



کانال امیرکبیر جزوه



@AmirkabirJ

@Amirkabiriha

دسترسی رایگان به فیلم‌های آموزشی تدریس جزوه:



www.polycoursium.com

"بنام او"

عبد کلاشتري

"جمله ۱"

"ترموديناميك ۱"

علم ترموديناميك، علم انرژی است و با کار و حرارت و تبدیل کار و حرارت به یکدیگر

انرژی قانون اول ترموديناميك: یکی از اصول اساسی طبیعت اصل بنای انرژی، یعنی انرژی

انرژی حالت به حالت دیگر تبدیل می شود ولی مقدار کلی آن ثابت است $E = PE + KE = \text{cte}$

۱۷. قانون دوم ترموديناميك:

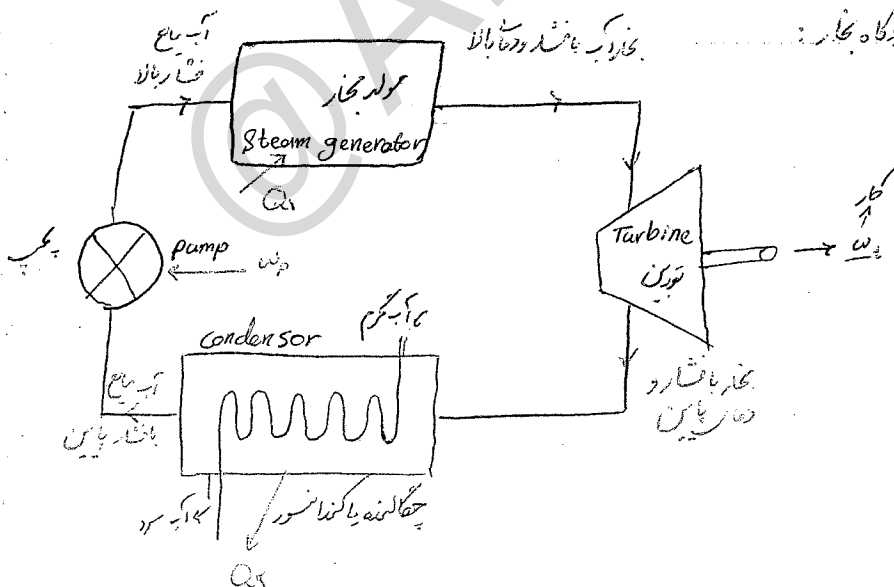
بیان می کند که انرژی علاوه بر کمیت دلای کیفیت هم می باشد و تحول

واقعی در جهت کاهش کیفیت انرژی صورت می گیرد.

۱۸. قانون مهم ترموديناميك: اگر دو جسم با هم همی دارای تداوی دمای باشند، با یکدیگر نیز تداوی دمای

دارند.

۱۹. سیکل رنرگاه بخار:



(۲)

نیروی	دما	زمان	جرم	طول
N	k, c	s	kg	m
lb_F	F, R	s	lb_m	ft
				سیستم انگلیسی
				سیستم SI

$$1 lb_m = 0,45359 kg \quad 12 in = 1 ft$$

$$1 ft = 0,3048 m$$

یک پوند نیروی که بتواند جرم $1 kg$ شتاب $1 m/s^2$ داده شود

* یک پوند نیرو، عبارت از مقدار نیروی که جرم یک اسلگ ($32,174 lb_m$) شتاب $1 ft/s^2$ بدید

$$1 N = 1 kg \cdot m/s^2$$

$$1 lb_F = 32,174 lb_m ft/s^2$$

* در سیستم انگلیسی واحد انرژی عبارت از (BTU)، مقدار انرژی مورد نیاز برای افزایش $1 lb_m$

$$1 BTU = 1,055 kJ$$

$$49^\circ K \text{ و } 48^\circ F$$

$$K = ^\circ C + 273,15$$

$$R = F + 459,67 \quad * : \text{برخی از مقیاس های دما}$$

* تعریف سیستم: (بسته و باز) ناحیه‌ای که مورد مطالعه است را سیستم می‌نامیم و اطراف

آن را محیط می‌نامیم. مرز boundary System محیط Surrounding

* بسته یا حجم کنترل: شامل مقدار ثابتی از جرم است و جری از مرز عبور نمی‌کند.

* نکته: انرژی می‌تواند به صورت کار یا حرارت از مرز سیستم عبور کند.

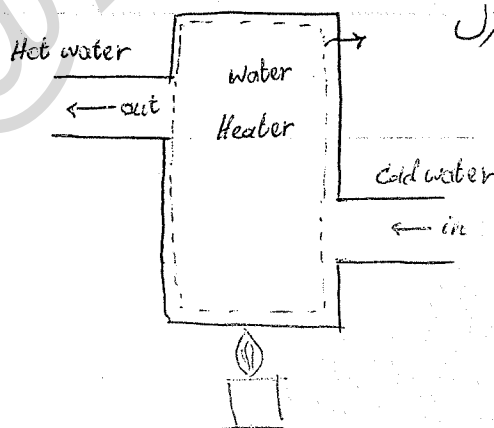
* نکته: در حجم کنترل مرز می‌تواند ثابت و یا متحرک باشد. (Fixed or Moving)

* سیستم باز یا حجم کنترل:

ناحیه‌ای از فضا که به طور منظم انتخاب شده و جریان جری در آن

برقرار است. * نکته: در حجم کنترل هم عبور جرم داریم و هم عبور انرژی

* مثال آبگرم کن. حجم کنترل



(۵)

* تعریف: هر مشخصه از سیستم را خاصیت سیستم می نامند

۱-۲. برای خواص: $\rho = \frac{m}{V} \frac{kg}{m^3}$ و $\nu = \frac{1}{\rho} = \frac{V}{m} \frac{m^3}{kg}$

خواص مقداری: خواصی که وابسته به مقدار ماده اند (m, V)

خواص شدنی: خواصی که مستقل از مقدار ماده اند (ρ, T, p)

* نکته: اگر خواص مقداری بر واحد جرم تقسیم شوند تبدیل به خواص مخصوص می شوند

انرژی درونی $u = \frac{U}{m}$ ، انرژی کل مخصوص $e = \frac{E}{m}$ ، حجم مخصوص $\nu = \frac{V}{m}$

حالت و تعادل
حالت: سیستم را در نظر بگیرید که هیچ خاصیتی از آن تغییر نکند در این حالت

گاهی خواص سیستم را می توان اندازه گیری کرد و یک حالت تعریف می شود

$m = 2 \text{ kg}$ $T_1 = 20^\circ \text{C}$ $V_1 = 1.5 \text{ m}^3$
--

حالت ① State

$m = 2 \text{ kg}$ $T_2 = 20^\circ \text{C}$ $V_2 = 2.5 \text{ m}^3$
--

حالت ② State

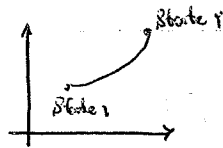
تعادل:

خواص سیستم در موضعی قابل تعریف اند که سیستم در حالت تعادل باشد

(۶) -

تعریف فاز: کمیتی همگن از ماده است که به صورت یکواخت پرموده است

فراگیند: هر تغییری که باعث می شود سیستم از حالت یک به حالت دو برود را فراگیند

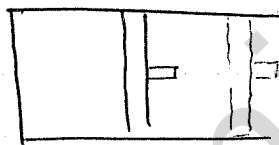


می گویند و مسیر را که طی می کند را مسیر فراگیند می گوئیم.

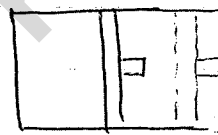
* تذکر: برای شروع کامل یک فراگیند باید حالت ابتدایی و انتهایی و مسیر طی شده مشخص باشد

فراگیند شبه تعادلی: فراگیندی که در زمانی بی نهایت کوچک رخ می دهد و انحراف از حالت اولیه

بسیار آهسته روی می دهد (بسیار آهسته)



a) Slow compression
(quasi equilibrium)
شبه تعادلی



b) Very fast compression
(non-quasi equilibrium)

چرخه: یک سیستم وقتی یک چرخه را طی می کند حالت انتهایی مورد به حالت ابتدایی

ماده شرط لازم بقین حالت: یک سیستم با خواص آن تعریف می شود حالت یک سیستم ساده ای

تراکم پذیر، وسیله ای دو خاصیت مستقل شدنی کاملاً مشخص می شود

(۷)

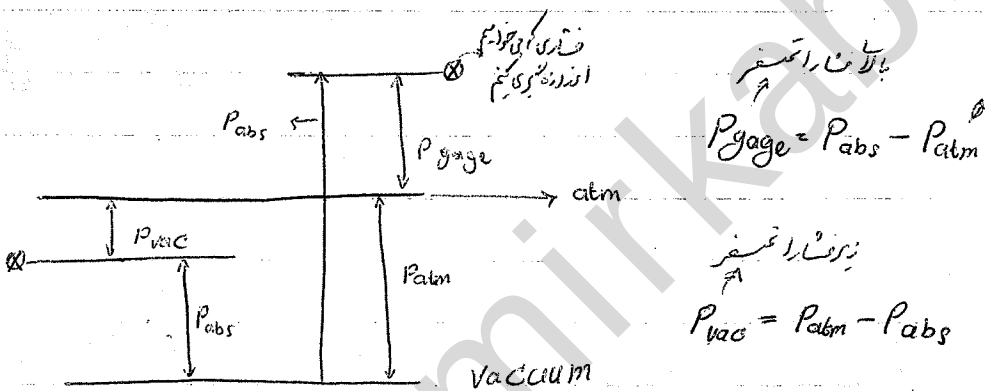
✓ نکته: دما و فشار برای سیستم های تک فاز می متقابل از هم می باشند

✓ نکته: دما و فشار برای سیستم های چند فاز می وابسته به هم می باشند

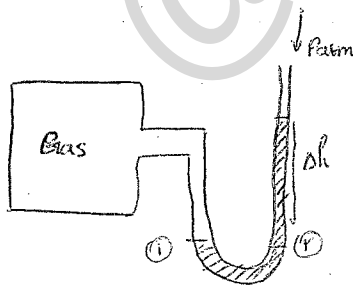
* برخی واحدهای فشاری:

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad , \quad 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ Mpa} = 100 \text{ kPa} \quad , \quad 1 \text{ atm} = 1.01325 \text{ bar} \quad \left(\frac{101325}{100000} \right)$$

نکته: فشارهای زیر فشار اتمسفر ← فشار خلاء یا vacuum



« جاب ۲ »



$$P_{\text{gas}} - P_{\text{atm}} = \rho g \Delta h$$

همان، مانومتر

(۸)

* در شکی صفحه‌ای قبل $\rho_s = 0/185$ ارتفاع ستون مانومتر 55 cm ، $P_{atm} = 94 \text{ kPa}$

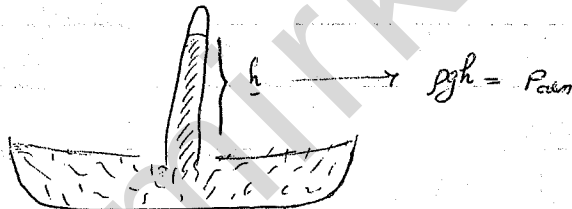
فشار مطلق درون مخزن را محاسبه نمایید

$$\rho_s = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \rightarrow \rho = 0/185 \times 1000 = 1850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$P = P_{atm} + \rho g h \Rightarrow P = 94 \text{ kPa} + 9.8 \times 1850 \times 0.55 \times \frac{1}{1000} = 100/4 \text{ kPa}$$

* نکته: برای تعیین فشار انفرزیک تحت یک لوله حاوی جیره استفاده نمی‌شود

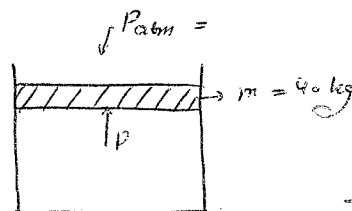
میزان ارتفاع جیره در لوله نشان دهنده فشار انفرز است



* مثال: بیستون یک دستگاه سیلندر بیستون حاوی گاز است و جرمی برابر 40 kg دارد

الف) فشار داخل سیلندر را محاسبه کنید $P_{atm} = 0/97 \text{ bar}$ ، $A_p = 0/04 \text{ m}^2$ ، $g = 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$

ب) اگر گاز حرکت داده شود تا حجم آن دو برابر گردد فشار داخل سیلندر چه تغییری می‌کند



$$\text{الف) } P_{gas} \times A_p = P_{atm} \times A_p + m \times g$$

$$\Rightarrow P_{G_1} = P_{atm} + \frac{m \times g}{A_p} = 1/12 \text{ bar}$$

ب) فشار تغییری نمی‌کند در مورد دستگاه (مجموعه)

(۹)

* فصل سوم (دین وایلن) :

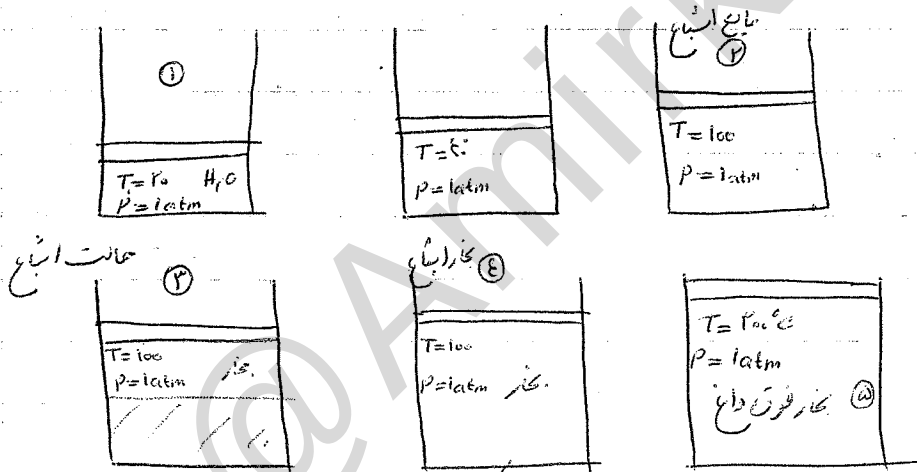
ماده خالص : ماده‌ای یکنواخت و همگن که دارای ترکیب شیمیایی یکسانی می‌باشد. نمونه چشمه

* در حالت دو فاز : زمانی خالص است که ترکیب شیمیایی هر دو فاز یکسان باشد.

(حالت ممتزاج ، حایع (سبک ، بخار اشباع ، بخار فوق داغ)

(Compress liquid , saturated liq , saturated vapor , Superheat vapor)

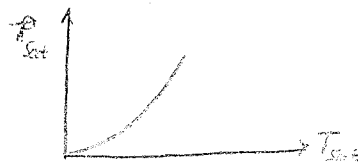
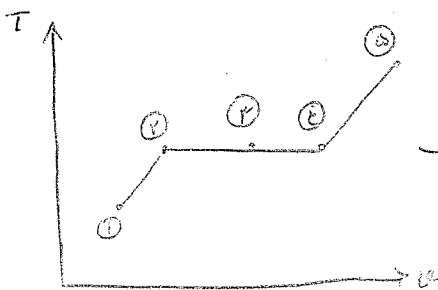
* این گازهای مختلف یک ماده خالص هستند .



* حایع اشباع : لحظه‌ای که حایع شروع به تبخیر می‌کند

* حالت اشباع : زمانی که بخار و حایع در دو با هم اند

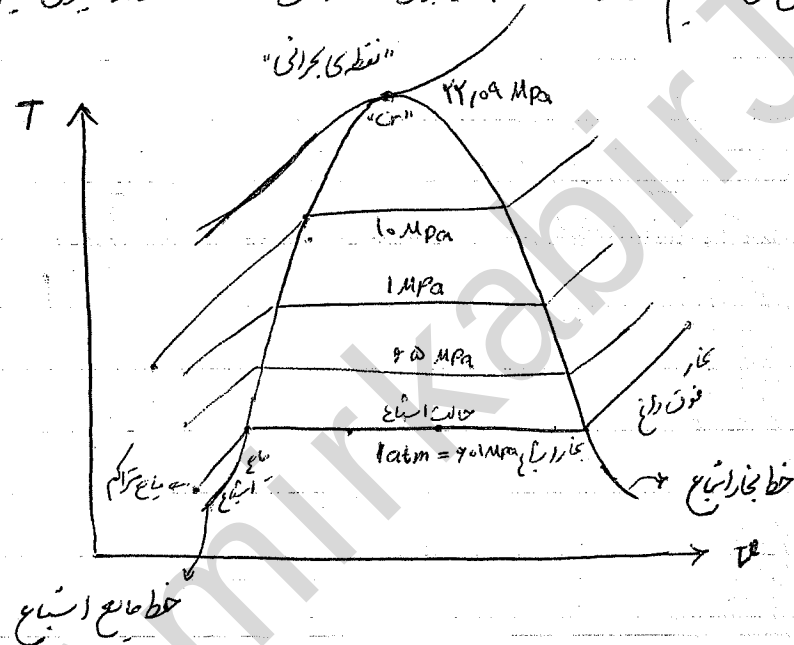
* نقطه جوش آب : به مدت به بخار اشباع وابسته است



(۱۰) فشار اشباع، در دمای معلوم، فشاری که در آن ماده خالص شروع به جوشیدن می‌کند

دمای اشباع، در فشار معلوم، دمای که در آن ماده خالص شروع به جوشیدن می‌کند

* حال می‌خواهیم نمودار $T - v$ را برای فشارهای مختلف اندازه‌گیری کنیم.



