J}{kg} \div 10^3 = 2085.42 \frac{kJ}{kg}$$

$$U = H - Pv = 2838.6 - 2085.42 \simeq 2630 \ kJ/kg$$

$$\Delta U = 2630 - 419 = 2211 \ kJ/kg$$

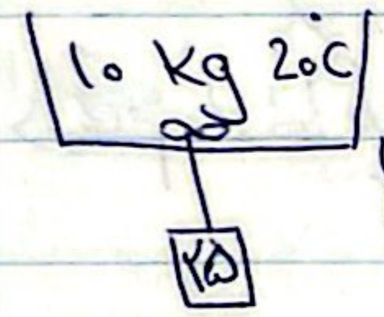
$$\Delta H = 2838.6 - 419.1 = 2419.5 \ kJ/kg$$

مثال) ظرفی عایق و صلب حاوی 10 کیلوگرم آب 20°C پر شده است. این ظرف به همزنی مجهز شده است. همزن توسط نیروی گرانشی که بر وزنه‌ای به جرم 25 کیلوگرم ← وارد می‌شود، کار منتقل می‌شود. W و ΔU فرایند را حساب کنید؟

مسیری که گاز در طی یک فرایند برگشت‌پذیر طی می‌کند توسط معادله $P + aV = C$ داده می‌شود که در آن a و C مقدار ثابتی است. در شرایط اولیه $P_1 = 60 \ bar$, $V_1 = 0.002 \ m^3$ و در شرایط نهایی $P_2 = 20 \ bar$ و $V_2 = 0.009 \ m^3$ است. در طی این فرایند 5000 J گرما به گاز منتقل می‌شود. W و ΔU فرایند را حساب کنید؟

11

← وارد می‌شود. می‌خواهد برای ۳ جرعه برای ۳ جرعه خنک در اوردن همدان، ورزش ۳ هفتگی فاصله ۱۰ متری را طی می‌کند. با فرض اینکه کل کار انجام شده بر روی ورزش ۳ آب صرف شود و شتاب برآیند نیروی ثقل $9.8 \frac{m}{s^2}$ باشد، تعیین کنید؟



الف) مقدار کار انجام شده بر روی آب

$$W = \Delta E_p = \Delta(mgz) = mg\Delta z = ۲۵ \times ۹.۸ \times ۱۰ = ۲۴۵۰ J$$

کار انجام شده بر روی آب

هر گاه آب را به عنوان یک sys در نظر بگیریم $W = -۲۴۵۰ J$ خواهد بود.

ب) تغییر انرژی داخلی آب

$$\Delta U = \cancel{Q} - W = -W = -(-۲۴۵۰) = +۲۴۵۰ J$$

ج) دمای نهایی آب

$$H = U + PV \qquad dH = dU + PdV + VdP$$

$$\xrightarrow{P=cte} dH = dU + PdV$$

$$C_p dT = dU + PdV \xrightarrow{dV = \text{ناچیز}}$$

$$C_p dT = dU$$

$$m C_p (t_2 - t_1) = \Delta U = ۲۴۵۰ \qquad t_2 = t_1 + \frac{۲۴۵۰}{m C_p} = ۲۰.۶ ^\circ C$$

$m \to ۱۰ \quad C_p \to ۴۱۸۰ \quad t_1 \to ۲۰$

د) مقدار گرمایی که باید از آب گرفته شود تا به دمای اولیه خود برسد.

$$\Delta U = ۰$$

$$Q = W = -۲۴۵۰ J$$

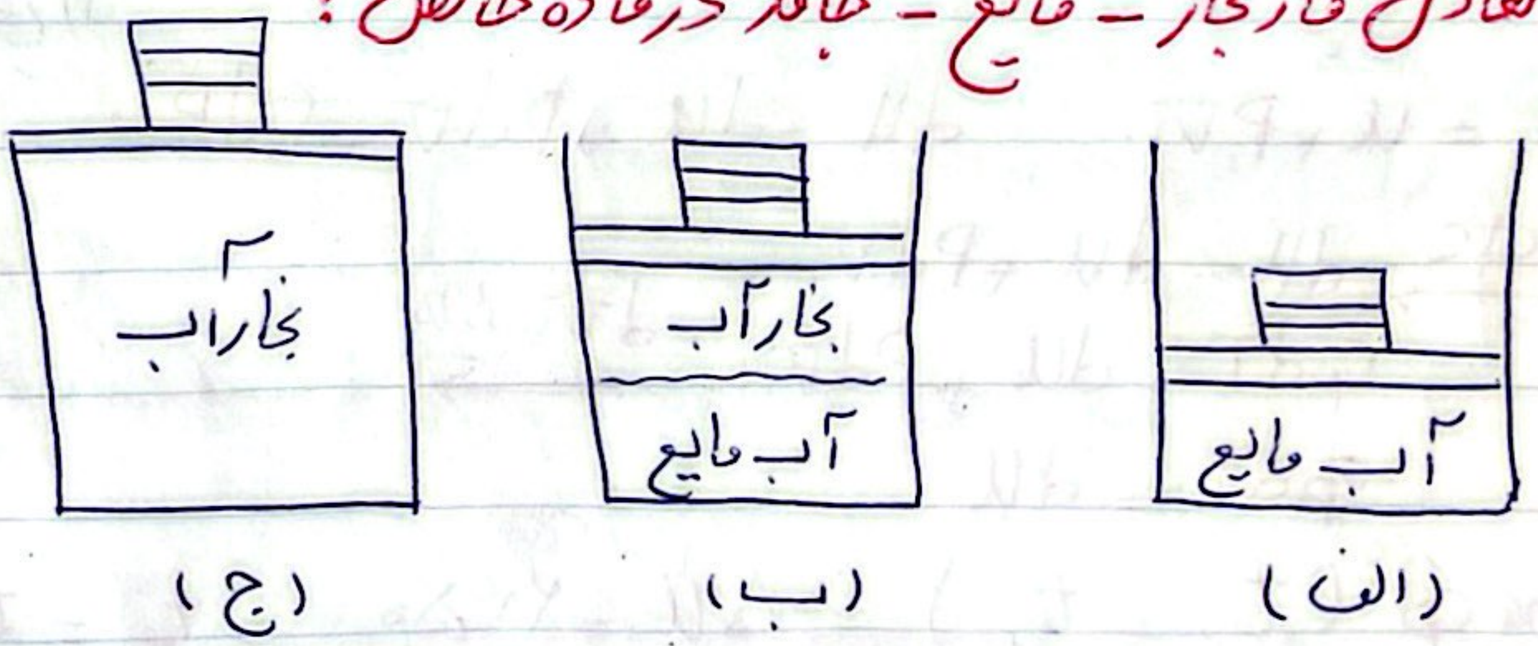
هـ) تغییر انرژی جهان را در اثر (۱) فرایند بالا، (۲) فرایند سرمایش آب تا دمای اولیه آن و (۳) ۲ فرایند با هم انجام بگیرند. در تمام حالات $\Delta E_{\text{جهان}} = ۰$ است.

خواص ماده خالص:

ماده خالص آن است که ترکیب شیمیایی همگن و نامتغیری دارد.

ماده خالص می تواند در بیش از یک فاز وجود داشته باشد، اما ترکیب شیمیایی آن در تمام فازها یکسان است. لذا، آب مایع، مخلوط آب مایع و بخار آب، و مخلوط یخ و آب مایع از مواد خالص اند، و ترکیب شیمیایی تمام این فازها یکسان است. ولی، مخلوط هوا و مایع و هوای مایع و هوای گازی یک ماده خالص نیست زیرا ترکیب فاز و مایع هوا با ترکیب فاز بخار آن یکسان نیست.

تعادل فاز بخار - مایع - جامد در ماده خالص:



(ج) (ب) (الف)

سیستم سیلندر پیستونی حاوی 1kg، 1 آب را در نظر بگیرید (الف) فرض کنید پیستون و وزنه های روی آن، فشار 0.1 MPa را در سیلندر حفظ می کنند و دمای اولیه 20°C است. با انتقال گرما به آب دمای آن به طور قابل توجه، و حجم مخصوص آن قدری افزایش می یابد و فشار ثابت می ماند. وقتی دما به 99.6°C می رسد، انتقال گرمای بیشتر باعث تغییر فاز می شود (ب). یعنی مقداری مایع به بخار تبدیل می شود و دما و فشار در این فرآیند ثابت می مانند، اما حجم مخصوص به طور قابل توجه افزایش می یابد. با تبخیر آخرین قطره مایع، انتقال گرمای بیشتر باعث افزایش دما و حجم مخصوص بخار می شود (ج)

✓ دمایی که در آن، در فشار معینی، تبخیر روی می دهد دمای اشباع و فشار داده شده را فشار اشباع برای دمای مذکور می گویند.

(در این مثال فشار اشباع آب در $99,6^{\circ}C$ مساوی $0,1\ MPa$ و دمای اشباع آب در $0,1\ MPa$ مساوی $99,6^{\circ}C$ است)

برای مواد خالص، رابطه معینی بین فشار اشباع و دمای اشباع وجود دارد.

✓ اگر ماده‌ای در دما و فشار اشباع به صورت مایع باشد، آن را مایع اشباع می گویند.

اگر دمای مایع کمتر از دمای اشباع متناظر با فشار موجود باشد آن را مایع فروسرد می گویند (یعنی دمای آن کمتر از دمای اشباع متناظر با فشار داده شده است) یا آن را مایع متراکم می گویند (یعنی، فشار آن بیشتر از فشار اشباع متناظر با دمای داده شده است)

✓ وقتی قسمتی از ماده به صورت مایع و قسمتی به صورت بخار در دمای اشباع است، کیفیت آن به عنوان نسبت جرم بخار به جرم کل تعریف می شود.

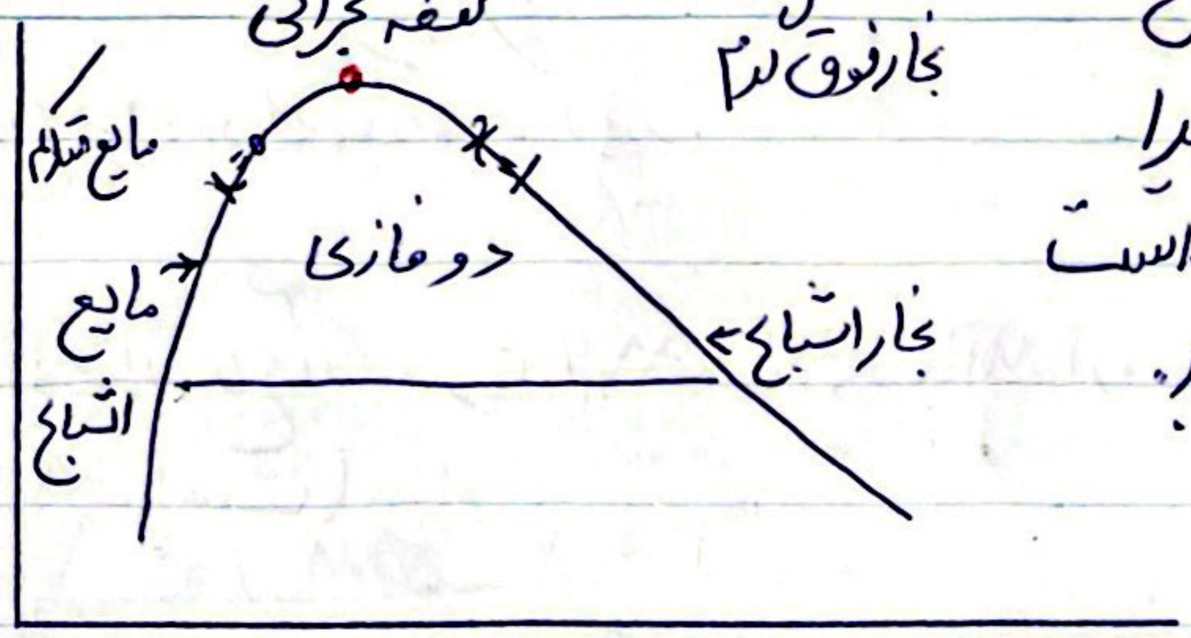
کیفیت $= x \Rightarrow$ جرم مایع $0,8\ kg$ ، جرم بخار $0,2\ kg$

کیفیت $= 0,2$ یا 20%

✓ کیفیت فقط وقتی معنی دارد که ماده در حالت اشباع، یعنی در فشار و دمای اشباع باشد.

✓ اگر ماده‌ای در دمای اشباع به صورت بخار باشد آن را بخار اشباع می گویند.

✓ اگر بخار در دمای بیشتر از دمای اشباع باشد، آن را بخار فوق گرم می گویند. فشار و دمای بخار فوق گرم خواص مستقل زیادی هستند زیرا در حالیکه فشار ثابت است دما می تواند افزایش یابد.



ادامه در صفحه رویی

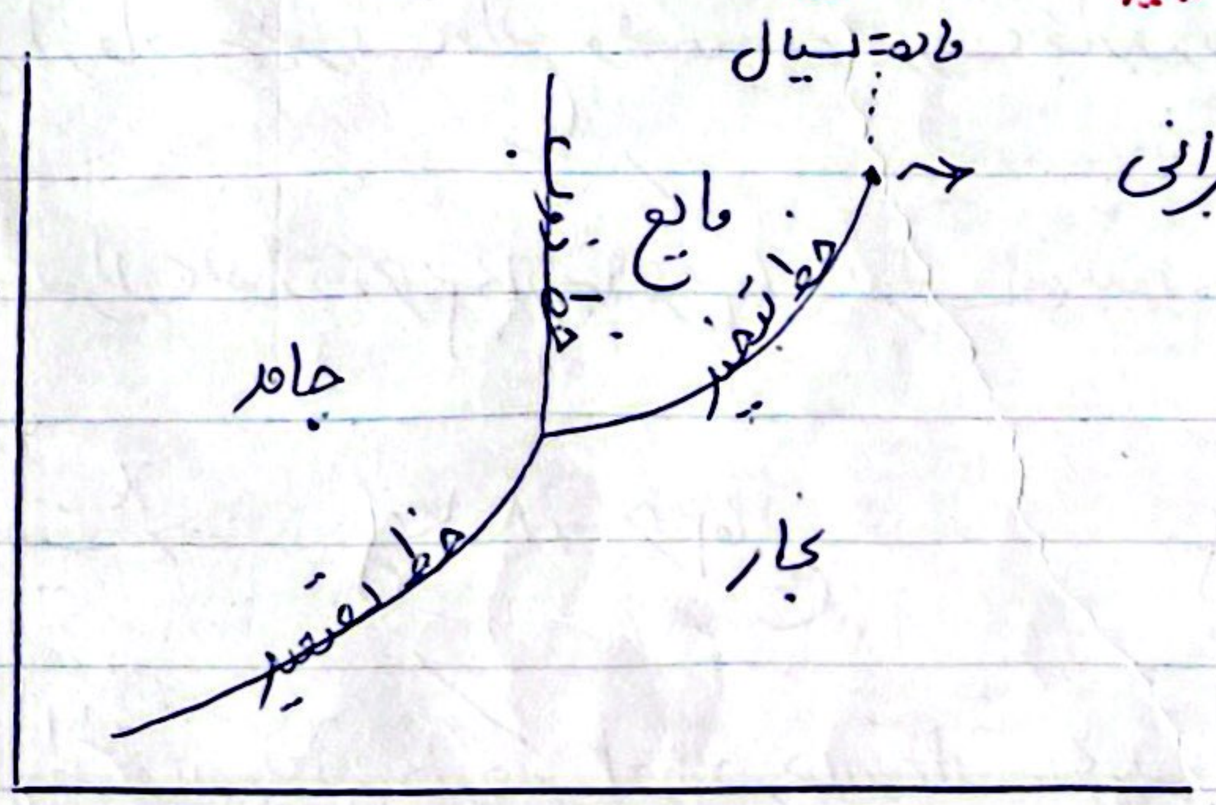
✓ در نقطه بحرانی، حالت های مایع اشباع و بخار اشباع یکسانند.

اشباع P و T

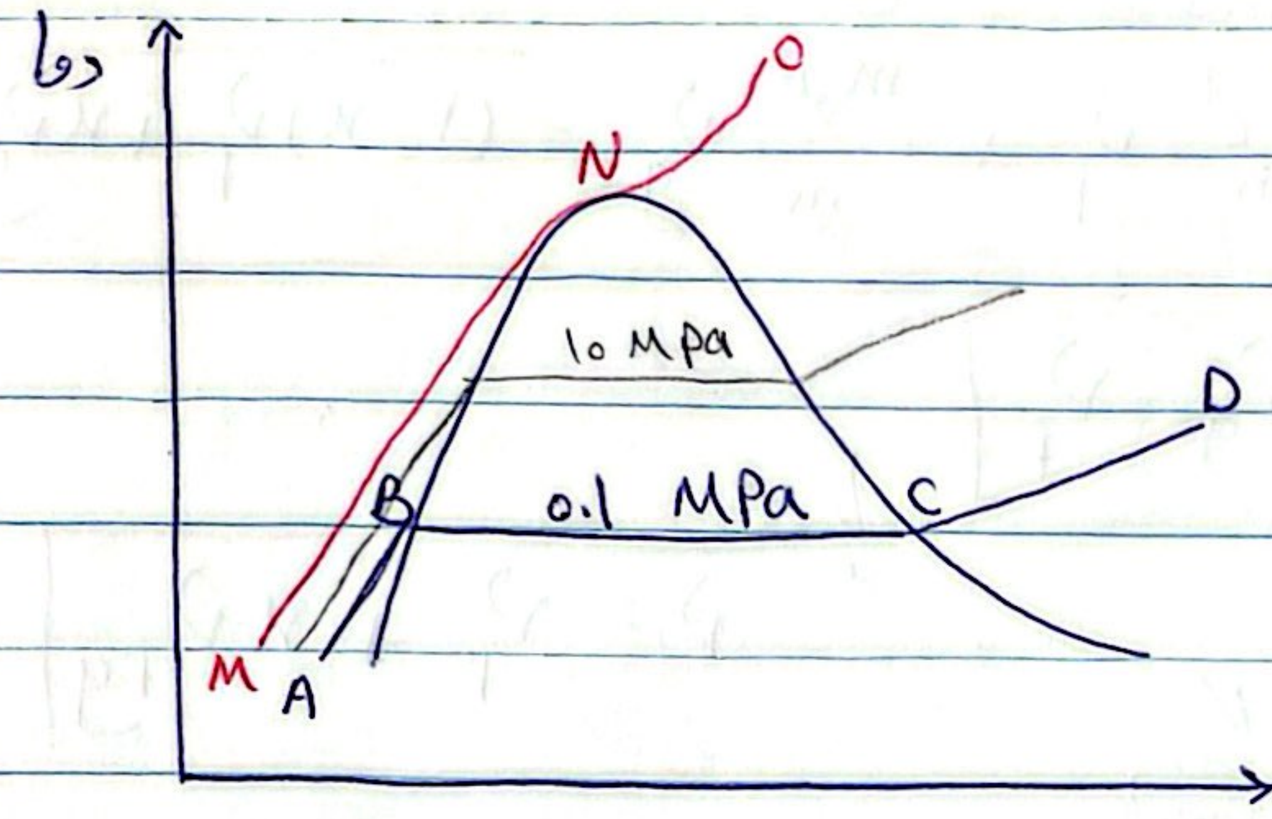
مایع متراکم → { اشباع $T < T$ / اشباع $P > P$ } ویا

بخار فوق گرم → اشباع $T > T$

ماده را تحت سیال می گوییم نه بخار و نه مایع ← اشباع $P > P$



در واقع مولدی که از آن برای تأمین بخارهای بسیار فوق گرم هستند



منحنی فشار ثابت را رسم می کنیم. این منحنی حالت هایی که آب هنگام گرم شدن از حالت اولیه 0.1 MPa و 20°C از آن ها می گذرد را نشان می دهد.

A → حالت اولیه B → 99,6°C حالت مایع اشباع

خط AB ← فرآیندی که در آن مایع از دمای اولیه تا دمای اشباع گرم می شود.

حالت بخار اشباع ← C

خط BC ← فرآیند دما ثابتی است که در آن تغییر فاز از مایع به بخار روی می دهد

خط CD ← فرآیندی که در آن بخار آب در فشار ثابت فوق گرم می شود.

خط MNO ← فرآیند تبخیر دما - ثابت روی نمی دهد.

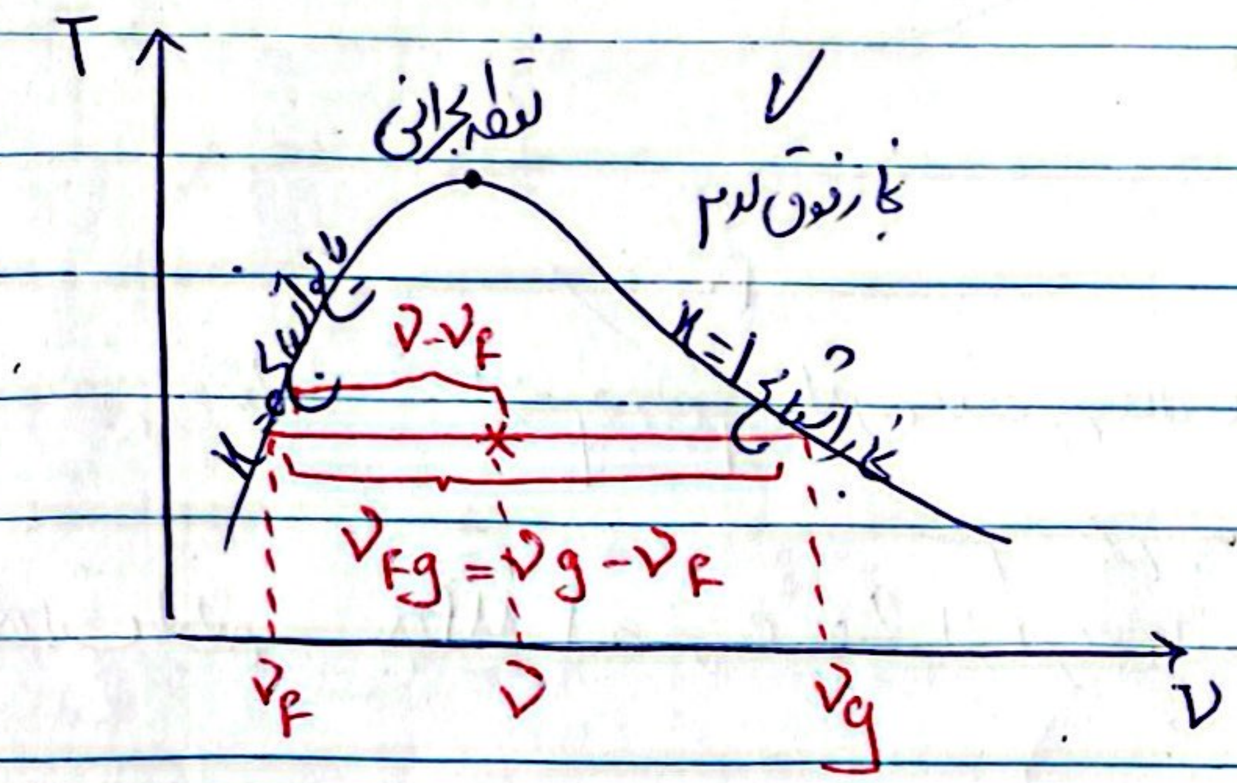
نقطه N یک نقطه عطف با شیب صفر است و آن را نقطه بحرانی می گویند. در نقطه بحرانی، حالت های مایع اشباع و بخار اشباع یکسان اند.