* نقطه بحرانی (critical point):

در نقطه بحرانی حالت اشباع و مایع وجود ندارد و در

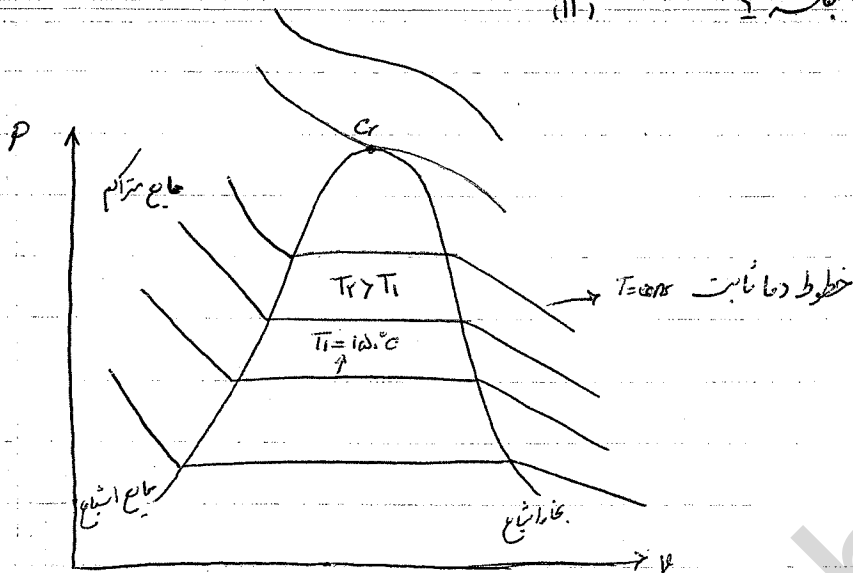
دمای بالاتر از آن بخار فوق داغ و دمای پایینتر از آن را مایع متراکم گوئیم.

$$T_{cr} = 374.14^{\circ}\text{C} \quad , \quad P_{cr} = 22,109 \text{ MPa} \quad , \quad v_{cr} = 0.003155 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

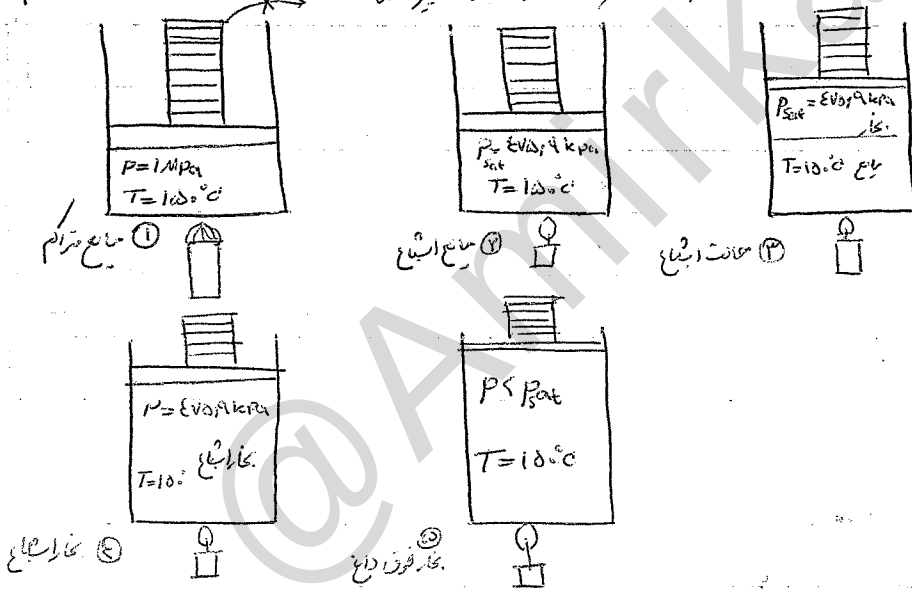
بنابراین، در فشارهای بالاتر از فشار بحرانی یک فرایند قابل تشخیص وجود ندارد؛ در واقع

مرز بین فاز گاز و مایع مشخص نیست.

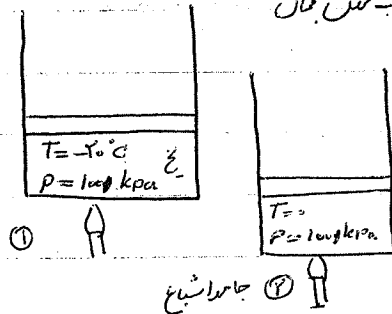
جواب ۴ (الف)



دیتورز، برقی داریم: در واقع ثابت است. دواتر P حرف تغییر حالتی بود. یکسره در دواتر می داریم: در واقع متراکم می کنیم.



۱۲) * اکثر مراد، نظام انجمن عثمان کا ہنس می یابد و حکام ذرب سن عثمان



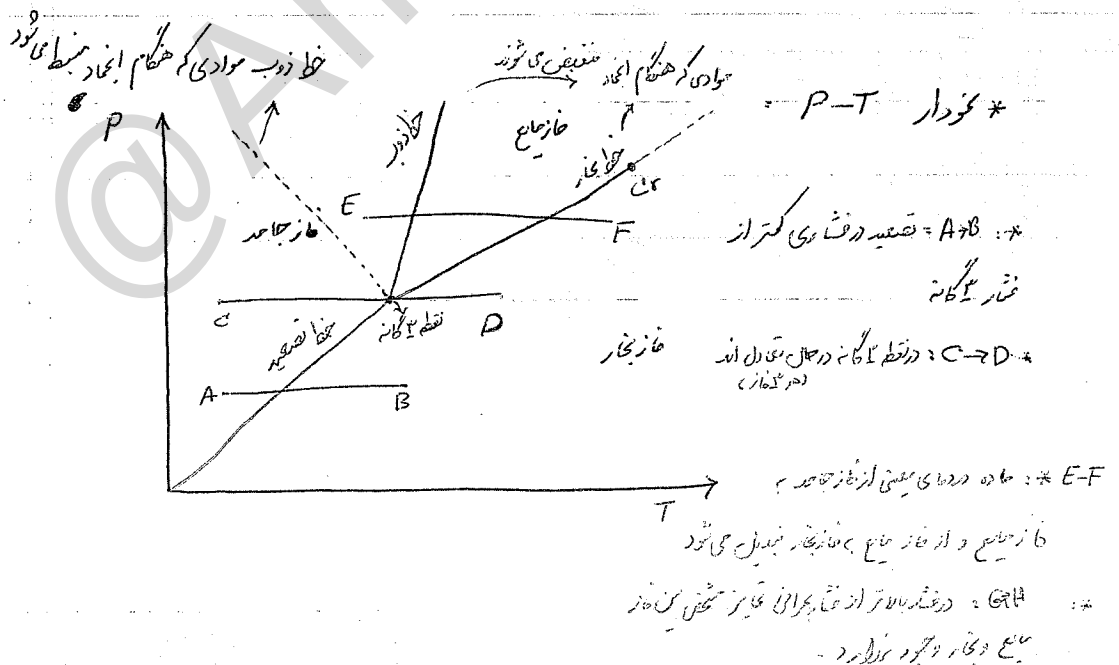
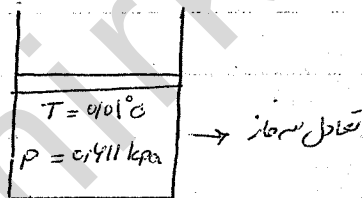
افزایش می یابد به جز: اکبر، چندن بیسکوت

*نکۃ: در آیه جم مخصوص مبالغه کنیز از جم مخصوص جامداست

جامعہ اشباع، زمینی کہ جامعہ شروع بہ ذہب شہن می کند .

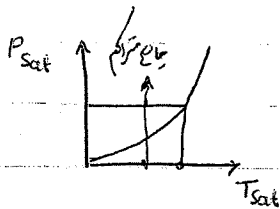
۷* تصدیه تبدیل منقسم جامد بخار (Sublimation)

نقطہ سه گانه: (Triple point) نقطه‌ای که در آن سه فاز (جامد - مایع - گاز) در حال تعادل است.



* جمع بندی:

۱. برای مواد خالص با داشتن دو خاصیت مستقل از هم حالت ماده تعیین می گردد.



۲. در حالت اشباع، دما و فشار دو خاصیت مستقل از هم نبوده لذا

، خاصیتی دیگر، نام حجم مخصوص نیز داریم

* نکته: اگر مایع در فشار خاص، دمای پائین تر از دمای اشباع باشد، جامع متراکم خواهد بود.

جله ۵

کیفیت یا ضریب خشکی quality

* نکته: در مخلوط های اشباع کیفیت می نوکند

$$x = \frac{m_g}{m_{\text{کل}}} = \frac{\text{جرم بخار در مخلوط}}{\text{جرم کل}} = \frac{m_g}{m_g + m_f}$$

$$0 \leq x \leq 1$$

مغزین خاصیت مستقل در نظر بگیریم.

بخار اشباع $\Rightarrow x=1$ ، جامع اشباع $\Rightarrow x=0$

جامع مخصوص $\rightarrow v_f$
جامع گاز $\rightarrow v_g$

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

v_g بخار
v_f جامع

$$\Rightarrow v = v_g + v_f \Rightarrow m v = m_f v_f + m_g v_g$$

$$\Rightarrow v = (1-x) v_f + x v_g \Rightarrow v = v_f + x v_{fg}$$

$v_{fg} = v_g - v_f$

(۱۴)

مثال: یک مخزن صلب حاوی ۵۰ kg آب اشباع در دمای 90°C می باشد. فشار داخل مخزن و

$$\boxed{\begin{matrix} \text{H}_2\text{O} \\ m = 50 \text{ kg} \end{matrix}}$$

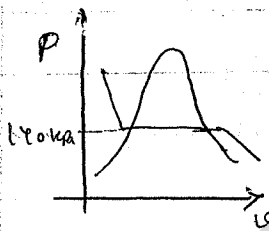
حجم مخزن را تعیین کنید.

$$P = ? \rightarrow P = P_{\text{sat}} = 70.14 \text{ kPa}$$

$$v = ? \rightarrow v_f = v_g = 0.001044 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$V = m \times v = 50 \times 0.001044 = 0.0522 \text{ m}^3$$

* مثال: یک مخزن ۸۰ لیتری حاوی فریون ۱۲ در فشار ۱۲۰ kPa می باشد.



الف - دمای ماده فریون (۱۲-۱۲)

ب - کیفیت

$$V = 80 \text{ lit}$$

$$P = 120 \text{ kPa}$$

ج - حجم اشغال شده توسط فاز بخار

$$P = 120.9 \rightarrow T_{\text{sat}} = -20^{\circ}\text{C}$$

$$\text{الف) } P = 120 \rightarrow T_{\text{sat}} = -18.8^{\circ}\text{C}, v_f = 0.0007874$$

$$v_g = 0.1041$$

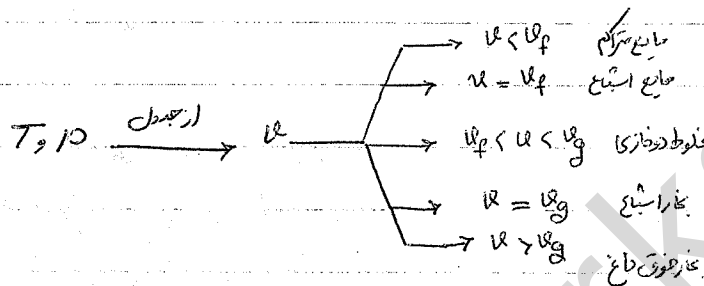
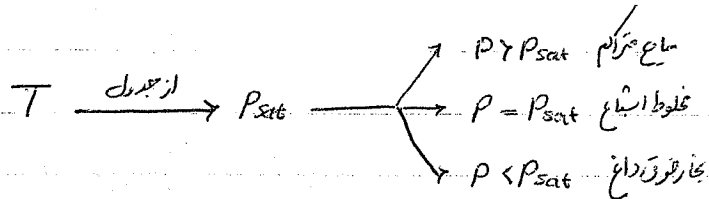
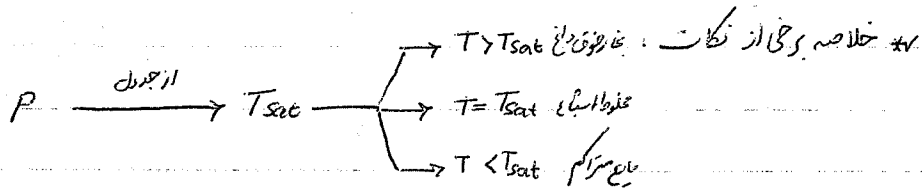
$$\text{ب) } v = \frac{0.08}{x} = 0.02 \text{ m}^3/\text{kg} \rightarrow v_f < v < v_g$$

$$\Rightarrow x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.02 - 0.0007874}{0.1041 - 0.0007874} = 0.188$$

$$\text{ج) } x = \frac{m_g}{m} \rightarrow m_g = 0.188 \times 80 = 15.04 \text{ kg}$$

$$V_g = m_g v_g = 15.04 \times 0.1041 = 1.565 \text{ lit}$$

(۱۵)



* مثال : آب داریم در فشار ۵ MPa و دمای مشخص ۱۱۷.۵۷ : $T = ?$ و ...
 از جدول $\rightarrow v_f = 0.001284 \text{ m}^3/\text{kg}$, $v_g = 0.04944 \text{ m}^3/\text{kg}$

از جدول $\rightarrow T = 100^\circ\text{C}$
 بخار فوق داغ : $v > v_g$

* مثال :
 $R-134a \rightarrow T = 0^\circ\text{C}$
 $v = 0.05$
 $P = ? \rightarrow P = 294.0 \text{ kPa}$

$v_f = 0.000771 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v_g = 0.06919 \text{ m}^3/\text{kg}$
 $v_{fg} = 0.06842 \text{ m}^3/\text{kg}$

$x = \frac{v - v_{fg}}{v_{fg}}$

جله ۲

(۱۲)

جله ۲

* مثال ۷: H_2O $\left\{ \begin{array}{l} T = 40^\circ C \\ \rho = 19194 \text{ kg/m}^3 \end{array} \right.$ $\xrightarrow{\text{مایع اشباع}} v_f = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg}$

$\left\{ \begin{array}{l} T = 40^\circ C \\ \rho = 5000 \text{ kPa} \end{array} \right.$ $\xrightarrow{\text{مایع متراکم}} v = 0.001015 \text{ m}^3/\text{kg}$

* نکته: چون مایعات غیر قابل تراکمند حجم مخصوص تغییر قابل توجهی نمی کند.

* بسیار مهم: در صورت نداشتن اطلاعات مربوط به مایع متراکم باید نزدیک به جدول می توان مایع تحت فشار را مایع اشباع در نظر گرفت.

مثال ۸: $NH_3 \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \rho = 5 \text{ MPa} \\ T = 50^\circ C \\ v = ? \end{array} \right. \rightarrow \rho > \rho_{sat} \text{ , } \rho_{sat} = 1554.9 \text{ kPa}$
مایع متراکم
 $\rightarrow v \approx v_f = 0.001725 \text{ m}^3/\text{kg}$

مثال میان یابی: H_2O داریم

$\left\{ \begin{array}{l} \rho = 22 \text{ kPa} \\ T_{sat} = ? \end{array} \right.$

x_1 y_1
 x $y = T$
 x_2 y_2

میان یابی خطی

$y = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} (x - x_1) + y_1$

$\Rightarrow x_1 = 20 \text{ kPa} \text{ , } y_1 = T_1 = 40.104^\circ$

$x_2 = 22 \text{ kPa} \text{ , } y_2 = T_2 = ?$

$x_2 = 20 \text{ kPa} \text{ , } y_2 = T_2 = 44.97^\circ$

$T = 42.024^\circ C$

(iv)

H_2O
 $\left\{ \begin{array}{l} p = 1 \text{ مپا} \\ v = 0.125 \frac{m^3}{kg} \end{array} \right. \longrightarrow \text{خارون کم}$
 $T = 9$

$$T_1 = 800 \quad u_1 = 0.104 \omega a$$

$$T = ? \quad n = 0,125 \Rightarrow T = 400 + \frac{500 - 250}{(0,125(11) - 0,125(9))}$$

$T = 200^\circ\text{C}$ $\mu_f = 0.15 \text{ Pa}\cdot\text{s}$

$(0, 100 - 0, 100)$
 $= \text{EPA/VEI}^{\circ} 0$

470 $\left\{ \begin{array}{l} P = 1500 \text{ kPa} \\ T = 510^\circ \text{C} \end{array} \right. \rightarrow \text{کارون کم}$
 $v = ?$

درد دل بخافوت گرم فشار ۱۵۰۰ ندارم!