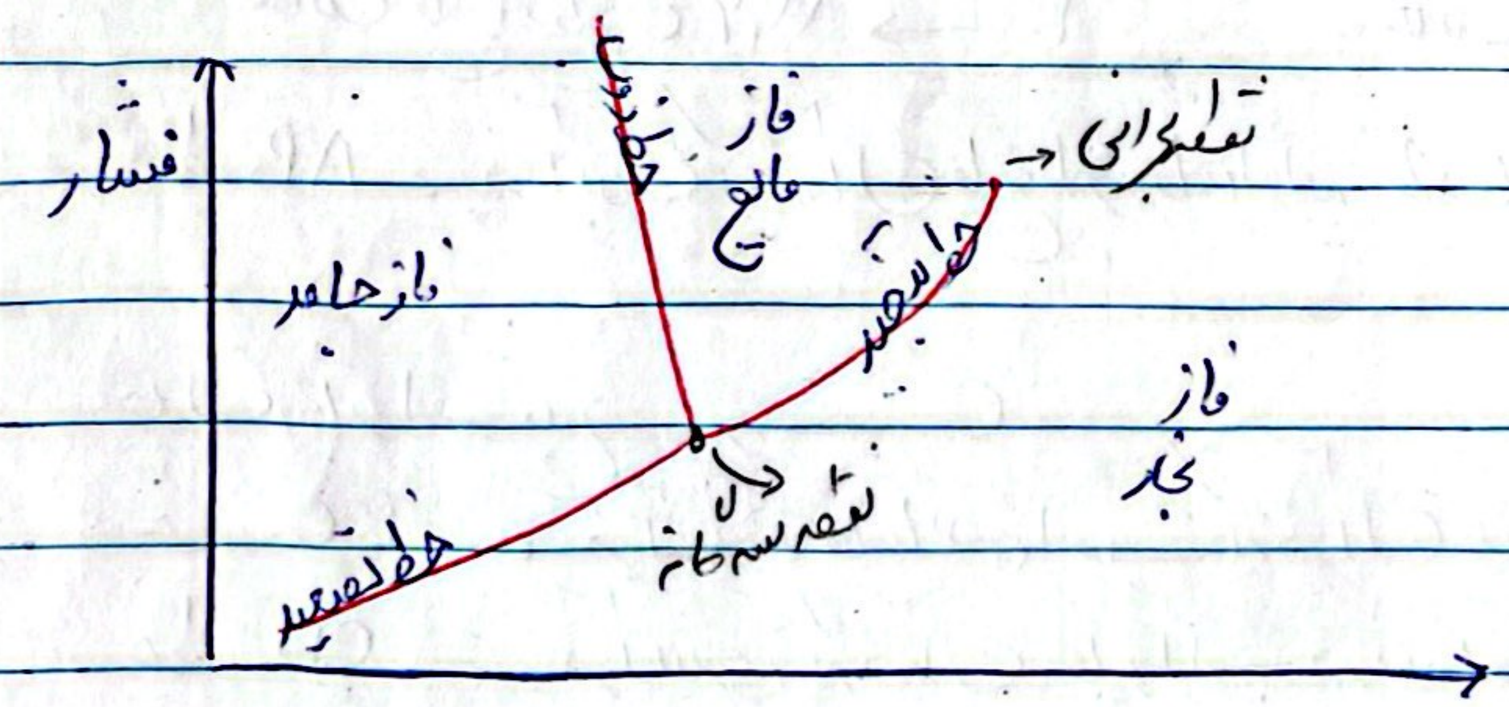
$$V = V_{\text{مایع}} + V_{\text{بخار}} = m_{\text{مایع}} v_f + m_{\text{بخار}} v_g \quad \div m$$

$$v \text{ (حجم مخصوص)} = \frac{V}{m} = \frac{m_{\text{مایع}}}{m} v_f + \frac{m_{\text{بخار}}}{m} v_g = (1-x)v_f + x v_g$$

$$v_{fg} = v_g - v_f$$

$$v = v_f + x v_{fg}$$





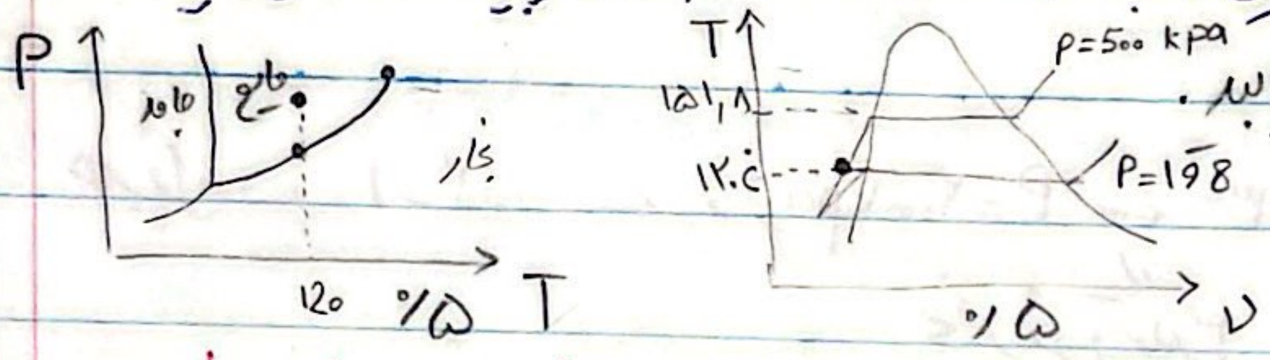
خواص متقل ماده خالص

حالت یک ماده خالص تراکم‌پذیر ساده توسط ۲ خاصیت متقل تعریف می‌شود.

در حالت اشباع، فشار و دما خواص متقل نیستند.

برای تعیین حالت اشباع یک ماده خالص، ۲ خاصیت متقل مانند فشار و حجم مخصوص یا فشار و کیفیت نیازند.

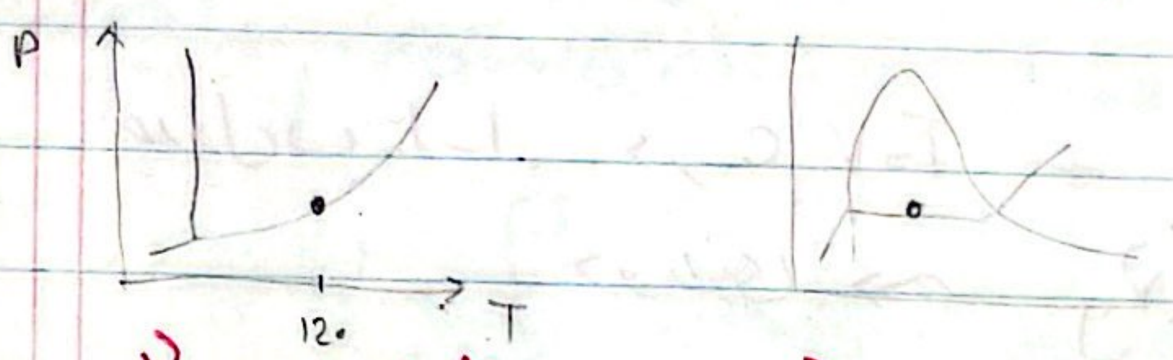
مثال) فاز هرکدام از حالت‌های زیر را برای آب با استفاده از جداول پیوست بیابید و مکان آن را



در نمودار P-T و T-v بیابید.

• الف) 500 kpa ، 120 °C

جدول ب-۱-۱- در T=120°C ، $P = 198{,}5^{\%5}_{\%5}$ kPa چون فشار از فشار اشباع بیشتر است ← مایع متراکم

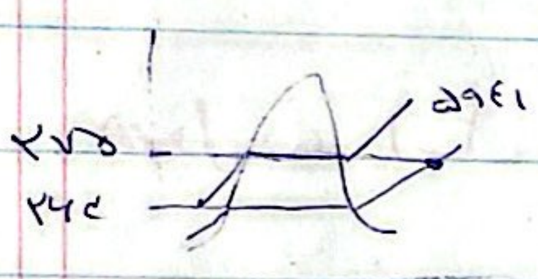


ب) 120 °C ، 0/5 m^3/kg

جدول ب-۱-۱. $v_f = 0{,}001.06$ $v_g = 0{,}89186$

$v_f < v < v_g$ ← مخلوط ۲ فازی

ج) 275°C ، 5 Mpa



جدول ب-۱-۱. در T=275°C ، P=5941,8

در جدول ب-۱-۲. در P=5000 pa ← $T = 263{,}99$ ← چون T < T اشباع پس بخار فوق گرم است.

ب) 10 Mpa و 0/003 m^3/kg

جدول ب-۱-۲. در P=1000 pa ← $v_f = 0{,}001452$ $v_g = 0{,}1802$

$v_f < v < v_g$ ← مخلوط دو فازی

ه) 200°C و $x^{\%5}$ ، $v^{\%5}$ m^3/kg

جدول ب-۱-۱. در T=200°C ← $v_f = 0{,}001156$ $v_g = 0{,}127736$

$v_f < v < v_g$ ← دو فازی

و) 10 kpa و 10°C

جدول ب-۱-۲. در P=10 kpa ← $T = 45{,}81$°C ← چون T < T اشباع ← مایع متراکم

ث) $T = 300^{\circ}C$ و $P = 200\ kPa$

جدول ب-۱-۲ ← در $P = 200\ kPa$ ← $T = 120.23$ چون $T < T$ ← بخار فوق‌داغ

• ت) $T = 70^{\circ}C$ و $v = 1\ m^3/kg$

جدول ب-۱-۱ در $T = 70^{\circ}C$ ←

$v_f = 0.001023$

$v_g = 5.0421$

$v_f < v < v_g$ ⇝ دوفازی

خ) آب در $100^{\circ}C$ و $500\ kPa$.

جدول ب-۱-۲ در $P = 500\ kPa$ ← $T = 151.86^{\circ}C$ چون $T < T$ ← مایع متراکم

$$v_{fg} = v_g - v_f \qquad v = v_f + x v_{fg}$$

مثال) کیفیت را بیابید؟

ب) آب $T = 120^{\circ}C$ و $v = 0.5\ \frac{m^3}{kg}$

$v_f = 0.001060$

$v_g = 0.89186$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.5 - 0.001060}{(0.89186 - 0.001060)} = 0.561$$

ج) $v = 0.003\ m^3/kg$ و $P = 10\ MPa$

$v_f = 0.001452$

$v_g = 0.018.3$

$$x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.003 - 0.001452}{(0.018.3 - 0.001452)}$$

$x = 0.09435$

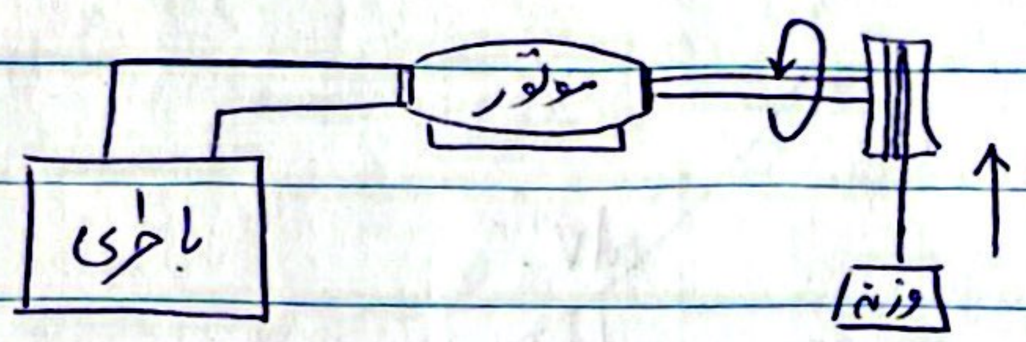
فصل چهارم کار و گرما:

کار و گرما هر دو انتقال انرژی از سیستمی به سیستم دیگر هستند و در اغلب دستگاه‌های ترمودینامیکی نقش اصلی دارند.

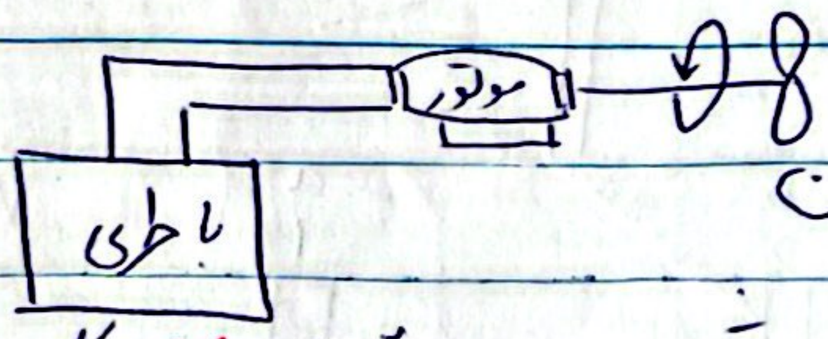
کار = وقتی نیروی F در تغییر مکان x، در امتداد نیرو، انرژی لذا می‌گوییم کار انجام شده

$$W = \int_1^2 F dx$$

کار توسط یک سیستم انجام می‌شود هرگاه اثر خالص آن روی اجزاء فقط بتواند وزنه‌ای را بالا ببرد.



یا اثر خالص خارجی برای سیستم می‌تواند وزنه‌ای را بالا ببرد.



کار انجام شده توسط سیستم **مثبت** و کار انجام شده روی سیستم را **منفی** می‌گیریم.

کار به طور کلی انرژی عبوری است یعنی انرژی که از مرز Sys انتقال می‌یابد.

کار مثبت به این معنی است که انرژی از سیستم خارج می‌شود و کار منفی به این معنی است که انرژی به سیستم داده می‌شود.