[illegible]

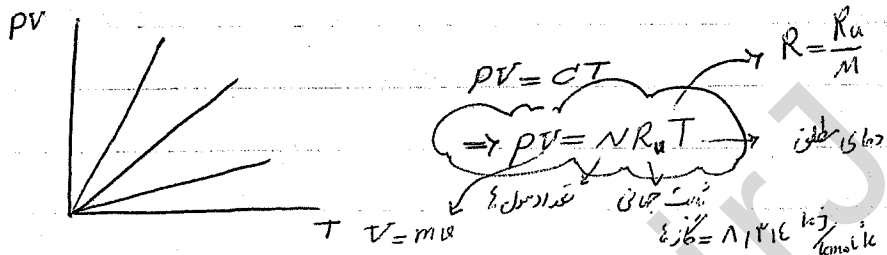
$$(1) \rightarrow V_1 = \frac{(0.14999 - 0.15029)}{(900 - 500)} (\omega_{10}^2 - \omega_{00}^2) + 0.15029 = 0.14999$$

$$\textcircled{1} \rightarrow y = \frac{(0.128099 - 0.120110)}{(1.000 - 1.000)} (2.000 - 1.000) + 0.120110 = 0.120110$$

$$\Rightarrow v = \frac{v_c - 3}{R_c - 1} (p - R_c) + 3 \Rightarrow v = 0 / \forall \epsilon \in \mathbb{N}^*$$

(W)

۱. حرابطی بن ۲. بارامتر بالا ۳. مدار می حالت گفته می شود



$m = N \times M$
جرم کل ← تعداد حوصله جرم حوصله

$$\Rightarrow \textcircled{1}: pV = RT$$

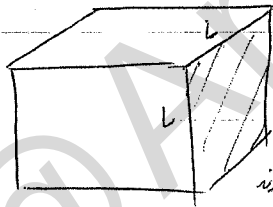
⑤. $pV = mRT$

$$(1) \quad p \bar{v} = R_u T$$

$$P \times m v^2 = N \frac{m}{m} R \times T$$

حجم مخصوص مولی $\frac{m^3}{kmol}$ یعنی حجم به ازای مول

*: تعریف یک مفهوم



۲۱ از نوکلون خاب همجسور است

۱۱ ۱۱ ۱۱ جہلو و عقب میں نکروند

۷ " " " بان و بیست و نه

فرضه: $V = 0$ ← حرکتی ندارد

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m \overset{\text{vel}}{v})}{dt} = m \frac{dv}{dt}$$

$$\Rightarrow \left| \frac{m_{rel}}{m_{rel}} \right| \quad \Delta P = \gamma m_{rel} \Rightarrow \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{\gamma m v}{\Delta t} = \frac{m v^c}{l} \rightarrow \text{نیروی مرکز
جاذبه}$$

$$\Delta t = \frac{\partial L}{v}$$

$$\rightarrow F = \frac{N'}{r} \frac{mv^2}{L}$$

$$P = \frac{F}{L^r} \cdot \frac{N}{r} \cdot \frac{mV}{L^r}$$

$$PV = \underline{N} m \overline{v^2} = N R_u T$$

$$\frac{mv^2}{r} = \frac{w}{r} \left(\frac{R_u}{N_a} \right) T = \frac{w}{r} kT$$

$$\Rightarrow \frac{r}{4} kT = \frac{m v_{el}^2}{2}$$

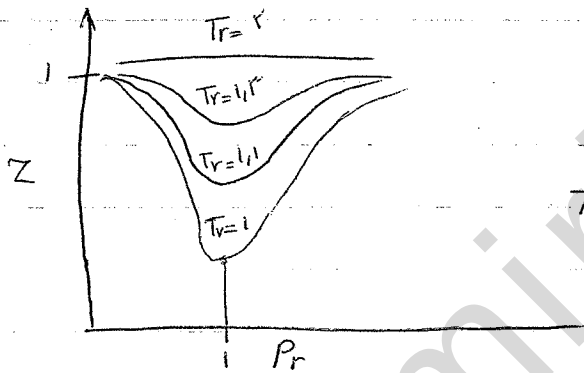
(۱۹)

* تعریف گاز ایده آل کامل: در فشارهای پایین و دمای بالا چگالی گاز کاهش می یابد و در نتیجه گاز

مانند گاز کامل عمل می کند.

* ضریب تراکم پذیری: (Z)

$$Z = \frac{p v}{RT} \quad \text{یا} \quad Z = \frac{v_{\text{واقعی}}}{v}$$



$$Pr = \frac{p}{p_{cr}} \quad \text{فشار کاهش یافته}$$

$$Tr = \frac{T}{T_{cr}}$$

گاز ایده آل $Z=1$

* رفتار شبیه گاز ایده آل:

$$Pr \ll 1$$

$$p v = Z R T$$

$$Tr > 2$$

ما، زمانی می توانیم گاز را ایده آل فرض کنیم.

- مولکول ها هم نیرو دارند.

- از هندسه مولکول نسبت به فاصله آن می توان صرف نظر کرد.

(۲۰)

$$\text{CH}_4 \quad \left\{ \begin{array}{l} P = 2 \text{ MPa} \\ T = 20^\circ\text{C} = 293.15 \end{array} \right. \xrightarrow{2-1} \begin{array}{l} T_{cr} = 190.4 \text{ K} \\ P_{cr} = 4.7 \text{ MPa} \end{array}$$

$$\Rightarrow P_r = \frac{P}{P_{cr}} = \frac{2}{4.7} = 0.425$$

$$\Rightarrow T_r = \frac{T}{T_{cr}} = \frac{293.15}{190.4} = 1.54$$

از روی نمودار: $0.195 < Z < 1$ ، گاز ایده آل نزدیک است ولی ایده آل نیست

نکته

۱. نکته: حرم از ناحیه‌ی اشاعه دور شده ، رفتار گاز حقیقی به رفتار گاز ایده آل نزدیک تر می شود یعنی T زیاد و P کم شود.

۲. نکته: $P_r = Z T_r$ برای یک گاز ایده آل بیان می شود ولی حالت کامل و جامع ترین فرمول

$P_r = Z T_r$ است که برای گازهای نزدیک به ایده آل بیان می شود. گاز ایده آل $Z=1$

۳. نکته: در نمودار صفحه‌ی قبل (نمودار "د-۱" دین و لین) :

۱. اگر فشار حقیقی کم باشد ($P_r < 1$) مثل گاز ایده آل را می توان برای هردما با تقریب خوبی

به دست آورد

۲. به نظر اگر دما خیلی زیاد باشد (دو برابر T_c یا بیشتر) از مدل گاز ایده آل برای فشارهای

عده ۵ برابر هم استفاده کرد.

۱* حرارت : * حرارت نوعی از انرژی است که از مرز سیستم و از دمای بالا به دمای پایین حرکت

می کند . در واقع به عبارت دیگر تبادل انرژی زمانی حرارت نام می گردد که فقط به دلیل اختلاف

دما اتفاق می افتد

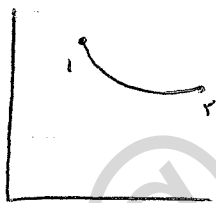
* نکته : یک جسم به خودی خود حرارت ندارد بلکه حرارت در مرز سیستم مفهوم پیدا می کند

فرا کنید آیا با یک جسم به خودی خود هیچ انتقال انرژی در آن صورت نگردد فرا کنید آیا با یک گهتمی خود

$$Q=0$$

* : Q_r مقدار حرارت انتقال یافته وقتی سیستم دچار تغییر از حالت ① به ② گردد .

$$Q_r = \int \delta Q$$



δ : دیفرانسیل غیر دمنی است زیرا Q تابع مسیر است

$$\dot{Q} = \frac{\delta Q}{dt}$$

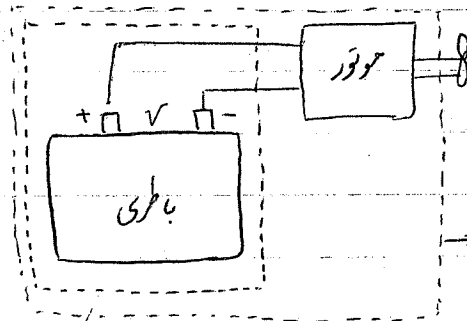
$$q = \frac{Q}{m}$$

* کار : مانند حرارت نوعی تبادل انرژی بین یک سیستم و محیط است اگر عبور انرژی از مرز

به صورت حرارت نباشد به صورت کار است

(۲۲)

* کار و قی به وسیله سیستم انجام می شود کم اثر آن بر محیط، بالا بردن وزن باشد



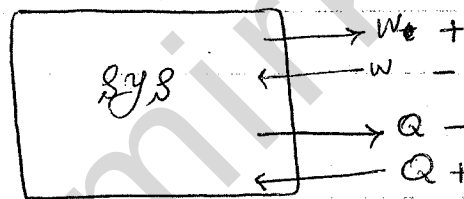
نکته: وقتی جریان الکتریسیته از سرب عبوری کند: کار نوبدی شود

۱) کار انجام می شود

نکته: در عرض ۲ به دلیل وجود اختلاف

پتانسیل، الکترون ها از عرض عبوری کنند و بدین ترتیب انرژی از طریق الکترون منتقل می شود که کار داریم

* تعیین علامت کار و حرارت:



$$\dot{W} = \frac{\delta W}{dt}$$

$$, \quad \dot{W} = \frac{W}{m}$$

← *

جمع بندی:

* کار و حرارت زمانی شناخته می شوند که مرزهای سیستم را قطع کنند یا به عبارت دیگر حدود

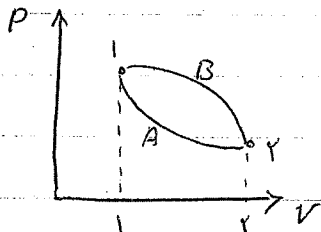
محدوده های مرزی هستند

(۲۲)

*۷: یک سیستم دارای انرژی است نه خوارت و نه کار، کار و خوارت پدیده‌های اشتقاقی در نظر اند.

*۷: هر دوی آن‌ها به یک فرایند مربوط می‌شوند نه یک حالت، به طلاف خواص

*۷: هر دوی آن‌ها به تابع مسیر هستند (یعنی علاوه بر مقدار ابتدا و انتها به مسیر طی شده در هنگام گذر دارد)

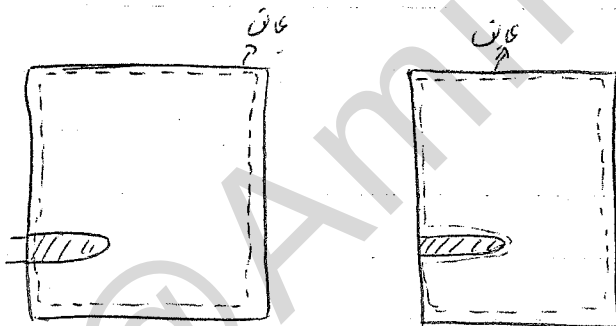


$$\Delta V_A = V_2 - V_1 = 2 \text{ m}^3 \quad W_A = 1 \text{ kJ}$$

$$\Delta V_B = V_2 - V_1 = 2 \text{ m}^3 \quad W_B = 1 \text{ kJ}$$

$$\Delta V = \int_1^2 dV = V_2 - V_1 \quad \text{و} \quad W = \int_1^2 P dV$$

*: یکی از حجم‌های در مسائل تعریف می‌شود و مرکز آن است.

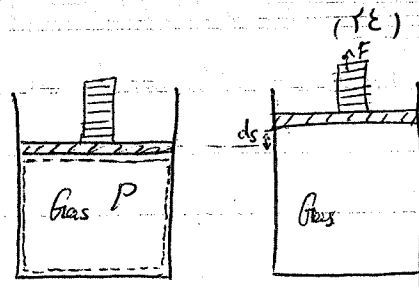


مثال:

$$W = N \cdot V$$

$$\dot{W} = I \cdot V$$

$$Q = \text{حرارت درام}$$



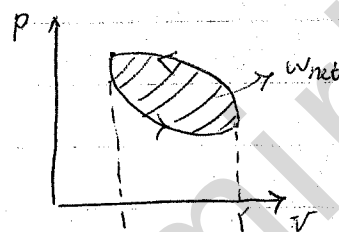
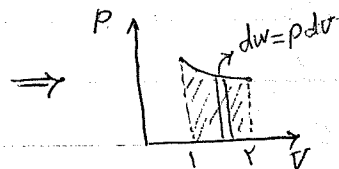
نسبی کار:

$$\Rightarrow \delta w = F \cdot ds = p \cdot A \cdot ds$$

$$\Rightarrow \delta w = p dv$$

$$\Rightarrow w = \int \delta w = \int p \cdot dv$$

$p \rightarrow$ فشار مطلق
 $dv \rightarrow$ تغییر حجم



* در یک چرخه:

* مثال: یک دستگاه سیلندری پیستون را در نظری گرم، روی پیستون یک سری وزنه می‌گذاریم.

غشای اولیه 200 kPa، حجم اولیه 0.1 m^3 است. الف) یک ششم زیر سیلندر قرار می‌دهیم با فرض این

که فشار ثابت است حجم سیلندر 0.1 m^3 مطلوب کار انجام شده توسط سیستم.

ب) همان سیستم قبلی را در نظری گرم این بار ضمن حرارت دادن وزنه‌ها را به گونه‌ای برمی‌داریم

که $pV = \text{cte}$ (ج) در شرایطی که $pV^n = \text{cte}$ و $n = 1.2$

(۲۵)

$$W_r = \int p dV = p(V_2 - V_1) = 12 \text{ kJ} \quad \text{الف}$$

$$pV = cte \rightarrow p_1 V_1 = p_2 V_2 = pV \quad \text{ب}$$

$$\Rightarrow p = \frac{cte}{V} = \frac{p_1 V_1}{V}$$

$$\Rightarrow W_r = \int cte \frac{dV}{V} = \int_1^2 \frac{p_1 V_1}{V} dV = p_1 V_1 \int_1^2 \frac{dV}{V} = p_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Rightarrow W_r = 1000 \times 0.08 \ln \frac{1}{0.1} = 17.17 \text{ kJ}$$

$$p_1 = \frac{p_1 V_1}{V_1} = \frac{1000 \times 0.08}{0.1} = 800 \text{ kPa}$$

$$pV^n = cte \Rightarrow p_1 V_1^n = p_2 V_2^n \Rightarrow p = \frac{cte}{V^n} = \frac{p_1 V_1^n}{V^n} \quad \text{ج}$$

$$\rightarrow W_r = \int p dV = \int \frac{cte}{V^n} dV = cte \int_1^2 \frac{dV}{V^n} = cte \left(\frac{V^{-n+1}}{-n+1} \right)_1^2$$

$$\rightarrow \frac{cte}{1-n} [V_2^{1-n} - V_1^{1-n}] = \left(\frac{cte}{p_2 V_2} V_2^{1-n} - \frac{cte}{p_1 V_1} V_1^{1-n} \right) \times \frac{1}{1-n} = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-n}$$

$$\Rightarrow W_r = \frac{101.77 \times 0.1 - 1000 \times 0.08}{1 - 1.3} = 17.17 \text{ kJ}$$

$pV^n = cte$ بسیار نزدیک نزدیک به بی نهایت

$$W_r = \frac{p_2 V_2 - p_1 V_1}{1-n}$$

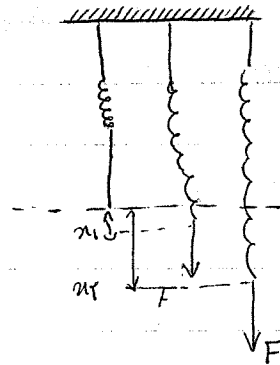
$pV = mRT$

$$W_r = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$$

(۲۶)

جواب ۱

✓ * کار فشر:



$$\Rightarrow \delta W = F \cdot dx = k \cdot x \cdot dx \quad (1)$$

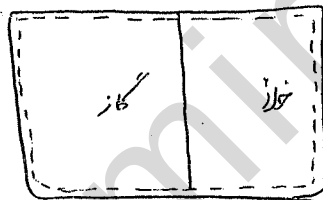
Rest point

$$\Rightarrow F = kx \quad (2)$$

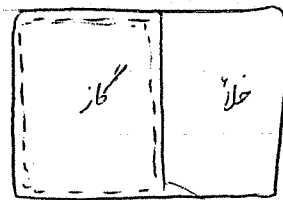
$$W = \int_1^2 F \cdot dx = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

$$\Rightarrow W_{\text{spring}} = \frac{1}{2} k (x_2^2 - x_1^2)$$

* مثال:



$$W_f = 0 \quad (الف)$$



$$W_c = 0 \quad (ب)$$

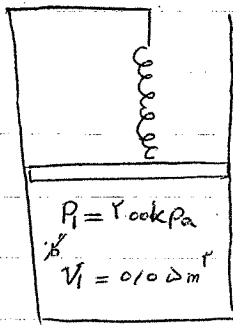
* نکته: هوای تغییر حجم ناشی کار نیست

* مثال: یک دستگاه سیلندر و پیستون حاوی 0.105 m^3 گاز با فشار اولیه 200 kPa .یک فنر خطی با ثابت $15 \frac{\text{N}}{\text{m}}$ به پیستون وصل است. اما پیستون به آن اعمال می‌کنند حال گاز

حرارت می‌دهیم در نتیجه پیستون بالای رود و فنر را می‌فشارد تا زمانی که حجم سیلندر پیستون ۱ برابر گردد

(۲۷)
اگر $A_p = 0.025 \text{ m}^2$ باشد تعیین کنید الف) فشار نهایی ب) کار انجام یافته بر وسیله گاز

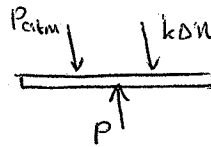
ج. محاسبه از کار کم سبب فشرده شدن فشرده



$$V_f = 2V_i$$

$$P_f = ?$$

$$W_f$$



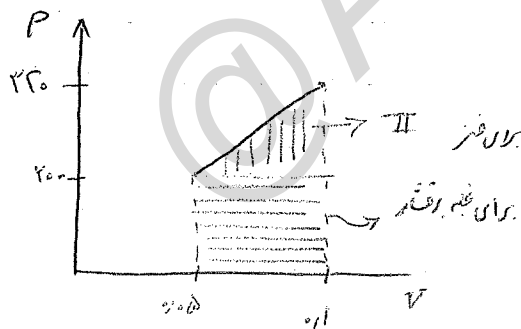
$$\Rightarrow P = P_{atm} + \frac{k(x_f - x_i)}{A_p}$$

$$= P_{atm} + \frac{k A_p^s (x_c - x_i)}{A_p^r} = P_{atm} + \frac{k (V_c - V_i)}{A_p^r}$$

$$\Rightarrow 1) P_i = P_{atm} + \frac{k}{A_p^r} (0) \Rightarrow 200 \text{ kPa} = P_{atm}$$

$$2) P_f = P_{atm} + \frac{k}{A_p^r} (V_f - V_i) = 200 \text{ kPa} + \frac{100}{0.025} (2V_i - V_i) = 220 \text{ kPa}$$

$$\Rightarrow W_f = \frac{220 + 200}{2} (0.01 - 0.025) = 12 \text{ kJ}$$



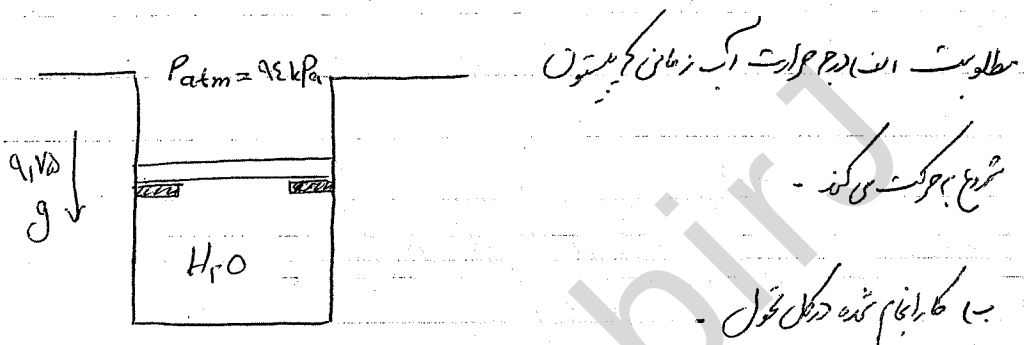
$$2) W_{II} = \frac{(220 - 200)}{2} \times (0.01 - 0.025) = 12 \text{ kJ}$$

* از اشکال هم می توان حل کرد ولی کار سخت خواهد شد

(۲۸)

مثال: یک سیلندر پیستون شامل ۱ کیلوگرم آب اشباع در دمای 30°C می باشد. $A_p = 0.0156 \text{ m}^2$

$m_p = 40 \text{ kg}$ حجم در این حالت 1 m^3 پیستون را جابجا می دهیم تا سیلندر تنها شامل بخار اشباع شود



$$m_p = 40 \text{ kg}$$

$$A_p = 0.0156 \text{ m}^2$$

$$m_{H_2O} = 1 \text{ kg}$$

$$T_i = 30^\circ\text{C}$$

$$V_i = 1 \text{ m}^3$$

حالت آب اشباع

$$\rightarrow P_i = P_{sat} = 4.246 \text{ kPa}$$

$$\rightarrow v_i = \frac{V_i}{m_i} = 1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

حالت آب اشباع

$$P = P_{atm} + \frac{m_p \times g}{A_p} = 94 + \frac{40 \times 9.78}{0.0156 \times 1000} = 100 \text{ kPa}$$

$$P = 100 \text{ kPa}$$

$$v = 0.1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_f = 0.001044 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 1.673 \text{ m}^3/\text{kg}$$

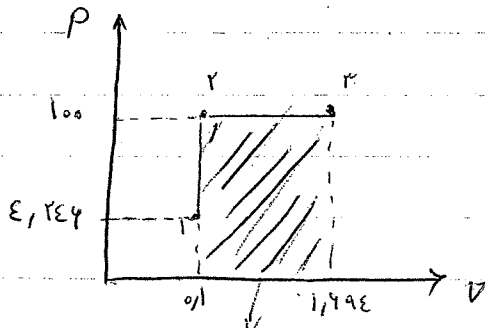
$$T = 99.63^\circ\text{C} \leftarrow \text{در دمای اشباع در فشاری است} \leftarrow v_f < v < v_g$$

$$\rightarrow P_f = 100 \text{ kPa}$$

$$\rightarrow v_f = v_g = 1.673 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\Rightarrow V_f = 1.673 \times 1 = 1.673 \text{ m}^3$$

(۲۹)



$$W = W_c + W_m = 100 \times (1,294 - 0,1) = 1,194 \text{ kJ}$$

"حاجب ۹"

* قانون اول ترمودینامیک

* نکته: کار و حرارت باعث تغییر انرژی سیستم می شوند

* قانون اول ترمودینامیک به برابری دیگر

انرژی خالصی که به صورت

انرژی یا کار = کار یا حرارت به (دراز) از
سیستم منتقل می شود

انرژی نیست

حرارت خالص

تغییرات خالص انرژی $Q - W = \Delta E$

کار خالص انجام

یافته در تمام اشکال در هر سیستم

(۲۰)

* E : همی انواع انرژی سیستم در حالت مشخص است .

$$E = kE + PE + U$$

(وابسته به حالت انرژی درونی) $\rightarrow$ kE : انرژی جنبشی
 PE : انرژی پتانسیل
 U : انرژی داخلی

* نکته : kE و PE و U : هر سه خاصیت سیستم اند . وابسته به حرکتی مختصات و دیرا سبیل داشتن دارند

$$\Rightarrow Q - W = \Delta E = \Delta PE + \Delta kE + \Delta U \quad (\text{تساوی})$$

$$\Rightarrow \delta Q - \delta W = dE = d(PE) + d(kE) + d(U)$$

توانی نقطه‌ای $\rightarrow$ δQ و δW : توابع مسیر اند

* نکته : صادم مقابل بیناگر آن است که وقتی یک جسم کنترل تغییر حالت روی می دهد

انرژی می تواند به صورت کار یا حرارت از مرزهای سیستم عبور کند * امکان دارد هر یک از

آن در مثبت یا منفی باشد * تغییر خالص انرژی سیستم دقیقاً برابر است با انرژی خالص عبور

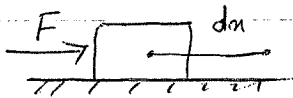
کرده از مرز سیستم .

* قانون اول ترمودینامیک به ازای واحد حجم :

$$* q - w = \Delta e$$

$$* \delta q - \delta w = de$$

* یک سیستم (جرم کنترل) فرض کنید، زمین را دستگاه مختصات فرض کنید. با فرض این که



انتقال حرارت و تغییر انرژی درونی نداریم.

$$\delta W = -F \cdot dx \rightarrow \text{انرژی سیستم انجام می‌دهد}$$

$$\delta Q - \delta W = d(kE) + d(pE) + d(u) \Rightarrow \delta W = -F dx = -d(kE)$$

$$\Rightarrow m v \frac{dv}{dx} \cdot dx = d(kE) \Rightarrow \int_{kE}^{kE} dkE = \int_{v=0}^v m v dv \Rightarrow kE = \frac{1}{2} m v^2$$

حال چنان فرض بکنیم که در صورت غور در زمین، پس از dz بالاتر می‌رویم

$$\delta W = -F \cdot dz \quad d(pE) = F \cdot dz = mg dz \quad pE = \int_{z=0}^z d(pE) = mgz$$

$$\Rightarrow kE = \frac{1}{2} m v^2, \quad pE = mgz$$

$$\delta Q - \delta W = dE = d(kE) + d(pE) + d(u) \quad * \text{در حالت کلی}$$

$$\Rightarrow d\left(\frac{mv^2}{2}\right) + d(mgz) + d(u)$$

$$Q - W = \Delta E = \frac{1}{2} m (v_2^2 - v_1^2) + mg(z_2 - z_1) + (u_2 - u_1)$$

$$u = \frac{U}{m} \quad \text{انرژی درونی مخصوص}$$

* نکته: انرژی درونی یکی دیگر از خاصیت های مرسوم در ماکروسکوپی می تواند باشد. باید خاصیت دیگر حالت سیستم را مشخص کند.

* نکته: انرژی درونی مایع اشباع و بخار اشباع متفاوت است. مایع اشباع باید در حرارت داده شود تا بخار اشباع شود.

$$u_f, u_g$$

* نکته: حالت مبسای انرژی درونی $u_f = 0 \Rightarrow u_f = 0$ آب در دمای $T = 0.01^\circ C$

$$R-12, R-134a \Rightarrow T = -40^\circ C, u_f = 0$$

* در حالت دو فاز:

$$* u = u_f + x u_{fg} \quad (z)$$

$$* u = (1-x)u_f + x u_g \quad (z)$$

جواب ۱۰

* گرم شدن قانون اول ترمودینامیک

$$\frac{\delta Q}{\delta t} - \frac{\delta W}{\delta t} = \frac{dE}{dt} = \frac{du}{dt} + \frac{dkE}{dt} + \frac{dPE}{dt}$$

$$\delta \dot{t} \rightarrow \Rightarrow \dot{Q} - \dot{W} = \frac{du}{dt} + \frac{dkE}{dt} + \frac{dPE}{dt}$$

(۲۳)

۱- روش حل مسئله + بارسم بخایی از شکل سیستم را مشخص می‌کنیم.

+ اطلاعات داده شده را روی شکل می‌نویسیم

+ روی فرآیندهای خاص تأمل می‌کنیم

+ یقین مفروضات مسئله + بکارگیری معادلات اصل بقا

+ رسم نمودار فرآیند + یقین مجهولات مسئله

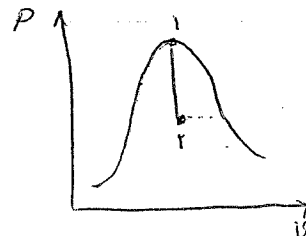
* مثال: یک سیلندر که زغارش با حجم ثابت ۱۰ مایه جادی آب در نقطه‌ای بحرانی است

اکنون سیلندر تا درج حرارت 20°C سردی کنیم مقدار انتقال حرارت طی این فرآیند؟ $Q_R = ?$



$$KE = 0$$

$$PE = 0$$



۱) نقطه‌ای بحرانی

$$v_1 = v_2 = 0.1 \text{ L}$$

$$u_1 = u_{cr} = 0.002155$$

$$u_2 = u_{cr} = 20.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_R = ?$$

$$T_2 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$v_g = 0.001002 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad v_f = 0.001002$$

$$v_{fg} = 0.001002$$

$$v_1 = v_2 = 0.001002$$

$$\Rightarrow x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.001002 - 0.001002}{0.001002} = 1.7154 \times 10^{-5}$$

(۲۴)

$$\Rightarrow m = \frac{0.1 \times 10^{-3}}{0.0003155} = 0.00031749 \text{ kg}$$

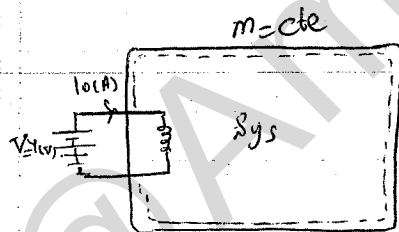
$$\left\{ \begin{array}{l} T_c = 20^\circ\text{C} \\ u_f = 12.48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ u_{fg} = 2218.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right. \Rightarrow u_r = u_f + x u_{fg} \Rightarrow u_r = 12.1024 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_r = m(u_r - u_i) \Rightarrow 0.00031749(12.1024 - 2029.158) = -41.4512 \text{ kJ}$$

* مثال: یک مخزن صلب به حجم ۱۰ لیتر حاوی مبرد R-۲۲ در -10°C و کیفیت ۱۰٪

درست ۱۰ دقیقه مقدار ۱۰ A جریان الکتریکی (از باتری ۶ ولتی) از مقاومت موجود در درون

مخزن عبوری کند پس از آن درم حرارت مبرد برابر 40°C می شود محاسبه انتقال حرارت به مخزن



$$R-22 \left\{ \begin{array}{l} T_i = -10^\circ\text{C} \\ x_i = 0.1 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} T_f = 40^\circ\text{C} \\ Q_r = ? \end{array} \right.$$

$$\Delta \text{time} = 10 \text{ min}$$

$$Q_r - W_c = m(u_c - u_i)$$

$$W_{re} = V \times I \times \Delta t = \frac{4 \times 10 \times 10 \times 10}{1000} = -4 \text{ kJ}$$

$$R-22 \left\{ \begin{array}{l} T_i = -10^\circ\text{C} \\ x_i = 0.1 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} u_f = 0.000759 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ u_{fg} = 0.004258 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} u_f = 12.1 \text{ V} \\ u_{fg} = 190.125 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow u_i = 0.000759 + 0.1 \times 0.004258 = 0.000522 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow u_i = 12.1 \text{ V} + 0.1 \times 190.125 = 12.19 \text{ V}$$

$$\Rightarrow m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{10 \times 10^{-3}}{0.105824} = 0.119 \text{ kg} \quad (25)$$

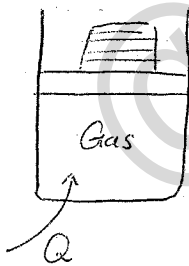
$$\left\{ \begin{array}{l} T_c = E_0 \rightarrow v_f = 0.1000118 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, v_g = 0.101014 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ v_1 = v_f = 0.1000118 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \rightarrow v_c \text{ و } v_g \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow u_f = \text{در جدول نسبت به مایه می باشد} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = 500 \text{ kPa} \rightarrow u = 250.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ T = 40^\circ \text{C} \rightarrow v = 0.105234 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 400 \text{ kPa} \rightarrow u = 249.48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ T = 40^\circ \text{C} \rightarrow v = 0.104428 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow u_f = 250.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

« انتالپی »



$$Q_r - W_r = u_r - u_1$$

$$\Rightarrow P_1 = P_r = \text{cte} \quad \text{تحت فشار ثابت}$$

$$\Rightarrow Q_r = u_r - u_1 + P_r v_r - P_1 v_1 = [u_r + P_r v_r] - [u_1 + P_1 v_1]$$

$$\Rightarrow Q_r = [u + P v]_r - [u + P v]_1 = H_r - H_1$$

انتالپی

(۳۶)

$$H = U + PV$$

✓ * آنتالپی :
+ خاصیت جدید ترمودینامیکی
+ تابع نقطه ای است و به مسیر مکی ندارد

$$\Rightarrow h = u + pv \rightarrow \text{آنتالپی مخصوص}$$

فشار ثابت

* : در یک فرآیند شبه متعادلی انتقال حرارت برابر است با تغییرات آنتالپی

$$\checkmark * : \text{در جدول } h_f, h_g, h \text{ داریم } h = (1-x)h_f + xh_g, h = h_f + xh_{fg}$$

* نکته : می توان این را برای خودی زیر نوشت :

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{در صورت اشباع} \quad u_T &= u_{fT} \\ \text{" " } h &= h_{fT} \\ \text{" " } u &= u_{fT} \end{aligned}$$

جواب ۱۱

* گرمای ویژه : انرژی مورد نیاز برای بالا بردن دمای واحد حجم به اندازه یک درجه

$$\begin{aligned} m &= 1 \text{ kg} \\ \Delta T &= 1^\circ \text{C} \\ C &= Q \end{aligned}$$

$$Q = \alpha (\text{موردی})$$

(۲۷)

$$\begin{aligned} V &= cte \\ m &= 1 \text{ kg} \\ \Delta T &= 1^\circ\text{C} \\ C_v &= 2.12 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} p &= cte \\ m &= 1 \text{ kg} \\ \Delta T &= 1^\circ\text{C} \\ C_p &= 5.2 \text{ kJ} \end{aligned}$$

* نکته: ظرفیت گرمایی ویژه، چگونگی انجام فرایند بستگی دارد

* نکته: در ترمودینامیک دو نوع ظرفیت گرمایی ویژه مد نظر است

C_v = ظرفیت گرمایی ویژه در حجم ثابت C_p = ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت

* نکته: گرمایی ویژه در فشار ثابت هوا به بزرگتر است از گرمایی ویژه در حجم ثابت است

زیرا در فشار ثابت می‌توانیم حرکت کنیم و انرژی لازم برای کار انبساط نیز باید

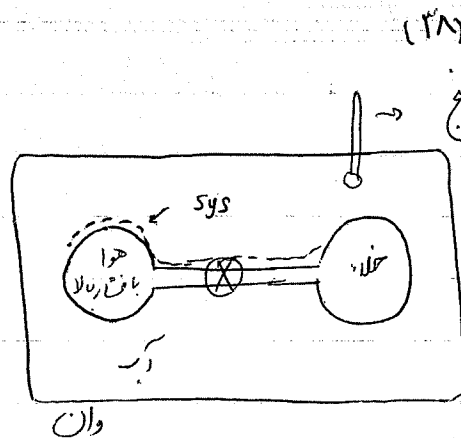
به سیستم داده شود.