$1\ J = 1\ N.m$

توان = آهنگ زمانی انجام کار $\dot{W} = \frac{\delta W}{dt}$

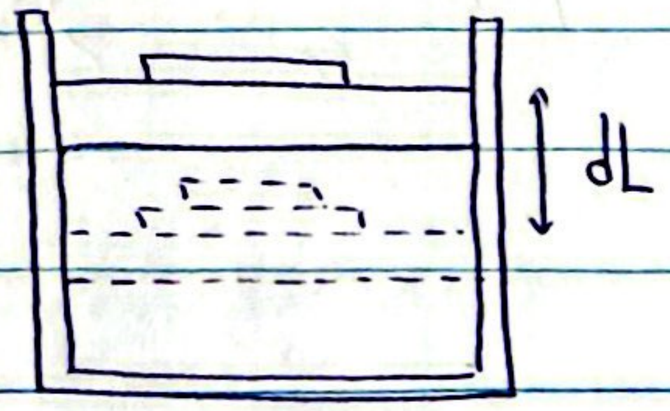
وات $1\ W = 1\ J/s$

واحد قدرت در اتحاد انگلیسی اسب بخار hp

$1\,hp = 550\ ft.lbf/s$

$\omega = \frac{W}{m}$ کار وارده / کار واحد جرم سیستم

کار انجام شده در مرز متحرک یک سیستم تراکم پذیر ساده:

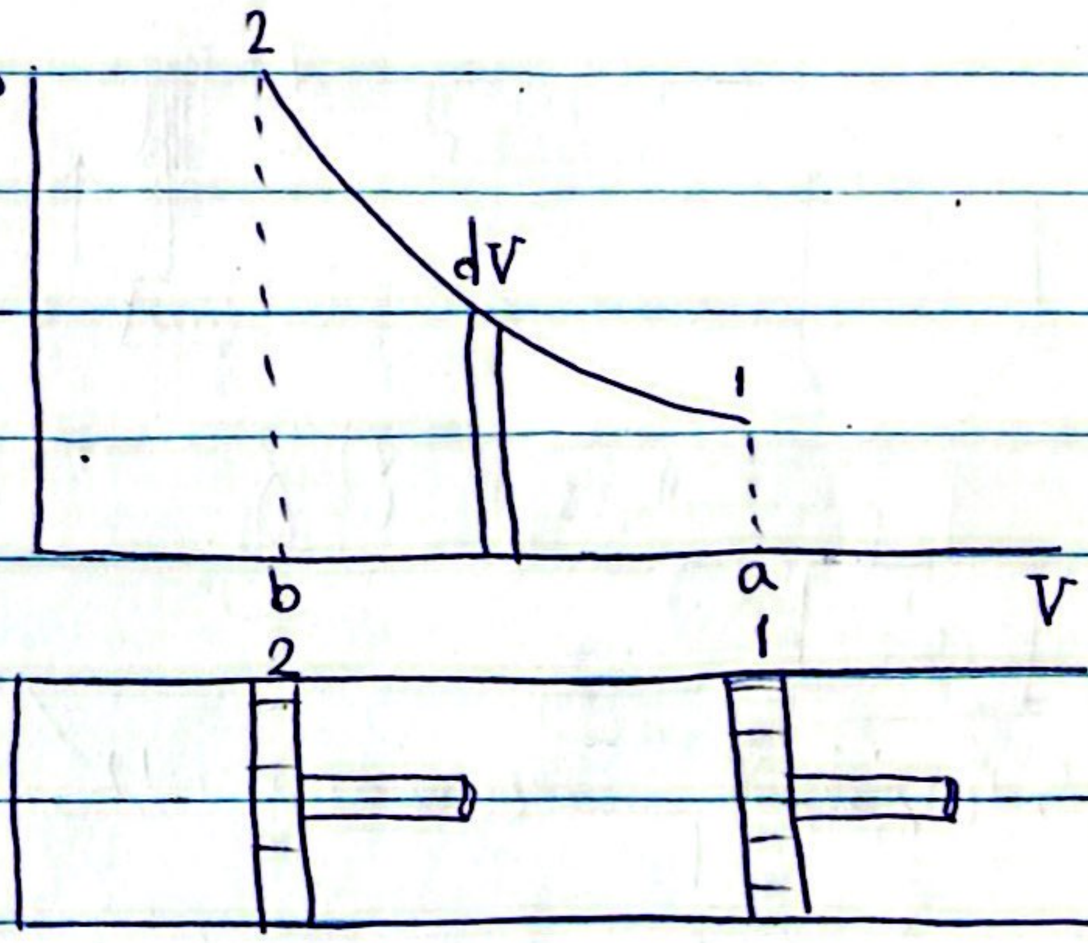


نیروی کل وارد بر پیستون $F = PA$

$\delta W = PA\,dL$

تغییر حجم گاز $AdL = dV$

$\delta W = P\,dV$

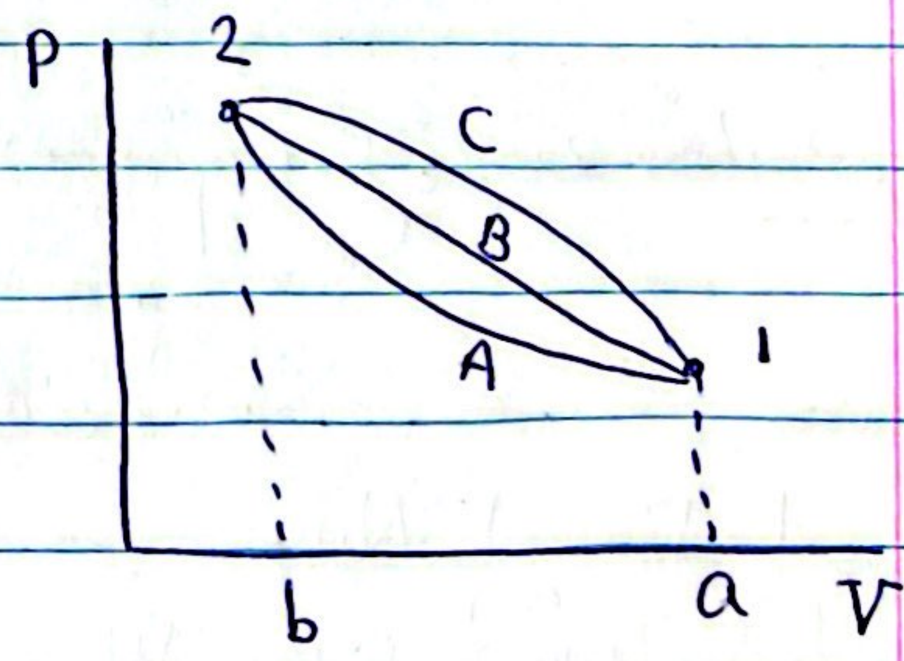


$\underset{1\ 2}{W} = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 P\,dV$

کار انجام شده در فرایند از حالت 1 تا حالت 2

مساحت سطح زیر منحنی = کار انجام شده

چون هر سطح زیر منحنی کار را در فرایند مربوطه نشان می دهد، مقدار کار انجام شده در هر فرایند تابعی از حالت های



انرژی نرم‌افزار نیست بلکه به مسیر نرم‌افزار بین این 2 حالت بستگی دارد.

به همین دلیل کار را **تابع مسیری** می‌گویند.

تابع نقطه‌ای	$\int_1^2 dV = V_2 - V_1$
تابع مسیری	$\int_1^2 dW = {}_1W_2$

فرآیند پلی‌تروپ (برای آن هیچ شرایط خاصی بجز شرایط فیزیکی برقرار باشد انجام می‌شود)

$$PV^n = \text{ثابت}$$

$$-\infty < n < +\infty$$

$$PV^n = K = \text{ثابت} = P_1V_1^n = P_2V_2^n$$

$$P = \frac{K}{V^n} = \frac{P_1V_1^n}{V^n} = \frac{P_2V_2^n}{V^n}$$

$$\int_1^2 P\,dV = K\int_1^2 \frac{dV}{V^n} = K\left(\frac{V^{-n+1}}{-n+1}\right)\Big|_1^2 = \frac{k}{1-n}\left(V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right) = \frac{P_2V_2^nV_2^{1-n} - P_1V_1^nV_1^{1-n}}{1-n} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$

$$\Rightarrow n = 1 \longrightarrow PV = K = P_1V_1 = P_2V_2$$

$$\int_1^2 P\,dV = P_1V_1\int \frac{dV}{V} = P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$$

مثال) سیستم سیلندر-پیستونی را در نظر بگیرید که روی پیستون وزنه‌های کوچکی

قرار دارند. فشار و حجم اولیه گاز به ترتیب 200 kpa و $0.4\ m^3$ است.

الف) اگر در فشار ثابت به آن گرما دهیم به گونه ای که حجم آن به $0.6\ m^3$ افزایش یابد کار انجام شده توسط sys را در این فرایند بیابید.

$$_1W_2 = \int p\,dV$$

$$= p\int dV = p(V_2 - V_1) = 200\ kpa\,(0.6\ m^3 - 0.4\ m^3) = 12\ kJ$$

ب) اگر در فرآیند گرما دادن رابطه $PV = K$ برقرار باشد کار چقدر است؟

$$W = \int_1^2 p\,dV = p_1 V_1 \ln\frac{V_2}{V_1} = 200\ kpa \times 0.4\ m^3 \ln\frac{0.6}{0.4} = 32.4\ kJ$$

ج) اگر در فرآیند گرما دادن رابطه $PV^{1.3} = K$ برقرار باشد

$$P_2 V_2^{1.3} = P_1 V_1^{1.3}$$

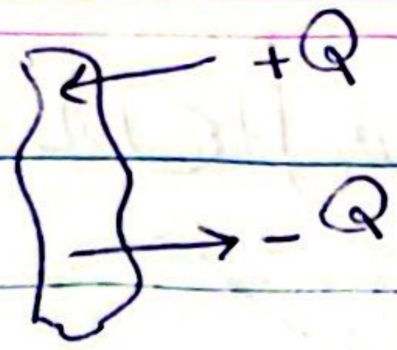
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{1.3} = 200\left(\frac{0.4}{0.6}\right)^{1.3} = 60.77\ kpa$$

$$_1W_2 = \int_1^2 p\,dV = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1 - 1.3} = \frac{60.77 \times 0.6 - 200 \times 0.4}{1 - 1.3} = 61.61\ kJ$$

گرما: شکلی از انرژی که از مرز سیستمی با دمای معین به سیستم دیگری که در دمای پایین تری است منتقل می شود.

گرما تنها هنگامی که از مرز سیستم عبور می کند شناخته می شود.

گرما بعنوان انرژی عبوری از مرز سیستم تعریف می شود.



گرمای مثبت نشان دهنده انتقال انرژی به sys

گرمای منفی نشان دهنده انتقال انرژی از sys

اگر انتقال گرما نداشته باشیم $Q = 0$

$\int_1^2 \delta Q = {}_1Q_2$ گرما تابع مسیری است

$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt}$ آهنگ انتقال گرما برای sys

$q = \frac{Q}{m}$ انتقال گرما برای واحد جرم

انواع انتقال گرما:

رسانش

$\dot{Q} = -KA \frac{dT}{dx}$

رسانندگی ← k

مساحت ← A

جابه جایی

$\dot{Q} = Ah\Delta T$

ضریب انتقال گرما ← h

تشعشع

$\dot{Q} = \varepsilon \sigma A T^4$

دمای سطح ← T

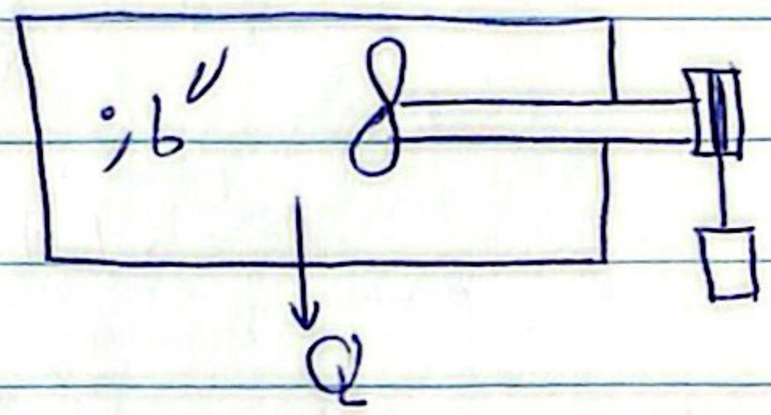
ثابت استفان بولتزمن ← σ

ضریب گسیلندگی ← ε

فصل پنجم : قانون اول ترمودینامیک

۱- قانون اول برای جرم کنترلی که سیکلی را طی می کند :

گاز داخل مخزن بعنوان جرم کنترل

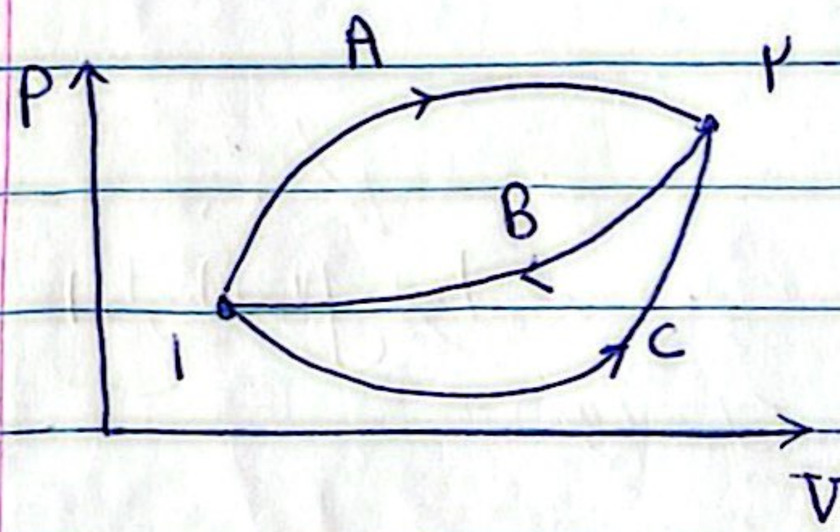


۱- پره با سقوط وزنه ای چرخ دوری سیستم گاز انجام می دهد

۲- با انتقال گرما از Sys حالت اولیه برمی گردد

$$\oint Q = \oint W \longrightarrow$$ عبارت اصلی برای قانون اول.

۲- قانون اول برای تغییر حالت جرم کنترل



اگر بخواهیم یک فرایند در نظر بگیریم

① Sys در نظر بگیرید که سیکلی را طی می کند و در فرایند A از حالت ۱ به ۲ و در فرایند B از حالت ۲ به ۱ می رود.

$$\oint Q = \oint W$$

$$\int_1^2 \delta Q_A + \int_2^1 \delta Q_B = \int_1^2 \delta W_A + \int_2^1 \delta W_B$$

② Sys دیگری که دارای جرم کنترل در فرایند C از حالت ۱ به ۲ و در فرایند B از حالت ۲ به ۱ می رود.

$$\int_1^2 \delta Q_C + \int_2^1 \delta Q_B = \int_1^2 \delta W_C + \int_2^1 \delta W_B$$

با تفریق کردن 2 معادله از هم:

$$\int_1^2 \delta Q_A - \int_1^2 \delta Q_C = \int_1^2 \delta W_A - \int_1^2 \delta W_C$$

$$\int_1^2 (\delta Q - \delta W)_A = \int_1^2 (\delta Q - \delta W)_C$$

انرژی $dE = \delta Q - \delta W$

که یک خاصیت یا تابع نقطه‌ای

$$dE \rightarrow E_2 - E_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

$$E = U + KE + PE$$

- انرژی پتانسیل
- انرژی جنبشی
- انرژی‌های درونی جرم کنترل ← انرژی داخلی

$$dE = dU + d(KE) + d(PE)$$

قانون اول ⇒ $$\boxed{dE = dU + d(KE) + d(PE) = \delta Q - \delta W} \quad (*)$$

$$EK = \frac{1}{2}mV^2 \qquad EP = mg(\underbrace{Z_2 - Z_1}_{\text{تغییرات ارتفاع}})$$

مثال) اتومبیلی به جرم 1100 kg با سرعتی حرکت می‌کند. انرژی جنبشی آن 400 kJ است. سرعت اتومبیل را بیابید؟ این اتومبیل با چه تقلیل تا چه ارتفاعی در میدان مرآتی بالا رود تا انرژی پتانسیل آن با انرژی جنبشی آن

$$KE = \frac{1}{2}mV^2 = 400\ kJ \qquad V = \sqrt{\frac{2KE}{m}} = \sqrt{\frac{2\times 400}{1100}}$$ برابر شود؟

$$\Rightarrow V = 27\ m/s$$

$$PE = mgH$$

$$400\times10^3\ J = 1100\times9.8\times H$$

$$\longrightarrow H \simeq 37.1\ m$$

با جایگذاری عبارت‌های انرژی جنبشی و پتانسیل در معادلهٔ ⊛ داریم:

$$dE = dU + mV\,dV + mg\,dz$$

$$\longrightarrow E_2 - E_1 = (U_2 - U_1) + \left(\frac{mV_2^2}{2} - \frac{mV_1^2}{2}\right) + (mgz_2 - mgz_1)$$

$$\Rightarrow dE = dU + \frac{d(mV^2)}{2} + d(mgz) = \delta Q - \delta W$$

$$\boxed{(U_2 - U_1) + \frac{m(V_2^2 - V_1^2)}{2} + mg(z_2 - z_1) = {}_1Q_2 - {}_1W_2}$$

به این معادله، پایستاری انرژی می‌گویند؛ یعنی تغییر خالص انرژی جرم کنترل همراه با انتقال خالص انرژی بصورت کار و گرما برابر است.

مثال) مخزنی حاوی سیالی است که با چرخ پره‌داری هم زده می‌شود. کار داده شده به چرخ 5090 kJ و انتقال گرما از مخزن 1500 kJ است. تغییر انرژی داخلی؟

$$(U_2 - U_1) + \frac{m(V_2^2 - V_1^2)}{2} + mg(z_2 - z_1) = {}_1Q_2 - {}_1W_2$$

$$U_2 - U_1 = -1500 - (-5090) = 3590\ kJ$$

گرما از سیستم می‌رود ← کار روی سیستم انجام می‌شود.

ب) $u = 2000 \ kJ/kg$ ، $P = 2000 \ kpa$

جدول ب-۱-۲ $\rightarrow P = 2000 \ kpa$

$$206.4 < 2000 < 2600.3$$

$\rightarrow$ حالت 2

$$T = T_g = 212.4^{\circ}C$$

$$u = 2000 = 906.4 + x\,1693.8$$

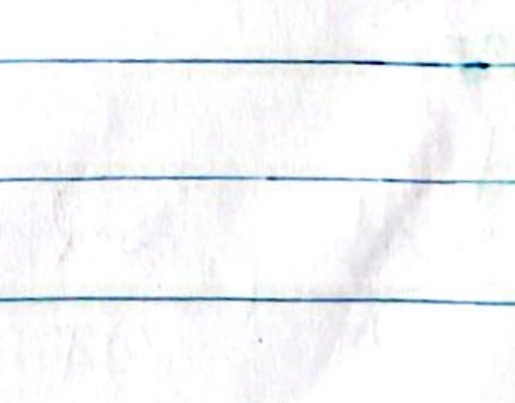
$$\rightarrow x = 0.6456$$

$$v = 0.001177 + 0.6456 \times 0.09845 = 0.06474 \ m^3/kg$$

آنتالپی:

جرم کنترل که دستخوش فرایند شبه تعادلی با فشار ثابت می‌شود.

فرض انرژی جنبشی و پتانسیل صفر می‌باشد و در طی فرایند انجام می‌شود کار مرزی متحرک است.



$$_1Q_2 = U_2 - U_1 + {}_1W_2$$

$$_1W_2 = \int_1^2 P\,dV$$

$$_1W_2 = P\int_1^2 dV = P(V_2 - V_1)$$

$$_1Q_2 = U_2 - U_1 + P_2V_2 - P_1V_1$$

$$= (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1)$$

$$H = U + PV$$

استقلال کارها در فرآیند بقایی با فشار ثابت برابر است با تغییر انتالپی

آنتالپی، تابع تصادفی است و هنظام استفاده از آن در مباحث انرژی داخلی مبدل

فرآیند در نظر گرفته می‌شود.

$$h = (1-x)h_f + xh_g$$

$$h = h_f + xh_{fg}$$

گرمای ویژه در حجم ثابت و گرمای ویژه در فشار ثابت

مقدار گرمایی که دمای جرم واحد را یک درجه افزایش دهد.

با صرف نظر از انرژی جنبشی و پتانسیل

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

۱- حجم ثابت = کار (PdV) صفر است.

$$C_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_v = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$

۲- فشار ثابت

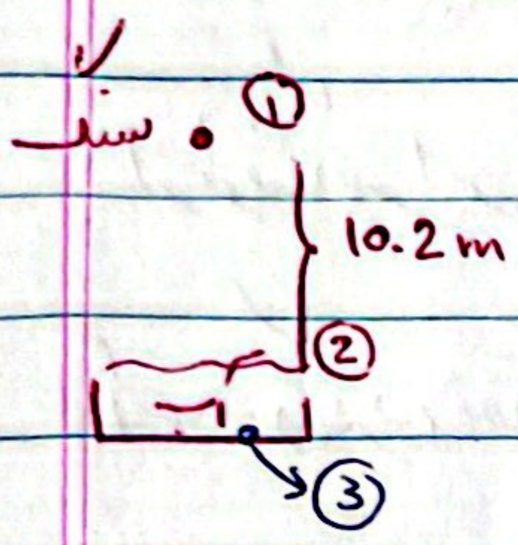
$$C_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\delta Q}{\partial T}\right)_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p$$

در سوردها نهایت و حالات جوان تر آنها نادیده شوند

$$dh = du = c\,dt$$

$$\hookrightarrow c_p = c_v$$

مثال) سنگی به جرم 10 kg و ظرفی حاوی 100 kg آب فاقع را در نظر بگیرید. در ابتدا سنگ در فاصله 10.2 m بالای سطح آب قرار دارد، و سنگ و آب در دمای یکسان هستند. اگر سنگ داخل آب سقوط می کند و $g = 9.8 \frac{m}{s^2}$ باشد. کمیت های Q، W، ΔU، ΔE_K، ΔP_E را برای حالت های زیر بیابید.



الف) سنگ در آستانه ورود به آب

آب تغییر حالت نداده $\Delta U = 0$ $_1Q_2 = 0$ $_1W_2 = 0$

$\Delta KE + \Delta PE = 0$ $\Delta KE = -\Delta PE = -mg(z_2 - z_1)$

$= -10 \times 9.8 \times (0 - 10.2)$

$= 1000 J = 1 kJ$

$\Delta KE = 1 kJ$ $\Delta PE = -1 kJ$

ب) سنگ درست در ظرف به حالت سکون رسیده

$\Delta PE = 0$ $_2W_3 = 0$ $_2Q_3 = 0$

$\Delta U + \Delta KE = 0$ $\Delta U = -\Delta KE = -1 kJ$

ج) انتقال گرما به اطراف طوری است که سنگ و آب در دمای یکسان آمدند

$\Delta KE = 0$ $\Delta PE = 0$ $_3W_4 = 0$ $\Delta U = -1 kJ$

$_3Q_4 = \Delta U = -1 kJ$

۳- انرژی داخلی یک خاصیت ترمودینامیکی

انرژی داخلی یک خاصیت مقداری است زیرا به جرم سیستم بستگی دارد. به طور مشابه انرژی های پتانسیل و جنبشی نیز خواص مقداری اند.

از طرف دیگر انرژی داخلی نیز از خواص مستقل ماده خالص است. مثلاً اگر P و U بخار آب فوق گرمی مشخص شود، دما نیز مشخص می شود.

$$U = U_{\text{بخار}} + U_{\text{مایع}}$$ در ناحیه اشباع مایع-بخار

$$mu = m_{\text{مایع}} u_f + m_{\text{بخار}} u_g$$

تقسیم بر m

$$u = (1-x)u_f + x u_g$$

$$\boxed{u = u_f + x u_{fg}}$$

مثال) درجه یک از حالت های زیر خاصیت داده نشده P، T، x یا v را برای آب بیابید.