* تعریف دیگر:

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p \quad C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$$

* می‌توان نشان داد که برای گاز ایده‌آل انرژی داخلی فقط تابعی از دما است.

$$p v = RT$$



* افزایش ثقل نامرئی:

$$\dot{Q}_f = (u_2 - u_1) + \frac{m}{r} (v_2^2 - v_1^2) + mg(z_2 - z_1) + w_{fsy}$$

$$\Rightarrow U_2 = U_1$$

* نکته: در تمام این مدت دما ثابت است لذا: $T \propto U$

سجی اول: $\begin{cases} h = u + p v \\ p v = R T \end{cases} \rightarrow h = h(T) \text{ تابع دما}$

سجی دوم: $C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_p$

$C_p = \frac{dh}{dT}$
 نشان دهنده تغییرات

$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_v$

$C_v = \frac{du}{dT}$

نقشه: $dh = m C_p dT$

$C_p = C_p(T)$

$\Rightarrow$

نقشه:

$du = m C_v dT$

$C_v = C_v(T)$

* شکل ۱۱-۱: برای گازهای تک اتمی C_p ثابت است.

(۳۹)
* ارتباط بین حرارت مخصوص فشار ثابت و حجم ثابت گاز ایده‌آل:

$$h = u + p v \Rightarrow dh = du + R dT$$

$$\Rightarrow c_p dT = c_v dT + R dT \Rightarrow \boxed{c_p - c_v = R}$$

$$\Rightarrow \bar{c}_p - \bar{c}_v = \frac{R}{M} = \bar{R}$$

میانگین مولی

*۷ محاسبات تغییرات انرژی (فشار ثابت)؛ (آر دی)

*۱) گواهی ویژه دانه ثابت فرض می‌کنیم یعنی وابستگی به درجه حرارت را لحاظ نمی‌کنیم.

$$dh = c_p dT \Rightarrow h_c - h_1 = c_p (T_c - T_1)$$

جدول A-۵ و دین
A-۲ سبیل

*۲) تابع از دما باشد معادلات به تابع دما در جدول A-۲ کتاب دین و دین:

و جدول ج-۲-A کتاب سبیل ارائه شده است.

*۳) استخوان از نتایج محاسبات نمودارهای آماری نسبت به یک درجه حرارت دگرگونی ثابت

$$h_T = \int_{T_1}^T c_p dT \quad h_2 - h_1 = h_{T_2} - h_{T_1} = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT - \int_{T_1}^{T_1} c_p dT$$

جدول A-۸ و دین
A-۱۷ سبیل

کرایه تغییر اختلاف

(۴۰)

پیشانی بخندگانهایی CO₂ در فشار ۱۰۰۰ کلوگرم از درجه حرارت ۲۰°C تا ۵۵۰°C (۱۰۰۰ کلوگرم) بخندید.

الف) حرارت مخصوص ثابت

ب) حرارت مخصوص ثابت متغیر در درجه حرارت متوسط

ج) حرارت متغیر

د) آنتالپی گاز ایده آل

الف) $C_p = 0.1842 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ $M = 44.01 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}$ $\Rightarrow \Delta h = C_p (T_c - T_i) = 1242 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ A-5

ب)

$\phi = \frac{T_i + T_c}{2 \times 100}$ و A-6 جدول

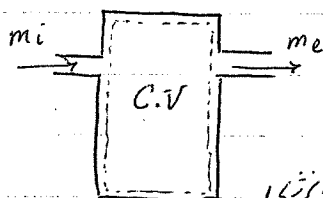
ج) $\Delta h = \int_{T_i}^{T_c} C_p dT$, $\phi = \frac{T}{100} \rightarrow T = 100\phi$, $dT = 100 d\phi$

$C_p =$ جدول درج شده

$\phi_c = \frac{300}{100} = 3$
 $\phi_i = \frac{1800}{100} = 18$

د) $\Delta h = (h_{T_c} - h_{T_{ref}}) - (h_{T_i} - h_{T_{ref}}) = 1854.29 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

جلسه ۱۲، (۴۱) در درس جدید
 *۷ قانون اول ترمودینامیک برای "حجم کنترل":



دو قانون برای حجم کنترل وجود دارد که

باید ارضا شود: (۱) قانون بقای جرم ۱۲ قانون بقای انرژی

(۱) قانون بقای جرم:

معرفی بعضی از پارامترهای پردازش:

δm_i : مقدار جرم ورودی در مدت زمان δt

δm_e : مقدار جرم خروجی در مدت زمان δt

m_t : مقدار جرم موجود در حجم کنترل در زمان t

$m_{t+\delta t}$: مقدار جرم موجود در حجم کنترل در زمان $t + \delta t$

$$\Rightarrow \delta m_i + m_t = m_{t+\delta t} + \delta m_e \Rightarrow (m_{t+\delta t} - m_t) = \delta m_i - \delta m_e$$

$$\Rightarrow \frac{m_{t+\delta t} - m_t}{\delta t} + \frac{\delta m_e}{\delta t} - \frac{\delta m_i}{\delta t} = 0$$

$\delta t \rightarrow 0$

$$\lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta m_e}{\delta t} = \dot{m}_e \quad \text{نرخ تغییرات جرم خروجی}$$

$$\Rightarrow \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{m_{t+\delta t} - m_t}{\delta t} = \frac{dm_{C.V.}}{dt} \quad \text{نرخ تغییرات جرم در داخل حجم کنترل}$$

$$\lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\delta m_i}{\delta t} = \dot{m}_i \quad \text{نرخ تغییرات جرم ورودی}$$

$$\Rightarrow \frac{dm_{C.V.}}{dt} + \dot{m}_e - \dot{m}_i = 0$$

(۴۲)

* نکته: می توانیم را به صورت زیر نوشت

$$* \int_V \rho dV \quad \text{جرم داخل حجم کنترل}$$

$$* \frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV \quad \text{نرخ تغییر جرم در داخل حجم کنترل}$$

$$* \int_{A_e} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad \text{جرم خروجی از سطح کنترل در واحد زمان}$$

$$* \int_{A_i} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} \quad \text{جرم ورودی به سطح کنترل در واحد زمان}$$

۱. * شکل دیگری از قانون بقای جرم برای حجم کنترل:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_V \rho dV + \int_{A_e} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} - \int_{A_i} \rho \vec{v} \cdot d\vec{A} = 0$$

$$* \text{if } m_e = m_i \Rightarrow \int_{A_i} \rho v dA = \int_{A_e} \rho v dA \Rightarrow \rho_i v_i A_i = \rho_e v_e A_e$$

(۲) قانون بقای انرژی:

$$Q_r - W_r = \Delta E \Rightarrow \frac{Q_r}{\Delta t} = \frac{E_r - E_i}{\Delta t} + \frac{W_r}{\Delta t}$$

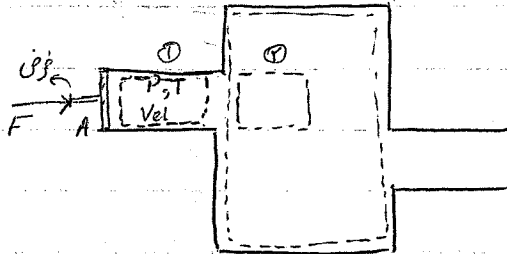
$$* E_i = E_t + e_i \delta m_i \quad \text{انرژی کل سیستم در زمان } t$$

$$* E_r = E_t + e_e \delta m_e \quad t + \Delta t$$

جای برات
آوردن کارها را
تعریف می کنیم

(۴۳)

۱۷. ک، جریان :



$$F = PA$$

$$W_{Flow} = PA \cdot L = pV \leftarrow \text{ک، جریان}$$

$$\Rightarrow p \cdot m = \text{ک، جریان}$$

۱۷. در ادبی بر روی قانون بنای انرژی :

$$\delta W_i = p_i dA_i dl = p_i dt_i = p_i v_i \delta m_i$$

$$\Rightarrow \delta W_e = p_e v_e \delta m_e$$

$$\Rightarrow \delta W = \delta W_{c.v} + p_e v_e \delta m_e - p_i v_i \delta m_i$$

۱۷. بنا بر این قانون بنای انرژی به صورت زیر در می آید :

$$\frac{\delta Q}{\delta t} = \frac{E_{t+\delta t} - E_t}{\delta t} = \frac{e_e \delta m_e}{\delta t} - \frac{e_i \delta m_i}{\delta t} + \frac{\delta W_{c.v}}{\delta t} + \frac{p_e v_e \delta m_e}{\delta t} - \frac{p_i v_i \delta m_i}{\delta t} = 0$$

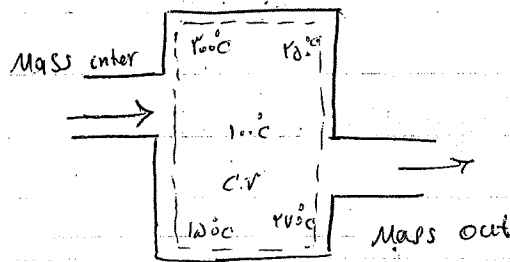
$$\Rightarrow \frac{\delta Q}{\delta t} + (e_i + p_i v_i) \frac{\delta m_i}{\delta t} = \frac{E_{t+\delta t} - E_t}{\delta t} + (p_e + p_e v_e) \frac{\delta m_e}{\delta t} + \frac{\delta W_{c.v}}{\delta t}$$

$$\Rightarrow \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta m_i}{\delta t} \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) = \frac{E_{t+\delta t} - E_t}{\delta t} + \frac{\delta m_e}{\delta t} \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) + \frac{\delta W_{c.v}}{\delta t}$$

$$\Rightarrow \dot{Q} + \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) = \frac{dE_{c.v}}{dt} + \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) + \dot{W}_{c.v}$$

جله ۱۱ :

حالت پایدار - جریان پایدار Steady state - steady flow



۱. فرضیات فرایند SSSF :

(۱) حجم کنترل ثابت، جابجایی محضات ساکن است

(۲) حالت جرم در هر نقطه از حجم کنترل ثابت، به زمان تغییر نخواهد یافت

(۳) دبی جرمی و شار کاه و حرارت که سطح کنترل را قطع می کنند ثابت به زمان ثابت

است و حالت جرم نیز جایی که سطح کنترل را قطع می کنند ثابت به زمان ثابت است

$$۱. \text{فرضیه ۱: } \frac{dM_{C.V.}}{dt} = 0$$

$$۲. \text{فرضیه ۲: } \frac{dE_{C.V.}}{dt} = 0$$

* قانون بقای جرم برای SSSF :

$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_i$$

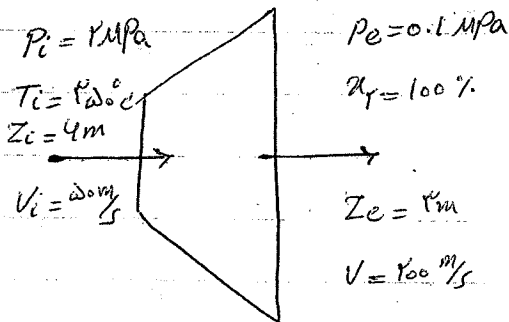
(ع ۵)

* قانون بنای انرژی:

$$\dot{Q}_{c.v} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) + \dot{W}_{c.v}$$

* مثال: یک توربین بخار موجود است. دبی جرمی $\dot{m} = 1.5 \text{ kg/s}$ ، $\dot{Q} = -1.5 \text{ kW}$

با اطلاعات روی شکل $\dot{W}_T$ را بدست آورید.



حالت درونی: $\begin{cases} P_i = 2 \text{ MPa} \\ T_i = 250^\circ \text{C} \end{cases} \rightarrow h = 2127 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

حالت خروجی: $\begin{cases} P_e = 0.1 \text{ MPa} \\ h_e = h_g = 2475.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{cases}$

$$\Rightarrow -1.5 + 1.5 \left(2127 + \frac{50^2}{2 \times 1000} + \frac{9.8 \times 4}{1000} \right) = 1.5 \left(2475.5 + \frac{200^2}{2 \times 1000} + \frac{9.8 \times 2}{1000} \right) + \dot{W}_{c.v}$$

با تبدیل به کیلوژول → چون $\dot{m}$ به کیلو است: * نکته انرژی

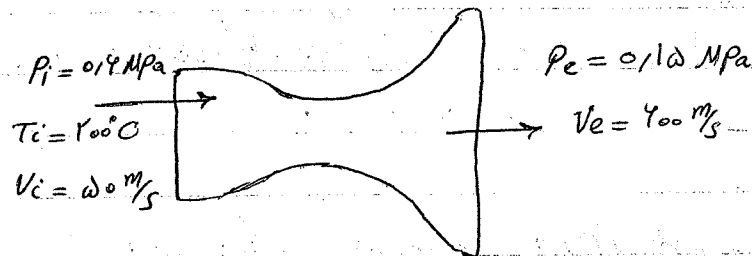
$$\Rightarrow \dot{W}_{c.v} = 255.7 \text{ kW}$$

* نکته: در بسیاری از کتابها فقط یک جرم ورودی در خروجی داریم:

$$\dot{m} \div \dot{m} \Rightarrow$$

$$q_{c.v} + \left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) = \left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) + w_{c.v}$$

* مثال: شیبوری محلی. با توجه به اطلاعات روی شکل، حالت خروجی را تعیین کنید. (۴۶)



$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

حالت درونی: $\left\{ \begin{array}{l} P_i = 0.4 \text{ MPa} \\ T_i = 200^\circ\text{C} \end{array} \right. \rightarrow h_i = 2850.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

از فرمول $\Rightarrow h_e = h_i + \frac{V_i^2}{2} - \frac{V_e^2}{2} \Rightarrow h_e = 2271.4$

حالت نهایی: $\left\{ \begin{array}{l} P_e = 0.15 \text{ MPa} \\ h_e = 2271.4 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_g = 2495.54 \\ h_f = 2271.1 \end{array} \right. \rightarrow$

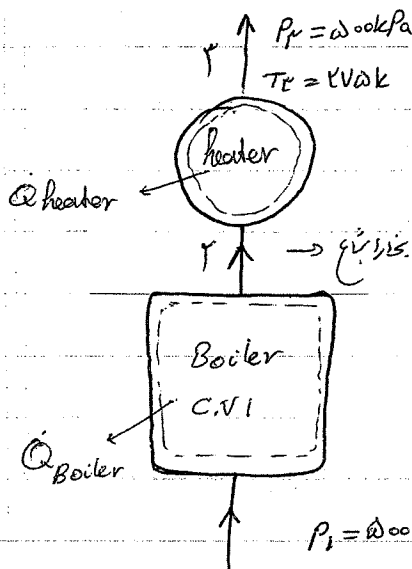
$\rightarrow x = 49.7\%$

۱. * مثال: به نیتروژن مایع استیج در 5000 kPa وارد یک بویلر فوژوی می شود. دبی جریانی

بویلر 5000 kPa است. در حالت بخار استیج خارج می شود. پس این جریان وارد یک گرمکن

می گردد. در شرایط 5000 kPa و 275 k خارج می گردد. نرخ انتقال حرارت در بویلر و گرمکن را می یابید.