الف) $u = 2780 \text{ kJ/kg}$ ، $T = 300^\circ C$

جدول ب-۱-۱ $T = 300^\circ C$

$u_g = 2563 \text{ kJ} \longrightarrow u > u_g \longrightarrow$ بخار فوق گرم

ب-۱-۳ $\longrightarrow T = 300^\circ C \longrightarrow u = 2780$

$2776 < u = 2780 < 2781$

$\downarrow$ $\downarrow$

$P = 1800 \text{ kpa}$ $P = 1400 \text{ kpa}$

درون یابی

$P = 1468 \text{ kpa}$

x در ناحیه فوق گرم تعریف نشده است

$v = 0.1542 \text{ m}^3/\text{kg}$

قانون اول بصورت معادله انرژی:

این معادله انرژی لحظه‌ای یا موضعی را در سطح کنترل بصورت مرحله‌وار و نرخ انرژی تغییرات انرژی جرم کنترل را بیان می‌کند.

$$\Delta U + \Delta KE + \Delta PE = \delta Q - \delta W$$

با تقسیم طرفین بر δt (بازه زمانی)

$$\frac{\Delta U}{\delta t} + \frac{\Delta KE}{\delta t} + \frac{\Delta PE}{\delta t} = \frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{\delta W}{\delta t}$$

با حد گیری از این عبارت‌ها وقتی δt به سمت صفر میل می‌کند:

$$\lim_{\delta t \to 0} \frac{\Delta U}{\delta t} = \frac{dU}{dt} \qquad \lim_{\delta t \to 0} \frac{\Delta KE}{\delta t} = \frac{d(KE)}{dt}$$

$$\lim_{\delta t \to 0} \frac{\Delta (PE)}{\delta t} = \frac{d(PE)}{dt} \qquad \lim_{\delta t \to 0} \frac{\delta Q}{\delta t} = \dot{Q}$$ (آهنگ انتقال گرما)

$$\lim_{\delta t \to 0} \frac{\delta W}{\delta t} = \dot{W}$$ (توان)

معادله انرژی قانون اول:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{d(KE)}{dt} + \frac{d(PE)}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$$

پایستگی جرم:

طبق نظریه نسبیت، جرم و انرژی دارای رابطه زیر هستند

$$E = mc^2$$

E ← انرژی، m ← جرم، c ← سرعت نور

در یک جرم کنترل هنگام تغییرات انرژی آن تغییری نمی‌کند

مثال) مخزنی به حجم $5\,m^3$ حاوی $5\,m^3$ آب مایع اشباع و $4.95\,m^3$ بخار آب اشباع در $1\,MPa$ است. با انتقال گرما، مخزن چقدر بخار آب اشباع می‌شود؟ انتقال گرما را در این فرایند بیابید.

$$U_2 - U_1 + m\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + mg(z_2 - z_1) = Q_2 - W_2$$

$$Q_2 = U_2 - U_1$$

$P = 1\,MPa$ در

$$m_{\text{مایع},1} = \frac{V_{\text{مایع}}}{v_f} = \frac{0.05}{0.00104} = 47.95\,kg$$

$$m_{\text{بخار},1} = \frac{V_{\text{بخار}}}{v_f} = \frac{4.95}{1.4950} = 2.92\,kg$$

$$U_1 = m_{\text{مایع},1} u_{\text{مایع},1} + m_{\text{بخار},1} u_{\text{بخار},1}$$

$$= 47.92\,(417.36) + 2.92\,(2506.1) = 27242.6\,kg$$

$$m_{\text{کل}}' = m_{\text{مایع},1} + m_{\text{بخار},1} = 50.84\,kg$$

$$v_2 = \frac{V}{m} = \frac{5}{50,186} = 0,09831 \ m^3/kg$$

در جدول ب-۱-۲ ← $v_g = 0,09381$ در فشار ۲,۰۳ MPa

است. پس فشار بخار آب ۲,۰۳ MPa است.

$$u_2 = 2600,5$$

$$U_2 = mu_2 = 50,186(2600,5) = 130441 \ kJ$$

$$\textcircled{1}Q_2 = U_2 - U_1 = 130441 - 27326 = 103115 \ kJ$$

فصل ششم: تحلیل قانون اول برای حجم کنترل:

۶-۱- حجم کنترل و پایستاری جرم:

جهتی از فضا را که برای مطالعه خاصی در نظر گرفته

می شود حجم کنترل، و سطح آن را که محدوده سطح بسته ای تشکیل می شود، سطح کنترل

می گویند. اندازه و شکل حجم کنترل کاملاً اختیاری است.

سطح کنترل می تواند ثابت یا متحرک و منقبض شود. ولی سطح،

نسبت به دستگاه مختصات تعریف شده ای باید ثابت باشد.

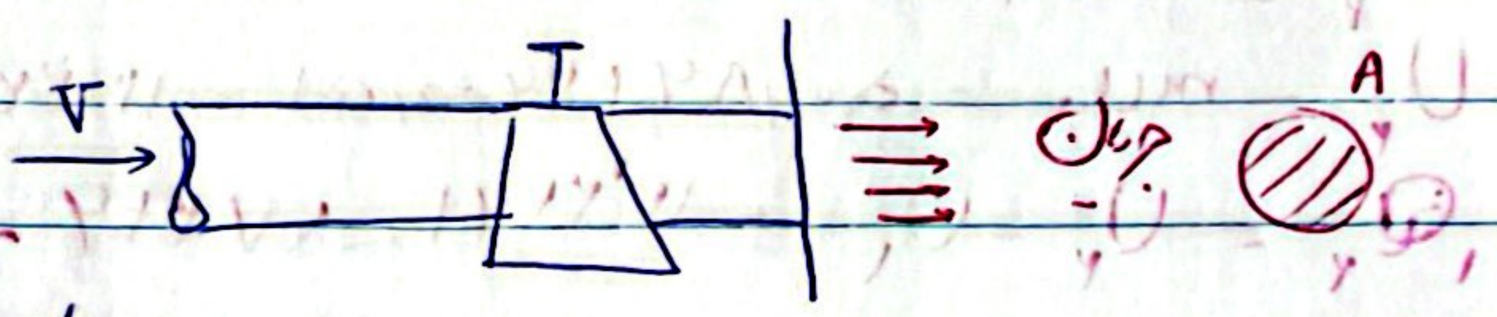
جرم، کار و گرما می توانند از سطح کنترل عبور کنند و جرم داخل حجم کنترل و نیز

خواص آن می تواند با حسب زمان تغییر کند.

برای جریان ورودی و خروجی $\frac{dm_{C.V}}{dt} = \sum \dot{m}_i - \sum \dot{m}_e$

معادله پایستاری جرم یا معادله پیوستگی

$m_{C.V} = \int \rho dV = \int (1/v) dV = m_A + m_B + m_C + \cdots$



شدت جریان حجمی $\rightarrow \dot{V} = VA = \int_{A_{\text{عمود}}} V \, dA$

شدت جرم $\rightarrow \dot{m} = \int_{\text{مقطع}} \rho \dot{V} = \dot{V}/v = \int (V_{\text{عمود}}/v) dA$

$= VA/v$

سرعت

$\dot{m} = \int \rho V A \downarrow \frac{VA}{v}$

حجم ویژه $\rightarrow v$

مثال) هوا با سرعت یکنواخت $1\ m/s$ از وارد لوله‌ای به قطر $0.2\ m$ می‌شود و با $25^\circ C$ و فشار $150\ kPa$ است. شدت جرم را بیابید؟

$\dot{m} = VA/v$

جدول الف-۵

$v = \frac{RT}{P} = \frac{0.287 \times 298.2}{150} = 0.570 \ m^3/kg$

$A = \frac{\pi}{4}(0.2)^2 = 0.0314 \ m^2$

$\dot{m} = \frac{1 \times 0.0314}{0.570} = 0.055 \ kg/s$

قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل:

قانون اول برای جرم کنترل که دارای جرم ثابت است $E_2 - E_1 = {}_1Q_2 - {}_1W_2$

معادله انرژی $\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W}$

قانون بقای انرژی = انرژی را نه می‌توان ایجاد کرد نه می‌توان از بین برد

هر تغییر انرژی ناشی از انرژی ورودی به حجم کنترل یا انرژی خروجی از حجم کنترل است.

سیالی که در مرز سطح کنترل جریان دارد، به ازای واحد جرم وارد یا خارج می‌شود:

$$e = u + \frac{1}{2}V^2 + gZ$$

ورودی $\rightarrow i$

خروجی $\rightarrow e$

$$\dot{W}_{\text{جریان}} = FV = \int PV\,dA = P\dot{V} = Pv\dot{m}$$

حجم کنترل با آهنگ $P_e v_e \dot{m}_e$ روی جریانی که از حجم کنترل خارج می‌شود کار انجام می‌دهد و اطراف با آهنگ $P_i v_i \dot{m}_i$ روی جریانی که وارد حجم کنترل می‌شود کار انجام می‌دهد.

$$e + Pv = u + Pv + \frac{1}{2}V^2 + gZ = h + \frac{1}{2}V^2 + gZ$$ انجام می‌دهد.

بسط قانون اول:

$$\frac{dE_{C.V}}{dt} = \dot{Q}_{C.V} - \dot{W}_{C.V} + \dot{m}_i e_i - \dot{m}_e e_e + \dot{W}_{\text{جریان ورودی}} - \dot{W}_{\text{جریان خروجی}}$$

$$\frac{dE_{C.V}}{dt} = \dot{Q}_{C.V} - \dot{W}_{C.V} + \dot{m}_i(e_i + P_i v_i) - \dot{m}_e(e_e + P_e v_e)$$

$$= \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \dot{m}_i\left(h_i + \frac{1}{2}V_i^2 + gZ_i\right) - \dot{m}_e\left(h_e + \frac{1}{2}V_e^2 + gZ_e\right)$$

✓ حجم کنترل می‌تواند چند جریان جرمی ورودی و خروجی داشته باشد.

$$\frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{1}{2}V_i^2 + gZ_i\right) - \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{1}{2}V_e^2 + gZ_e\right)$$

$$\frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{Q}_{c.v} - \dot{W}_{c.v} + \sum \dot{m}_i h_{\text{کل ورودی}} - \sum \dot{m}_e h_{\text{کل خروجی}}$$

فرآیند در حالت پایا:

۱- حجم کنترل نسبت به مرجع مختصات حرکت نمی‌کند

۲- حالت جرم در هر نقطه داخل حجم کنترل بر حسب زمان تغییر نمی‌کند

۳- آهنگ انتقال گرما و کار در عرض سطح کنترل ثابت است

$$\frac{dm_{c.v}}{dt} = 0 \qquad \frac{dE_{c.v}}{dt} = 0$$

معادله پیوستگی

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e = \dot{m} \qquad \dot{m} = \rho v A$$

$$\rho_1 v_1 A_1 = \rho_2 v_2 A_2$$

$$\dot{Q}_{c.v} + \dot{m}\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i\right) = \dot{m}\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e\right) + \dot{W}_{c.v}$$

$$q + h_i + \frac{V_i^2}{2} + gZ_i = h_e + \frac{V_e^2}{2} + gZ_e + w_e$$

$$q = \frac{\dot{Q}_{c.v}}{\dot{m}} \qquad w = \frac{\dot{W}_{c.v}}{\dot{m}}$$

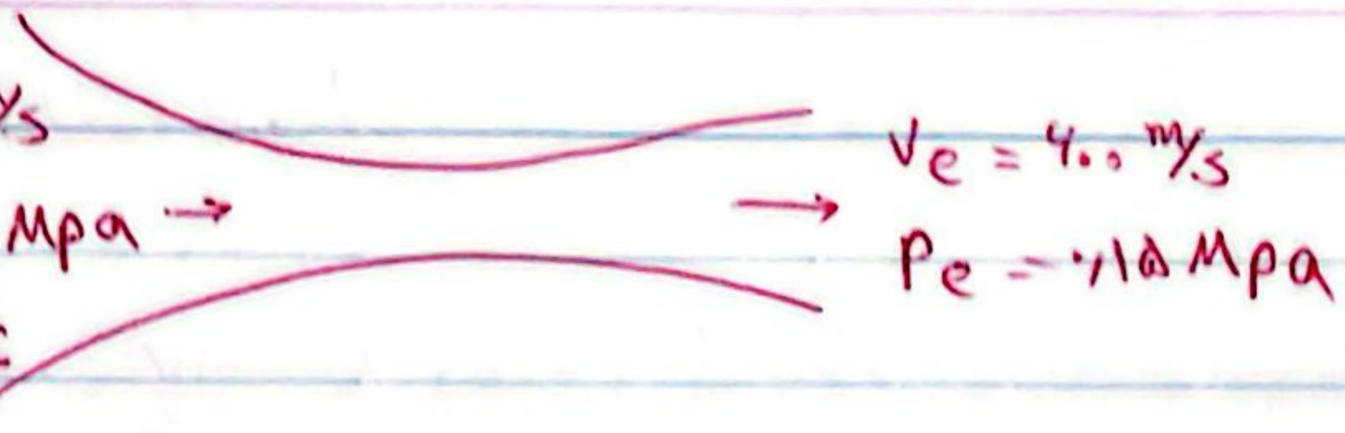
نوزل‌های اگزوز توربین بخار:

مدل گردابی: مدل گردابی یا ویسکوز وسیله‌ای است که جریان سیالی در لوله‌ای یا مجموعه‌ای از لوله‌ها به طور ساده جریان دارد و گرما به سیال داده یا از آن گرفته می‌شود. مثل لوله اگزوز فرآیند در نشار ثابت روی می‌دهد و هیچ کاری انجام نمی‌شود و انتقال گرما به صورت تغییر انتالپی سیال محاسبه می‌شود.

نازل (لوله):

نازل وسیله جریان یابایی است که جریان سیال افزایش و فشار آن کاهش می‌یابد. در نازل هیچ کاری انجام نمی‌شود. تغییر انرژی پتانسیل و انتقال گرما معمولاً ناچیز یا صفر است.

مثال) بخار آب در ۶/۰ Mpa و ۲۰۰°c با سرعت ۵۰ $\frac{m}{s}$ وارد نازل عایقی می‌شود و با سرعت ۶۰۰ $\frac{m}{s}$ در فشار ۰/۱۵ Mpa از آن خارج می‌شود. مطلوبست دمای بخار در صورتیکه بخار آب در حالت بخار فوق گرم شود و کیفیت آن در صورتیکه اشباع شود.



$\dot{Q}_{C.V} = 0$ $\quad \dot{W}_{C.V} = 0$ $\quad PE_i \simeq PE_e$

$$\rightarrow h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2}$$

جدول ب ۱-۳ $\left.\begin{matrix} P = 400\ kPa \\ T = 200^\circ C \end{matrix}\right\} \rightarrow h = 2850.12$

$$h_e = 2850.12 \left[\frac{50^2}{2\times1000} - \frac{400^2}{2\times1000}\right] = 2671.4\ kJ/kg$$

$h = h_f + x h_{fg}$

۲) جدول $\rightarrow P = 150\ kPa$ $\quad 2671.4 = 467.08 + x\ 2226.46$

$x = 0.99$

دیفیوزر (بخش ۲)

دیفیوزر یا پخش وسیله‌ای است که سرعت سیال را کاهش و فشار آن را افزایش می دهد (اساساً برعکس نازل کار می کند)

(فرض ها مشابه نازل = انرژی جنبشی + آنتالپی)

شیر تنظیم جریان (فشار شکن)

فرایند اختناق وقتی رخ می دهد که جریانی در حفره ای کاملاً با محدودیت

مجرای جریان روبه رو شود و دستخوش افت فشار ناگهانی گردد

در این وسیله کاری انجام نمی شود و تغییر انرژی پتانسیل کم یا صفر است.

اغلب در آبدهی احتناق با تغییر فازسیال همراه است. $h_i = h_e$

بیان مکمل دوم

قانون دوم ترمودینامیک:

طبق قانون اول ترمودینامیک در هر سیکلی که سیستمی طی می کند انتگرال سیکلی گرما با انتگرال سیکلی کار برابر است. $\oint \delta W = \oint \delta Q$. قانون اول هیچ محدودیتی برای جهت جریان کار و گرما قائل نمی شود، سیکلی که در آن مقداری گرما از سیستم دفع و مقداری برابر کار روی سیستم انجام می شود، و نیز سیکلی که در آن عکس این عمل صورت گیرد هر دو قانون اول را برآورده می کنند. هر سیکلی که قانون اول را برآورده می کند، بدین معنی نیست که واقعاً روی می دهد. یک سیکل واقعاً روی می دهد که قوانین اول و دوم ترمودینامیک را باهم برآورده کند. یک فرایند در جهت معینی روی می دهد و در خلاف جهت آن روی نمی دهد.

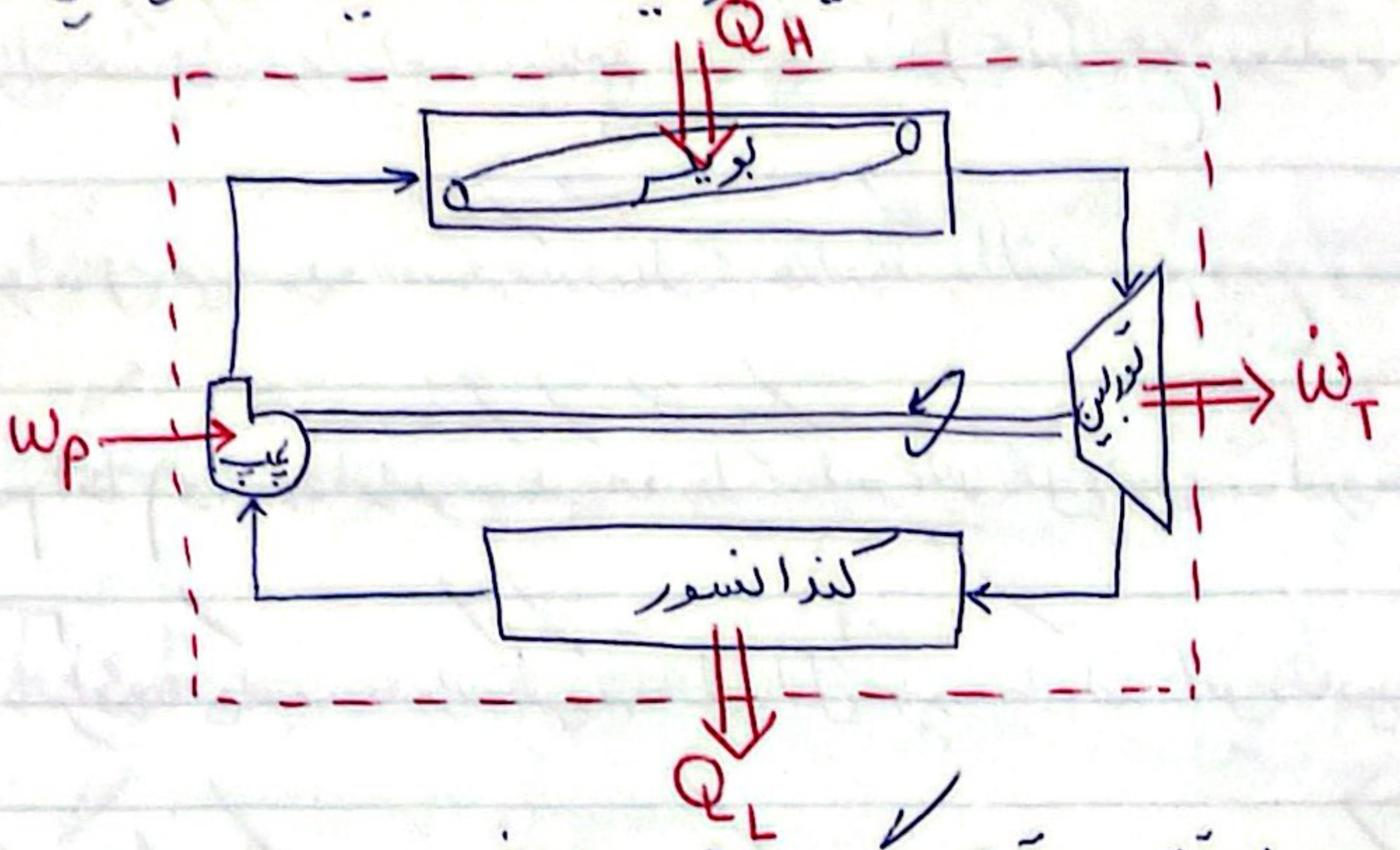
یک فنجان قهوه گرم بر اثر دفع گرما به اطراف سرد می شود، ولی گرما از اطراف سرد به فنجان قهوه گرم منتقل نمی شود. وقتی اتومبیلی از تپه ای بالا می رود، بنزین مصرف می کند ولی با حرکت اتومبیل به طرف پایین تپه، نمی توان سوخت را به سطح اولیه برگرداند.

ماشین های گرمایی:

ماشین گرمایی را می توان بعنوان وسیله ای تعریف کرد که در یک سیکل ترمودینامیکی کار می کند و با انتقال گرما از یک جسم دما بالا به یک جسم دما پایین مقدار معینی کار خالص مثبت انجام می دهد. ماده ای که از آن گرما انتقال می یابد ماده عامل یا سیال عامل می گویند.

(موتور احتراق داخلی، توربین بخاری = ماشین گرمایی)

نیروگاه بخاری ساده نمونه ای از ماشین گرمایی است که سیکل ترمودینامیکی زاکی می کند.



۱- آب مایع در دمای تقریبی اتاق به دیگ بخار تلمبه می شود $\dot{W}_p$

۲- گرما از یک سوخت در دیگ به آب انتقال یافته و آن را به بخار در T و P بالا تبدیل می کند Q_H

۳- انرژی بصورت کار محوری از بخار توسط توربین به محیط منتقل می شود $\dot{W}_T$

۴- بخار خروجی از توربین از طریق انتقال گرما به آب سرد کن میعان می یابد Q_C

در این جا، بخار آب سیال عامل است و مقداری گرما، Q_H، از جسم دما بالا انتقال می یابد (این جسم می تواند فرآورده های احتراق کوره، رآکتور، ... باشد)

گرمای Q_L به جسم دما پایین که می تواند آب خنک کن کندانسور باشد، انتقال می یابد.

پس: نیروگاه ساده بخاری یک ماشین گرمایی است که در آن سیال عامل با تبادل گرما مقداری کار در سیکل انجام می دهد. پس ماشین گرمایی سیستمی است که

سیکلی را طی می کند و دارای کار خالص مثبت و انتقال گرمای مثبت است.

(در این جا از نماد Q_H برای انتقال گرما به یا از جسم دما بالا و از نماد Q_L برای انتقال گرما به یا از جسم دما پایین استفاده می کنیم)

بازده گرمایی:

لازمه همه چرخه های ماشین - گرمایی جذب گرما در یک دمای بالا دفع گرما در یک دمای پایین آن و تولید کار است. در بررسی نظری ماشین های گرمایی دو سطح دما که مشخص کننده محل آن هست توسط منابع گرمایی نگهداشته می شوند یعنی اجسامی که قادر به جذب یا دفع یک مقدار بی نهایتی از گرما بدون تغییر دما تصور می شوند. در یک مدل سیال در یک ماشین گرمایی مقدار گرمای $|Q_H|$ را از یک منبع گرم جذب نموده، مقدار خالص کار تولیدی می نماید و گرمای $|Q_C|$ را به یک منبع سرد دفع نموده و سیس به حالت اولیه اش برگشت می نماید. در نتیجه قانون اول بدین صورت ساده می شود:

$$W = Q = |Q_H| - |Q_L|$$

و بازده گرمایی عبارتست از نسبت خروجی (انرژی خواسته شده) به ورودی (انرژی هزینه شده) که انرژی خواسته شده همان کار و انرژی هزینه شده

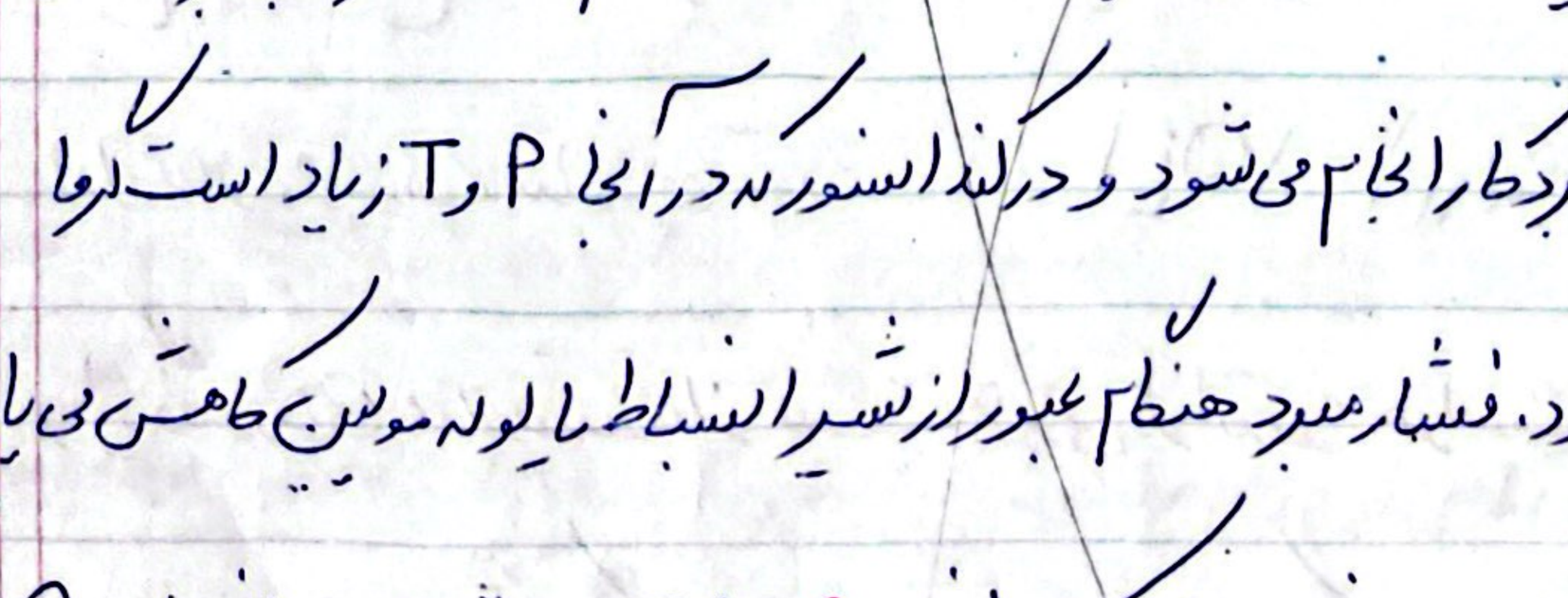
هزینه سوخت دیگر مالی است که از منبع دما بالا اتصال می یابد.

$$\eta_{\text{گرمایی}} = \frac{W \quad (\text{انرژی خواسته شده})}{Q_H \quad (\text{انرژی هزینه شده})}$$

$$\eta = \frac{w}{|Q_H|} = \frac{|Q_H| - |Q_L|}{|Q_H|} = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|}$$

✓ برای واحد نمودن بازده گرمایی دفع شده به منبع سرد یعنی $|Q_L|$ می باید **صفر** باشد، بازدهی ۱۰۰ درصد برای ماشین های گرمایی امکان پذیر نیست.