(E.V)



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = 0.005 \text{ kg/s}$$

$$\textcircled{1} \dot{Q}_{C.V.} + \dot{m}(h_1) + \dot{m}(h_2) + 0$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{C.V.} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

$$\textcircled{2} \dot{Q}_{C.V.} + \dot{m}(h_1) = \dot{m}(h_2) + 0$$

$$\Rightarrow \dot{Q}_{C.V.} = \dot{m}(h_2 - h_1)$$

1. State 1: $P = 240.1 \text{ kPa} \rightarrow h_f = -90.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_g = 181.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

State 2: $P = 500 \text{ kPa} \rightarrow h_f = -111.09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_g = 181.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

State 3: $P = 500 \text{ kPa} \rightarrow h_f = -111.09 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_g = 181.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

2. State 4: $P = 500 \text{ kPa}, T = 250 \text{ K} \rightarrow h = 241.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

State 5: $P = 500 \text{ kPa} \rightarrow h = h_f = 181.01 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

State 6: $P = 500 \text{ kPa}, T = 250 \text{ K} \rightarrow h = 181.01$

① $\dot{Q}_{Boiler} = 0.145 \text{ kW}$

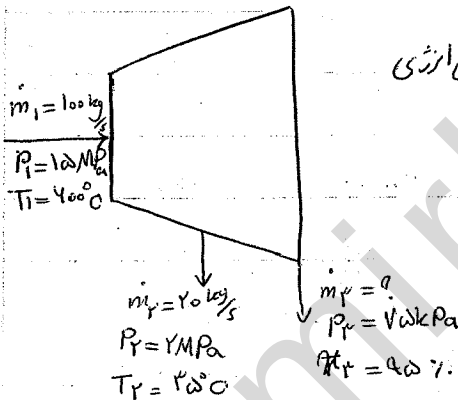
② $\dot{Q}_{heater} = 0.9401 \text{ kW}$

مثال ۷- آب در 200°C و 15 MPa و در جری 100 kg/s وارد توربین بخاری شود در غشی بیانی توربین

20 kg/s از جرم خارج می‌گردد در 250°C و باقی مانده‌ی آن توربین را در 7 kPa و کیفیت 95% ترک

می‌کند. صرف نظر از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل و انتقال حرارت که در کل توربین را محاسبه کنید.

$$\sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}_i = \dot{m}_v + \dot{m}_f \Rightarrow \dot{m}_f = 100\text{ kg/s}$$



$$\text{بسی انرژی: } \dot{Q}_{cv} + \dot{m}_i h_i = \dot{m}_v h_v + \dot{m}_f h_f + \dot{W}_{cv}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{cv} = (\dot{m}_v h_v + \dot{m}_f h_f - \dot{m}_i h_i) \times -1$$

$$\textcircled{1} \begin{cases} P_1 = 15\text{ MPa} \\ T_1 = 200^\circ\text{C} \end{cases} \xRightarrow{\text{جدول}} h_1 = 2812.2$$

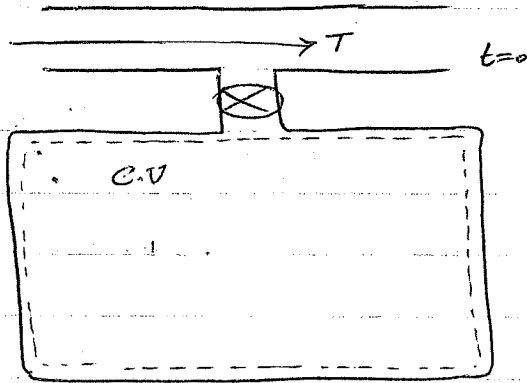
$$\textcircled{2} \begin{cases} P_v = 7\text{ kPa} \\ T_v = 250^\circ\text{C} \end{cases} \xRightarrow{\text{جدول}} h_v = 2144.44$$

$$\textcircled{3} \begin{cases} P_f = 7\text{ kPa} \\ x_f = 0.95 \end{cases} \begin{cases} h_f = 214.44 \\ h_{fg} = 2271.59 \end{cases}$$

$$h_f = h_f + x_f h_{fg} \Rightarrow h_f = 2549.02\text{ kJ/kg}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{cv} = 100 \times 2812.2 - 20 \times 2144.44 - 80 \times 2549.02 = 41549.2\text{ kJ/s} = 41.5\text{ MW}$$

*۱: حالت یکدست - جریان یکدست - uniform state - uniform flow (۴۹)



۷۷ * فرصت فرا گند : usaf :

۱۱. حجم کنترل نسبت به محورهای مختصات ثابت باشد.

۲) حالت جرم در داخل محکم کنترل می‌تواند در طول زمان تغییر کند ولی در هر لحظه در

خاصی حجم کنسروں بہ صورت بکسوں اختیار ہائی۔

(۳) حالت حرم عبور کنند از هر ناحیه روی سطح کنترل در طول زمان ثابت است .

*۷ قانون مجازای جرم برای اسف :

$$\text{مکمل: } \frac{dm_{cv}}{dt} + \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_i = 0$$

$w_{civ} = 100 \text{ kg}$
 $Q_i = 100 \text{ kg}$
 $m_i = 10 \text{ kg}$
 $m_r = 10 \text{ kg}$
 $E_i = 100 \text{ kg}$
 $E_c = ?$
 $m_r = 10 \text{ kg}$
 $Q_c = 100 \text{ kg}$

$\Rightarrow m_r - m_i = m_i - m_c \Rightarrow m_r = 10 \text{ kg}$
 $\Rightarrow (E_r - E_i)_{civ} = 100 - 100 + (-10) - 10 = -20 \text{ kg}$

(۵۰)

* ادامه : با توجه به مثال قبل داریم

$$* : \int_0^t \frac{d m_{c.v}}{dt} dt = m_2 - m_1$$

معادله ی تراز برای حرکت useful

$$* : \int_0^t \Sigma \dot{m}_e = \Sigma m_e \Rightarrow (m_2 - m_1)_{c.v} + \Sigma m_e - \Sigma m_i = 0$$

$$* : \int_0^t \Sigma \dot{m}_i = \Sigma m_i$$

* تراز انرژی برای اجزای کنترل شده

$$\dot{Q}_{c.v} + \Sigma m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i) = \frac{d E_{c.v}}{dt} + \Sigma m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e) + \dot{W}_{c.v}$$

$$* : \int_0^t \dot{Q}_{c.v} dt = Q_{c.v}$$

$$* : \int_0^t \Sigma m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e) dt = \Sigma m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e)$$

$$* : \int_0^t \Sigma m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i) dt = \Sigma m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i)$$

$$* : \int_0^t \dot{W}_{c.v} dt = W_{c.v}$$

(د۱)

$$* \int_0^t \frac{dE_{c.v}}{dt} dt = \int_0^t \frac{d}{dt} \left[m \left(u + \frac{v_r^2}{2} + gz \right) \right] dt$$

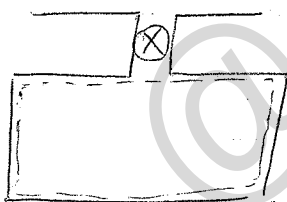
$$\Rightarrow \left[m_r \left(u_r + \frac{v_r^2}{2} + gz_r \right) - m_i \left(u_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) \right]_{c.v.}$$

$$Q_{c.v.} + \sum m_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) = \left[m_r \left(u_r + \frac{v_r^2}{2} + gz_r \right) - m_i \left(u_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i \right) \right]_{c.v.} + \sum m_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) + W_{c.v.}$$

استفاده از معادله انرژی برای

فشار و دما: $P = 1.5 \text{ MPa}$, $T = 100^\circ \text{C}$, $PE = 0$, $KE = 0$

$P = 1.5 \text{ MPa}$, $T = 100^\circ \text{C}$



$$m_r - m_i + \sum m_e - \sum m_i = 0$$

$$\Rightarrow m_r = m_i \quad (1)$$

$$\text{معادله انرژی: } 0 + m_i (h_i) = m_r (u_r) - 0 + 0 + 0 \Rightarrow m_i h_i = m_r u_r \quad (2)$$

$$P = 1.5 \text{ MPa}$$

$$(1) \rightarrow h_i = 100 \times 0.172 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T = 100^\circ \text{C}$$

$$(2) \begin{cases} P_r = 1.5 \text{ MPa} \\ u_r = h_i = 100 \times 0.172 \\ T = 100^\circ \text{C} \end{cases}$$

$$\rightarrow P_r = 1.5 \text{ MPa} \rightarrow u_r = 172.172 \text{ kJ/kg} \\ u_g = 172.172 \text{ kJ/kg} \quad (T = 100^\circ \text{C})$$

(۵۲)

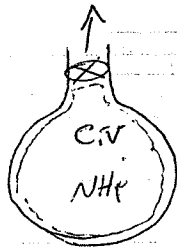
جلد ۱۵

* مثال: یک مخزن ۴ مادی اکونیک ایتان در ۵۰ درجه سانتیگراد و ۵۰ درصد از حجم را بخار گرفته

و بقیه را مایع اکونیک ایتان پر کرده است. بخار اکونیک را از بالای مخزن خارج می‌کنیم تا مادی مخزن

بر ۱۰۰ برسد. با فرض این که فقط بخار از مخزن خارج شده است و تحول اکونیک می‌باشد.

مطلوبت جرم اکونیک خارج شده.



$$\text{بسی جرم: } (m_r - m_i)_{C.V} + \sum m_e - \sum m_i = 0$$

$$\text{بسی انرژی: } Q + \sum m_i (h_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i) = \sum m_e (h_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e) + [m_c (u_c + \frac{V_c^2}{2} + g z_c) - m_l (u_l + \frac{V_l^2}{2} + g z_l)]_{C.V}$$

$$V = 1 \text{ m}^3$$

$$T_i = 50^\circ \text{C}$$

$$V_f = 50\% \cdot V = 0.5 \text{ m}^3$$

$$V_g = 50\% \cdot V = 0.5 \text{ m}^3$$

$$T_e = 100^\circ \text{C}$$

$$Q = 0$$

$$W = 0$$

$$\text{بسی جرم} \Rightarrow (m_r - m_i) + m_e = 0 \Rightarrow m_e = m_i - m_r \quad (1)$$

$$\text{بسی انرژی} \Rightarrow m_e h_e + m_r u_r - m_i u_i = 0 \Rightarrow m_r (h_e - u_r) = m_i h_e - m_i u_i \quad (2)$$

$$T_i = 50^\circ \text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{f,i} = 0.001725 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{g,i} = 0.001215 \text{ m}^3/\text{kg} \\ P_i = P_{\text{sat}} = 101.325 \text{ kPa} \\ u_{f,i} = 178.15 \text{ kJ/kg} \\ u_{g,i} = 178.15 \text{ kJ/kg} \\ u_{f,i} = 178.15 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

$$T_r = 100^\circ \text{C} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{f,r} = 0.0014 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{g,r} = 0.0014 \text{ m}^3/\text{kg} \\ P_r = P_{\text{sat}} = 101.325 \text{ kPa} \\ u_{f,r} = 178.15 \text{ kJ/kg} \\ u_{g,r} = 178.15 \text{ kJ/kg} \\ u_{f,r} = 178.15 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

تدفق (۵۳)
 - بتدفق حال چون در جدولی مادی حالت $T_2 = 10^\circ\text{C}$, $T_1 = 40^\circ\text{C}$ وجود دارد فرض نرم سوال

فرض خواهد شد لذا با توجه به تغییرات h_e :

$$h_e = \frac{h_{g,e} + h_{g,i}}{2} = 1241,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \text{یا گین می گرم:}$$

$$\Rightarrow m_f = \frac{V_{f,i}}{v_{f,i}} = \frac{1}{0,001722} = 579,17 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow m_i = m_f + m_g = 579,17 \text{ kg}$$

$$m_g = \frac{V_{g,i}}{v_{g,i}} = \frac{1}{0,08112} = 12,102 \text{ kg}$$

$$m_i h_e = 579,17 \times 1241,1 = 718574,7$$

$$m_i u_i = m_f u_f + m_g u_g = 579,17 \times 241,76 + 12,102 \times 141 = 139890,18 \text{ kJ}$$

$$m_r (h_e - u_r) = 718574,7 - 139890,18 = 578684,52$$

$$m_r = \frac{V}{v_r} = \frac{V}{v_f + x v_{fg}} \Rightarrow \frac{V}{0,0017 + x_r (0,08112)} (1241,1 - (225,99 + x_r (1099,17))) = 578684,52$$

$$u_r = u_f + x_r u_{fg}$$

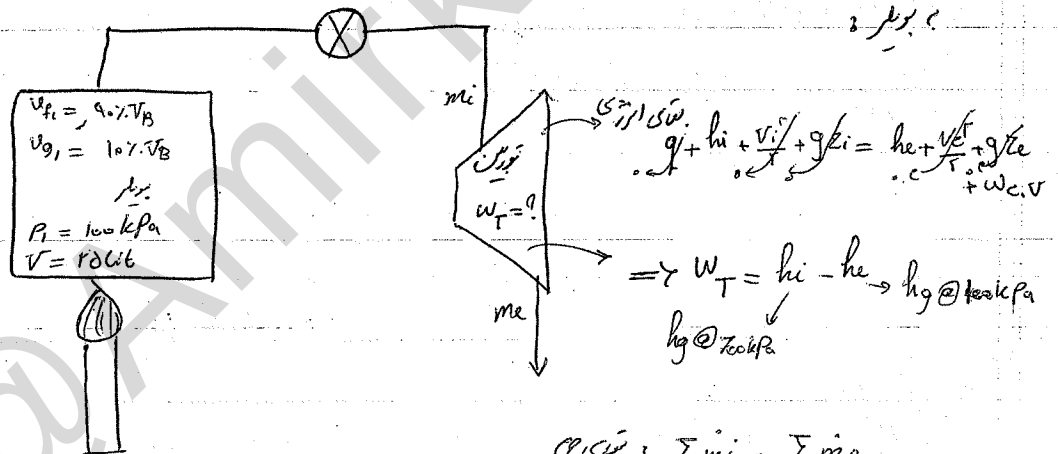
$$x \Rightarrow 0,01102$$

$$m_r = \frac{V}{v_r} = 5189 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow m_e = m_i - m_r = 71,5 \text{ kg}$$

(۵۴)

۷* مثال: یک نیروگاه بخار در شکل زیر نشان داده شده است. حجم بویلر ۲۵ لیتر، در ابتدا ۹۰٪ آن را مایع پر کرده است و فشار آن ۱۰۰ kPa. مثل را روشن می‌کنیم تا بویلر گرم شود و وقتی به فشار ۷۰۰ kPa برسد، شیر تنظیم بخار اشیاع را در این فشار نگه می‌دارد بخار اشیاع خودجی از بویلن عبور می‌کند و در فشار ۱۰۰ kPa از آن خارج شده و با انبساط خفیه می‌شود و وقتی کم آید بویلن دوباره داخل بویلر بخار شد مثل خود بخود خاموش می‌شود. مطلوب است، کار بویلن و حرارت داده شده



$$\text{قانون بقا: } \sum \dot{m}_i = \sum \dot{m}_e$$

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e$$

$$\Rightarrow h_{g, 100 \text{ kPa}} = 2743.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow W_T = 111.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_{g, 100 \text{ kPa}} = 2475.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

(۵۵)

$$P_i = 100 \text{ kPa} \quad \left\{ \begin{array}{l} v_{f,i} = 0.001043 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_{g,i} = 1.2994 \text{ " } \\ v_{f,i} = 0.19 \times 25 = 4.75 \text{ lit} \rightarrow m_{f,i} = \frac{v_{f,i}}{v_{f,i}} = \frac{4.75 \times 10^{-3}}{0.001043} = 4.55 \text{ kg} \\ v_{g,i} = 0.1 \times 25 = 2.5 \text{ lit} \end{array} \right.$$

$$m_{g,i} = \frac{v_{g,i}}{v_{g,i}} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{1.2994} = 0.00192 \text{ kg}$$

$$\Rightarrow m_i = m_{f,i} + m_{g,i} = 4.55 \text{ kg}$$

$$P_r = 100 \text{ kPa} \rightarrow v_{g,r} = 0.2079 \text{ m}^3/\text{kg} \quad m_r = m_{g,r} = \frac{2.5 \times 10^{-3}}{0.2079} = 0.0120 \text{ kg}$$

$$m_e = 4.55 - 0.0120 = 4.538 \text{ kg}$$

دارد تغییر می دهد

$$\Rightarrow W_T = 4.538 (100) = 453.8 \text{ kJ}$$

کار

$$ssst, \quad q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}, \quad \dots \quad \text{نقطه:}$$