✓ سیکل یخچال تراکمی:



سیال عامل آمونیاک است. در تبخیر کننده که فشار و دما کم است گرما به مبرد انتقال می یابد. در کمپرسور روی مبرد کار انجام می شود و در کندانسور که در آن P و T زیاد است گرما از مبرد دفع می شود. فشار مبرد هنگام عبور از شیر انبساط یا لوله مویین کاهش می یابد.

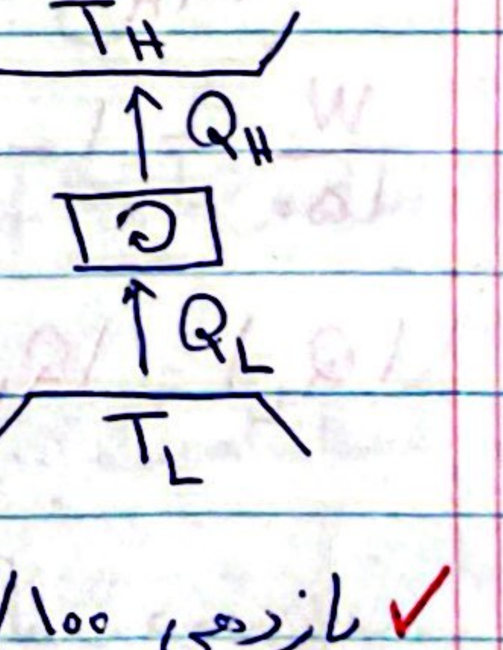
✓ بازده یخچال برحسب ضریب عملکرد با نماد β بیان می شود. در یخچال Q_L

گرمای انتقال یافته از فضای سرد یا انرژی خواسته شده و کار W انرژی هزینه شده است. پس:

$$\beta = \frac{Q_L \text{ (انرژی خواسته شده)}}{W \text{ (انرژی هزینه شده)}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$$

بیان قانون دوم:

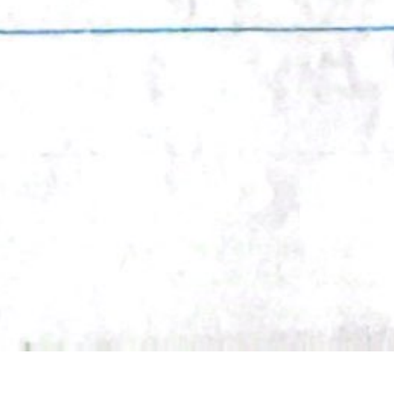
بیان طولین پلانک: هیچ وسیله‌ای نمی‌تواند طوری عمل نماید که تنها اثرش (در دستگاه و محیط) تبدیل کامل گرمای جذب شده توسط یک دستگاه به کار باشد.



✓ غیر ممکن ← نمی‌توان یک ماشین گرمایی با بازده ۱۰۰٪ ساخت.

بیان کلازیوس:

هیچ فرایندی قادر به انتقال گرما از سطح دمای پایین به یک سطح دمای بالاتر نیست.



✓ غیر ممکن ← نمی‌توان یخچالی ساخت که بدون کار ورودی عمل کند.

✓ بازدهی ۱۰۰٪ برای ماشین‌های گرمایی امکان پذیر نیست. بازدهی گرمایی یک ماشین گرمایی تابعی از حد صفر برگشت پذیری عملش است. ✓ یک ماشین گرمایی که در یک

شیوه کاملاً برگشت پذیر عمل نماید، یک ماشین کارنو معروف می باشد.

یک ماشین کارنو بین دو منبع گرمایی به طریقی عمل می نماید که تمام گرمای جذب شده در دمای ثابت منبع گرم جذب می شود و نیز تمام گرمای دفع شده در دمای ثابت منبع سرد دفع می گردد. برای دو منبع گرمایی معین، هیچ ماشینی نمی تواند یک بازدهی گرمایی بالاتر از یک ماشین کارنو دارا باشد.

$$\frac{|Q_H|}{|Q_L|} = \frac{T_H}{T_L}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

مثال) یک ماشین کارنو $150\ kJ/s$ گرما را از یک منبع گرمایی به دمای $425^\circ C$ ($400\ K$) دریافت و در دمای $30^\circ C$ به یک حوضچه گرمایی دفع می کند. قدرت حاصل و گرمای دفع شده چقدر است؟

$$\eta = \%\,5 \quad \eta = \frac{W}{|Q_H|} = 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{W}{150} = 1 - \frac{273+30}{425+273} \rightsquigarrow W = 84,87\ kJ/s$$

$$|Q_L| = |Q_H| - W = 150 - 84,87 = 65,13\ kJ/s$$

مثال) ماشین‌های گرمایی زیر، قدرتی برابر $80000\ kW$ تولید می کنند. در هر حالت، آهنگی که گرما از منبع گرم جذب و به منبع سرد دفع می شود را تعیین کنید؟

الف) یک ماشین کارنو بین دو منبع گرمایی با دماهای ۶۰۰ و ۳۰۰ کلوین کار می‌کند.

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{۳۰۰}{۶۰۰} = ۰/۵ \qquad \eta = \frac{W}{|Q_H|} = \frac{۸۰۰۰۰}{|Q_H|} = ۰/۵ \rightsquigarrow |Q_H| = ۱۶۰۰۰۰ \text{ kW}$$

$$|Q_L| = |Q_H| - W = ۱۶۰۰۰۰ - ۸۰۰۰۰ = ۸۰۰۰۰ \text{ kW}$$

ب) یک ماشین حقیقی بین همان منابع گرمایی ولی با بازده گرمایی $\eta = ۰/۳$ کار می‌کند؟

$$\eta = \frac{W}{|Q_H|} = \frac{۸۰۰۰۰}{|Q_H|} = ۰/۳ \rightsquigarrow |Q_H| = ۲۶۶۶۶۷ \text{ kW}$$

$$|Q_L| = |Q_H| - W = ۲۶۶۶۶۷ - ۸۰۰۰۰ = ۱۸۶۶۶۷ \text{ kW}$$

مثال) نیروگاه ویژه‌ای با یک منبع گرمایی به دمای $۳۰۰^\circ C$ و یک حوضچه گرمایی به دمای $۲۵^\circ C$ کار می‌کند. بازده گرمایی این نیروگاه ۶۰ درصد بازده گرمایی ماشین کارنو برای دماهای یکسان است. الف) بازده گرمایی نیروگاه چقدر است؟

ب) دمای منبع گرمایی را چقدر باید افزایش داد تا آنکه بازده گرمایی نیروگاه ۴۰ درصد افزایش یابد؟ باز هم بازده گرمایی نیروگاه ۶۰ درصد بازده گرمایی ماشین کارنو برای دماهای یکسان است؟

$$\eta_{\text{کارنو}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{۲۹۸/۱۵}{۵۷۳/۱۵} = ۰/۴۷۹۸$$

$$\eta = (۰/۶)(۰/۴۷۹۸) = ۰/۲۸۷۹$$

$$\eta = ۰/۴ = ۰/۴ \eta_{\text{کارنو}} = ۰/۶ \left(1 - \frac{۲۹۸/۱۵}{T_H}\right) \rightsquigarrow T_H = ۸۹۴/۴۵ \text{ K} \quad \text{یا} \quad ۶۲۱/۳^\circ C$$

مثال) دستگاه تهویه مطبوع وقتی مانند یخچال کار می‌کند می‌تواند اتاقی را خنک کند، اگر بخواهیم ۴ kW از اتاقی ۲۴°C به بیرون (در ۳۵°C) دفع شود، قدرت مورد نیاز را بیابید.

$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{۲۷۳+۲۴}{(۳۵-۲۴)} = ۲۷$$

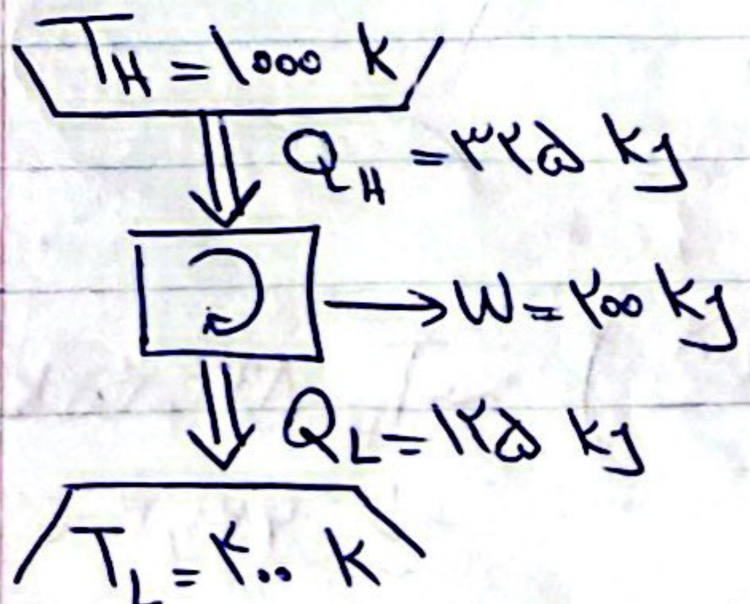
$$W = \frac{Q_L}{\beta} = \frac{۴}{۲۷} = ۰,۱۵ \text{ kW}$$

مثال) یک دستگاه فریزر خانگی در اتاقی با دمای ۲۰°C کار می‌کند. این فریزر باید مقدار ۲ kW حرارت را از فضای سرد انتقال دهد تا درجه حرارت آن در ۳۰°C- باقی بماند. از نظر تئوری توان کوچکترین موتوری که می‌تواند این فریزر را به کار اندازد چیست؟

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \qquad \beta = \frac{۲۷۳,۱۵-۳۰}{(۲۰-(-۳۰))} = ۴,۸۶۴$$

$$\beta = \frac{Q_L}{W} \rightarrow ۴,۸۶۴ = \frac{۲}{W} \rightsquigarrow W = ۰,۴۱۱۲ \text{ kW}$$

مثال) ماشین سیطی که در شکل زیر نمایش داده شده ۳۲۵ kJ انرژی از منبعی که در ۱۰۰۰ K قرار دارد، دریافت و ۱۲۵ kJ انرژی به منبعی با درجه حرارت ۴۰۰ K دفع می‌کند. این ماشین ۲۰۰ kJ کار تولید می‌کند. آیا این سیکل ممکن است یا غیرممکن؟



موتور حرارتی $Q_H = Q_L + W$

$۳۲۵ = ۲۰۰ + ۱۲۵$ ✓

$$\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{۲۰۰}{۳۲۵} = ۰,۶۱۶$$

$$\eta_{\text{کارنو}} = ۱ - \frac{T_L}{T_H} = ۱ - \frac{۴۰۰}{۱۰۰۰} = ۰,۶$$

$\eta > \eta_{\text{کارنو}}$ ← غیرممکن است ✗

تئوری توان کوچکترین موتوری که می تواند این فریزر را به کار اندازد چیست؟

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} \qquad \beta = \frac{273-30}{(20-(-30))} = 4.864$$

$$\beta = \frac{Q_L}{W} \qquad 4.864 = \frac{2}{W} \rightsquigarrow W = 0.4112 \text{ kW}$$

مثال) دستگاه تهویه مطبوع وقتی مانند یخچال کار می کند می تواند اتاقی را خنک کند، اگر بخواهیم 4 kW از اتاق 24°c به بیرون (در 35°c) دفع شود، قدرت مورد نیاز را بیابید؟

$$\beta = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{273+24}{(35-24)} = 27$$

$$W = \frac{Q_L}{\beta} = \frac{4}{27} = 0.15 \text{ kW}$$

آنتروپی:

میزان انرژی جذب شده یا دفع شده در دمای مخصوص آن منبع را آنتروپی می گویند.

(میزان بی نظمی)

کمیت مطلق $S = \frac{Q}{T}$

برای یک ماشین کارنو داریم

$$\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_C|}{T_C}$$

چنانچه کمیتهای گرمایی مربوط به ماشین باشد (نه مربوط به منابع گرمایی) مقدار عددی برای گرمای منبع مثبت و برای گرمای منبع سرد منفی می باشد.

$$\frac{Q_H}{T_H} = \frac{-Q_C}{T_C}$$

$$\rightsquigarrow \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_C}{T_C} = 0$$