Q به هر دو سمت می کشیم تا یکی از زمان که حرارت می دهیم تا به فشار 100 kPa برسد و جوی خارج

کار کرد به بهر حرارت سیستم کاری کند ۱۲ زمانی که بخار 100 kPa رسیده و از بهر خارج می گردد

$$Q_B = \underset{sgs}{Q_1} + \underset{usuf}{Q_c} \Rightarrow Q_1 - W = \Delta U \rightarrow Q_1 = m(u_1 - u_0)$$

$$Q_c + \sum m_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i) = \sum m_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e) + [m_r (u_r + \frac{v_r^2}{2} + g z_r) - m_i (u_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i)] + W_{c.v}$$

$$\Rightarrow Q_c = m_e h_e + m_r u_r - m_i u_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_{total} = Q_1 + Q_c = m_e h_e + m_e u_e - m_i u_i \Rightarrow Q_{total} = 2059.6 \text{ kJ} \\ h_e = h_{g, 100 \text{ kPa}} = 2675.5 \text{ kJ/kg} \\ u_e = u_{g, 100 \text{ kPa}} = 2059.6 \text{ " } \end{array} \right. \Rightarrow Q_{total} = \frac{m_e}{m_i} = \frac{0.0019}{4.55}$$

۷* جمله ۱۲: « قانون دوم ترمودینامیک » (۵۶)

۷* موتورهای حرارتی:

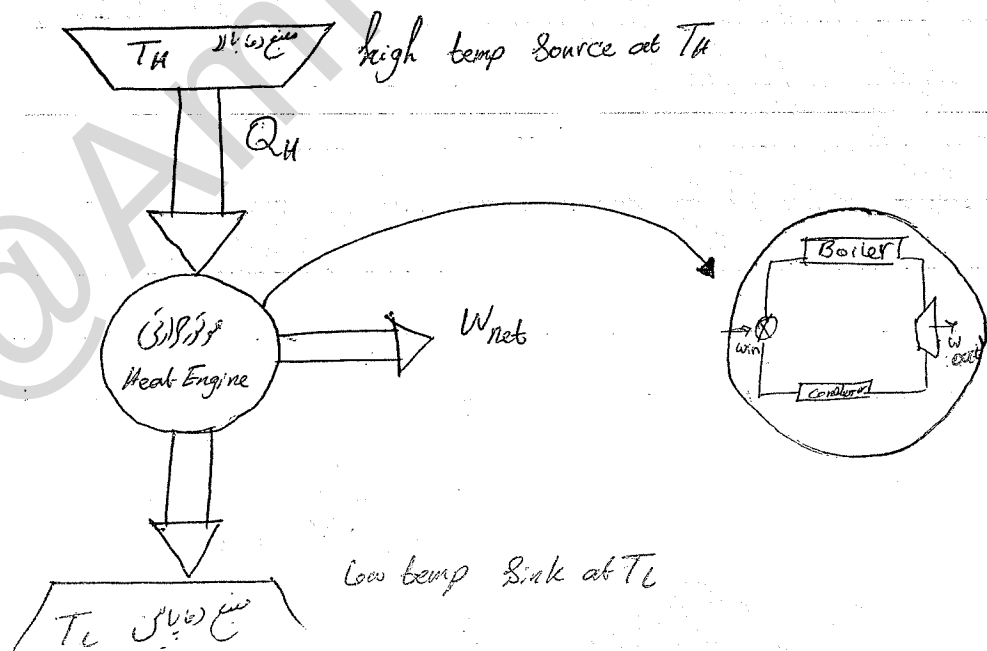
همه موتورهای حرارتی چرخه رانندگی دارند:

۷*۱) حرارت را از منبع با درجه حرارت بالا دریافت می کنند (T_H): (مثل آکوره، هسته ای، سوخت فسیلی و...)

۷*۲) قسمتی از حرارت را به کار تبدیل می کنند

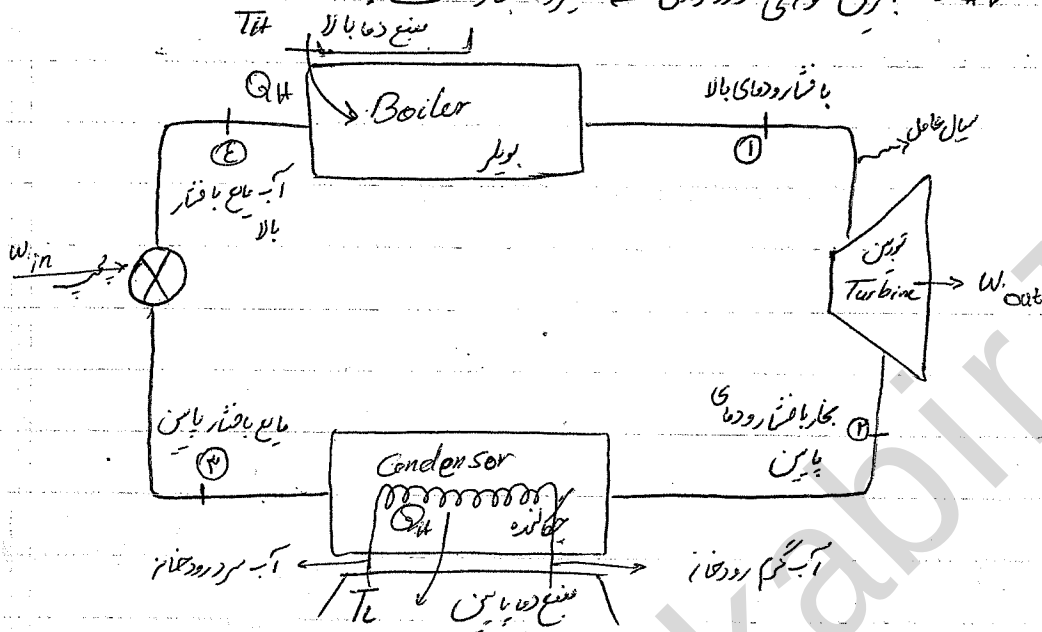
۷*۳) حرارت را به منبع حرارتی با درجه پایین منتقل می کنند (اتمسفر، رودخانه، دریا، ...)

۷*۴) به صورت چرخه ای (سیکلی) کار می کنند



(۵۷)

*۷: بهترین نمونه موتورهای بخار است



$$W_{net} = W_{out} - W_{in}$$

* نکته:

* اگر کل موتورهای را سیستم بگیریم، داریم:

$$Q - W = \Delta E = \Delta U + \Delta K + \Delta PE$$

$$Q = W$$

$$Q = Q_H - Q_C$$

$$W_{net} = W_{out} - W_{in}$$

$$\Rightarrow Q_H - Q_C = W_{out} - W_{in}$$

$$\Rightarrow \oint \delta Q = \oint \delta W$$

(۵۸)

* نتیجه: تغییرات انرژی داخلی (DU) یک سیستم بسته در خلال انجام سیکل برابر با صفر است.

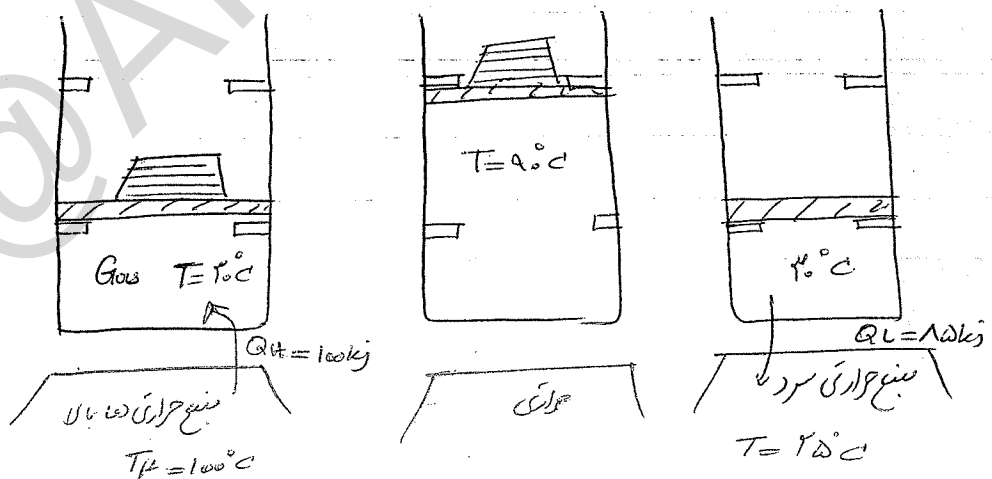
* بازده حرارتی:

عملکرد = $\frac{\text{خروجی مطلوب}}{\text{ورودی مورد نیاز}}$ $\Rightarrow \eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H}$

«بازده موتور حرارتی»

$$\Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

* مثالی دیگر از موتور حرارتی:



*۷ نتیجه گیری :

هر موتور حرارتی تحت شرایط ایده آل، ناگزیر کمترین مقدار انرژی حرارتی

را با انتقال به منبع با دمای پایین تر تلف کند، تا بتواند سیکل خود را تکمیل نماید، یک موتور حرارتی

برای ادامه کار نیاز دارد به دو منبع حرارتی کار کند.

جلد ۱۷

*۷ نظریه کلوین پلانک در مورد قانون دوم ترمودینامیک :

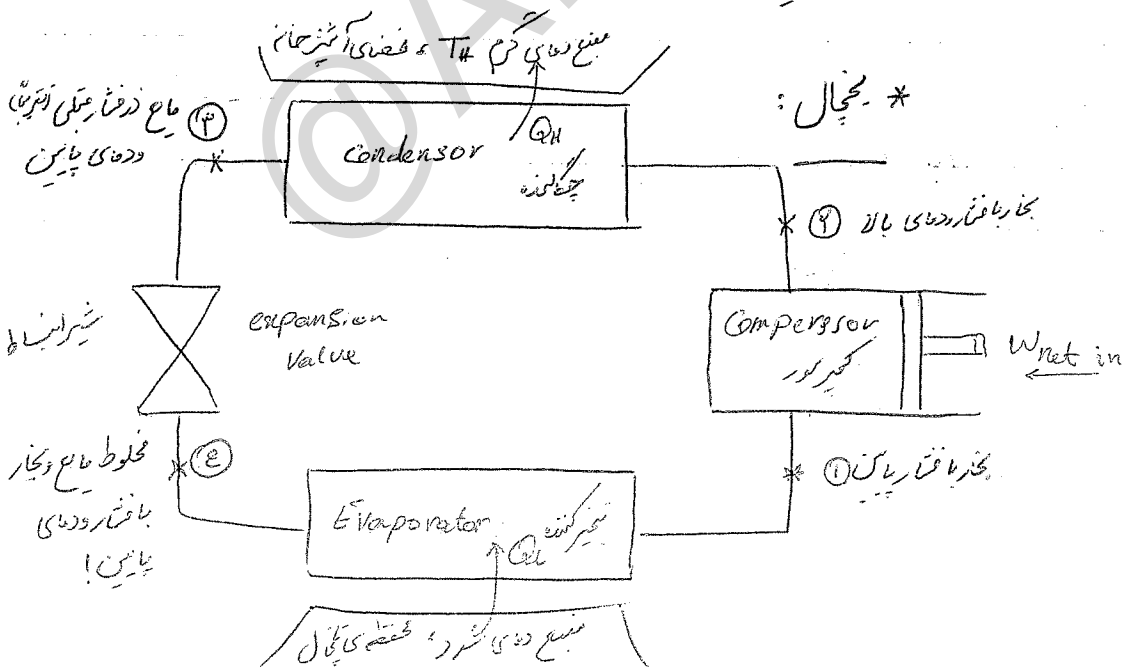
هر وسیله ای که چرخه ای کاری کند، غیر ممکن است حرارت را از منبع منفرد

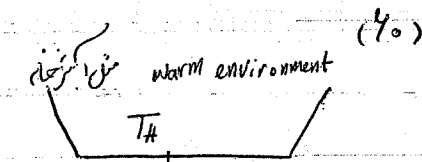
دریافت نموده و کلاً آن را به کار خالص تبدیل کند.

* به عبارتی دیگر: بازده هیچ موتور حرارتی % ۱۰۰ نمی باشد. یعنی هیچگاه $Q_H \neq W_{net}$

* نکته: نظریه کلوین پلانک مربوط به موتور های حرارتی است.

* بحال :





✓ * م یخچال :

$$\text{عملکرد} = \frac{\text{خروجی مطلوب}}{\text{درودی مورد نیاز}} = \frac{Q_L}{W_{net,in}}$$

هدف $\rightarrow Q_L$

$$W_{net} = Q_H - Q_L$$

ضریب عملکرد یخچال $\Rightarrow \beta = \frac{Q_L}{W_{net,in}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1}$

✓ * پمپ حرارتی :

شما تیک پمپ حرارتی دقیقاً همانند یخچال می باشد با این تفاوت

که این بار هدف ما Q_H می باشد و Q_H به داخل محیط خانه دریافت می شود

و Q_L از فضای مثل سرد خانه دریافت می شود و برای این کار باید هزینه شود

و این همان $W_{net,in}$ است

(۶۱)

* فرضی مطلب *

* ضریب عملکرد پمپ حرارتی

$$\beta' = \frac{Q_H}{\dot{W}_{net, in}} \Rightarrow \beta' = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}}$$

$$\Rightarrow \beta' = \beta + 1$$

* تذکر: در این فصل بیشتر بحث در مورد سیکل خواهد بود تا خواص سیکل.

مثال: دمای محفظه‌ی غذای داخل یخچال که در شکل زیر نشان داده شده است، با انتقال

حرارتی به میزان $240 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}$ در 5°C ثابت نگه داشته می‌شود. اگر فضا به یخچال 2 kW باشد، تعیین کنید ضریب عملکرد یخچال و نسبت انتقال گرما به لگاتی که یخچال برآورد دارد؟

$$\Rightarrow Q_L = 240 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} = \frac{240}{60} \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

$$\Rightarrow \beta = \frac{q_{in}}{2} = 3$$

$$\dot{W} = 2 \text{ kW}$$

$$\Rightarrow Q_H = \dot{W}_{net, in} + Q_L = 240 + 2 \times 240 = 480 \frac{\text{kJ}}{\text{min}}$$

* مثال: یک پمپ حرارتی به منظور گرم کردن خانه‌ای در دمای 20°C مورد استفاده قرار می‌گیرددر یک روز همگانی که هوا به -2°C افت می‌کند، پنجره‌ی زده می‌شود که 100000 J حرارت از دست می‌دهد

(۴۲)

اگر پمپ حرارتی تحت این شرایط دارای ضریب عملکرد ۲۱۵ باشد. الف) قدرت

صرف شده توسط پمپ حرارتی ب) شدت حرارتی که از هوای سرد بیرون گرفته می شود.

$$B' = 215$$

چون دانستیم که Q گرم باشد از دست بدهد $Q_H = \text{Heat loss}$ لذا

$$Q_H = \text{Heat loss}$$

$$\dot{W}_{\text{net}, \text{in}} = \frac{180,000}{215} = 837.2 \text{ kJ/h}$$

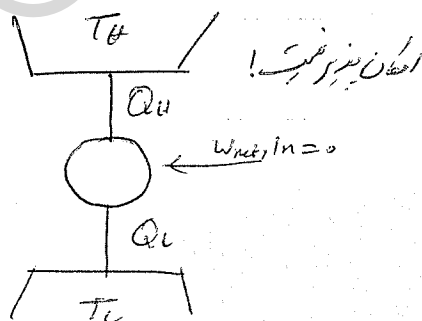
$$\dot{Q}_L = \dot{Q}_H - \dot{W}_{\text{net}, \text{in}} = 179,162.8 \text{ kJ/h}$$

« جمله ۱۸ »

* نظرم کلا زیر سوال (در مورد بخیال)

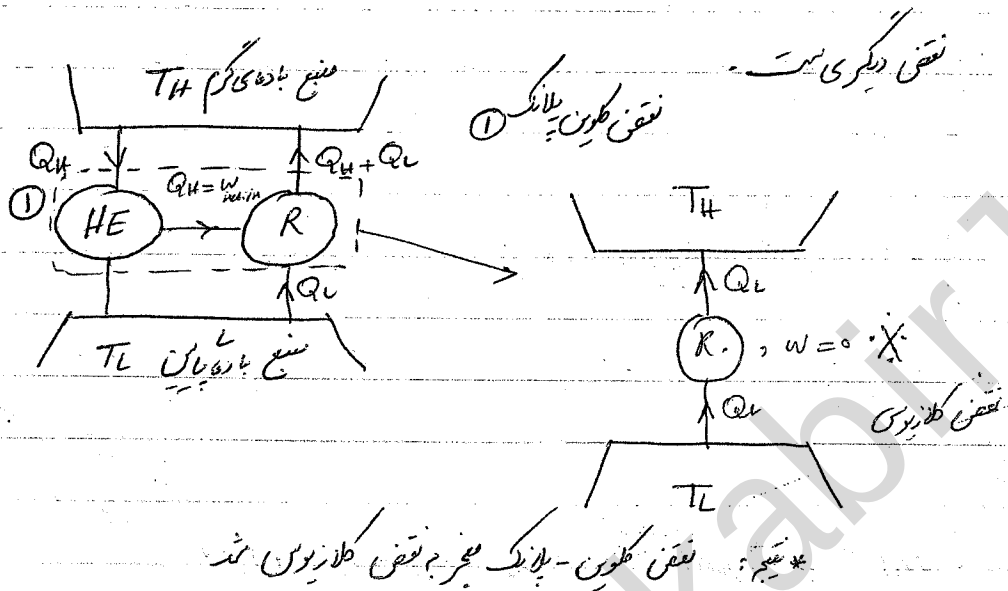
غیر ممکن است که دستگاهی ساخت کم در یک ظرف کار کند و هیچ اثری

جز انتقال حرارت از جسم به دمای پایین به جسم به دمای بالا نداشته باشد.

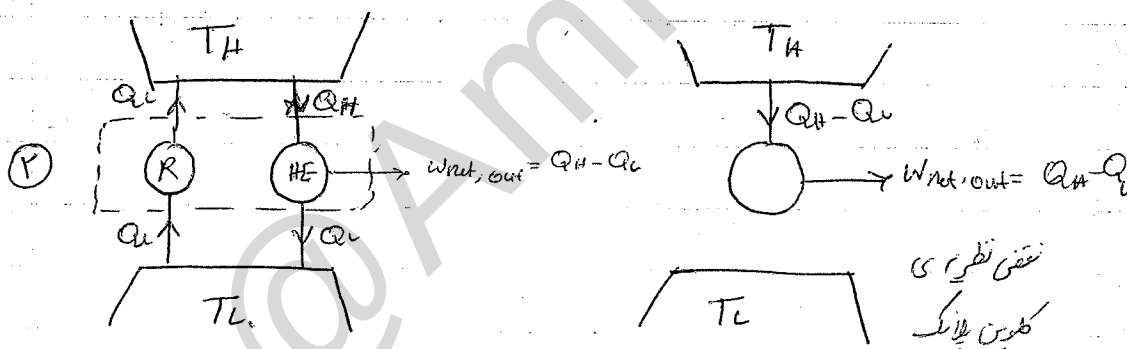


(۲۳)

نکته: نظریه‌ی کلوین-پلانک و کارزیرس مشابه هم اند. یعنی نقش هر کدام به تنهایی

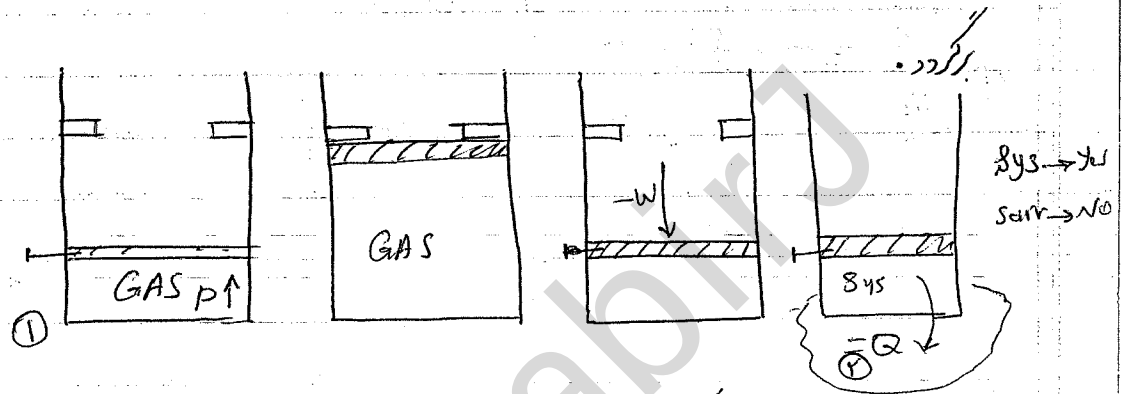


نقش کارزیرس ②



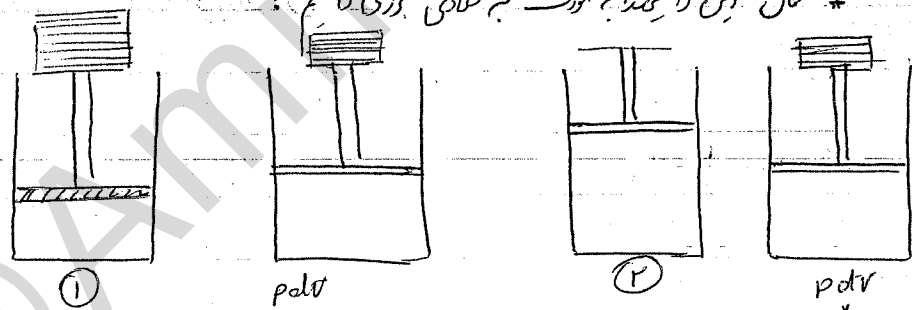
✓ خواص گازی بازگشت پذیر و بازگشت ناپذیر: (۶۴)

* تحول بازگشت پذیر: محولی است که بتواند بدون تأثیر روی محیط به حالت اول برآید



یعنی بازگشت پذیر نشد چون دماست (۲) مقدار Q از دست می دهد.

* حال این خواصند به صورت شبه تعادلی بررسی می کنیم:



* مقدار Q و W برابر است

* خواص بازگشت ناپذیری:

(۱) اصطکاک: مثلاً محاسنی پیستون و دیواره سیلندر باعث اتلاف انرژی می شود

(۲) خواص نامکملی یا شکر: مثل پاره شدن غشایی که در محیطی گازی قرار دارند (انبساط آزاد)

(۲۵)

* سیکل کارنو :

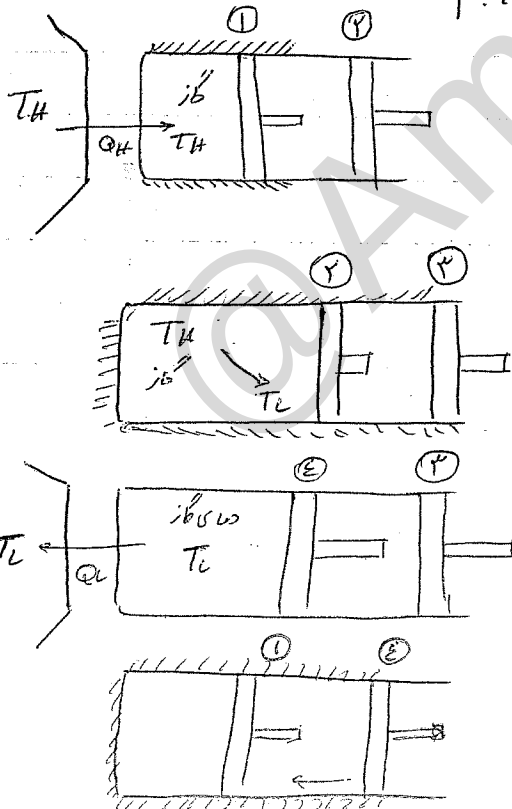
۴ مرحله : دو فرایند دما ثابت ، دو فرایند آدیاباتیک
 انبساط
 ۱- فرایند دما ثابت (تحول آ-۱ در T_H)

۲- فرایند انبساط آدیاباتیک (۲→۳ دما از T_H به T_L کاهش پیدا می کند)

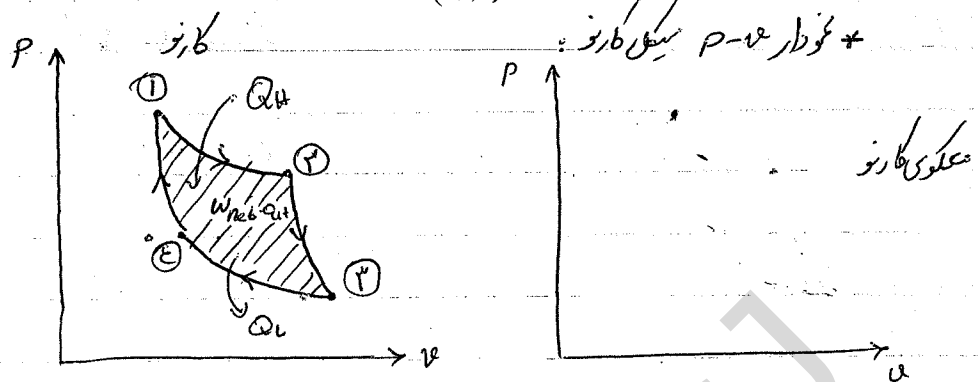
۳- فرایند انقباض دما ثابت (۳→۴ در T_L)

۴- فرایند انقباض آدیاباتیک (۴→۱ دما از T_L به T_H رسیده)

* نکته : فرایندها همگی بازگشت پذیر و اکسیرانه انجام شده است



(۶۶)



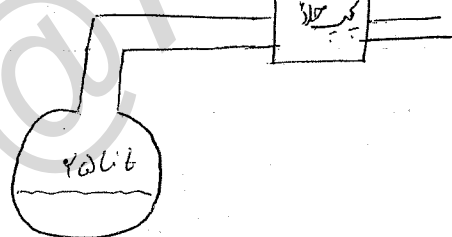
* کولر: یک روش سایشی است که دمای آب با یک مایع خنک‌کننده که به کتری از فشار سه گانه برسد

خلأ ایجاد می‌کنند. محزن دارای حجم ۲ لیتر و در ابتدا دارای ۲۳ لیتر بخار اشباع و ۲ لیتر مایع اشباع

می‌باشد درجه حرارت اولیه ۲۵°C می‌باشد در طی تحول انتقال حرارت وجود ندارد.

الف) زمانی که دمای مخلوط به صورت درجه می‌رسد، چه گرمی از حجم اولیه به خارج می‌شده است؟

ب) تعیین کنید که چه حجم اولیه ای می‌تواند جاده شود؟



۱-۲: $T = 25^\circ\text{C}$

① → مخلوط مایع و بخار اشباع

② → جاده بخار ← اشباع در صورت درجه

پایان در ص ۷۴

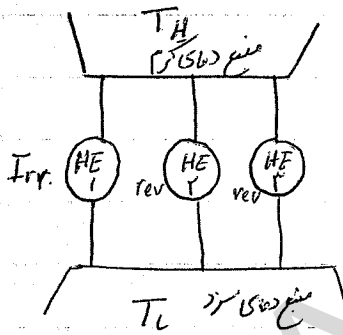
اصل کارنو:

۱. همیشه بازده یک موتور حرارتی برگشت پذیر از بازده یک موتور

حرارتی برگشت پذیر که حدود بین دو منبع شتاب کاری کنند کمتر است.

۲. بازده تمام موتوری برگشت پذیری که همگی بین دو منبع شتاب کاری کنند

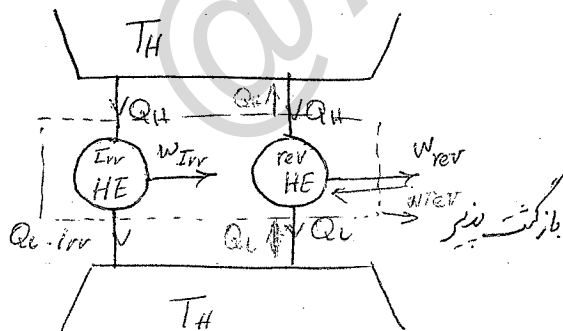
با هم برابر است.



$$* \eta_{th, Irr} < \eta_{th, rev}$$

$$* \eta_{th, rev_1} = \eta_{th, rev_2}$$

* اثبات اصل اول:



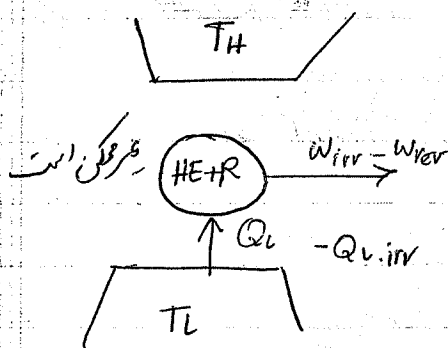
$$* W_{rev} = Q_H - Q_L$$

$$W_{Irr} = Q_H - Q_{L, irr}$$

$$W_{Irr} > W_{rev} \Rightarrow Q_H - Q_{L, irr} > Q_H - Q_L$$

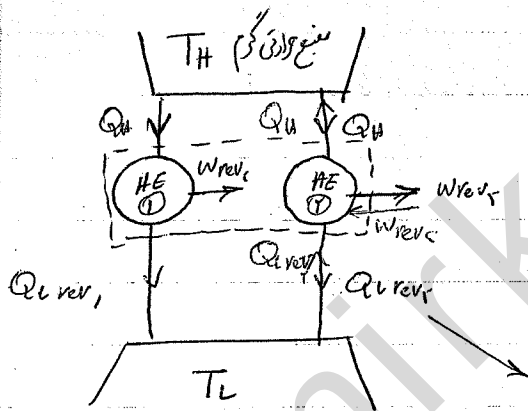
$$\Rightarrow Q_H - Q_{L, irr} > Q_H - Q_L \Rightarrow Q_{L, irr} < Q_L$$

(۶۸)

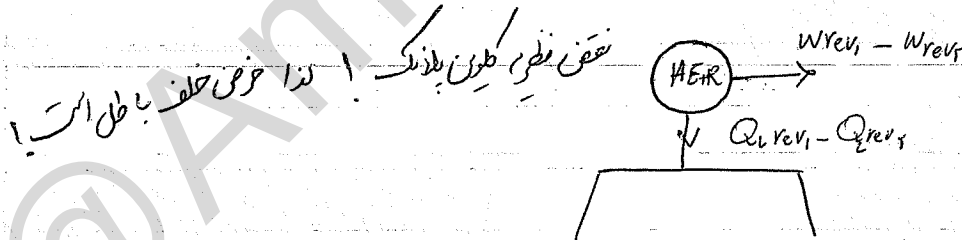


* حال کلی دو موتور را با هم بررسی می‌کنیم.

پس فرض $W_{2m} > W_{rev}$ غلط است



* اثبات اصل دوم:
 $W_{rev1} > W_{rev2} \rightarrow Q_{H1} - Q_{L1,rev1} > Q_{H2} - Q_{L2,rev2}$
 $Q_{H1} - Q_{L1,rev1} > Q_{H2} - Q_{L2,rev2}$
 $\Rightarrow Q_{L1,rev1} < Q_{L2,rev2}$



به معیاس درجه حرارت که بزرگی به خواص ماده ای که

(بسیار مهم) که * معیاس ترمودینامیکی دما :

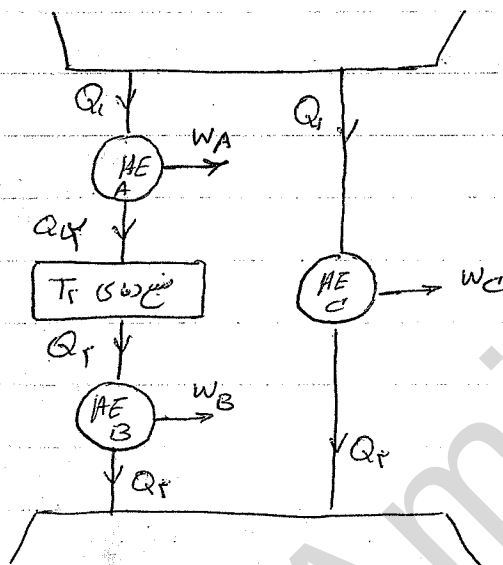
برای اندازه گیری استفاده می‌شوند ندارد

(۶۹)
* نکته: بازده موتور حرارتی کارنو به سهال عامل بستگی ندارد بلکه به دمای دو منبع ارتباط پیدا

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_c}{Q_H} = f(T_H, T_L) \quad \text{می‌کند}$$

فرم تابع $f(T_H, T_L)$ به وسیله ی ماشین حرارتی برگشت پذیر که در شکل

نشان داده شده بررسی می‌کنیم.



$$\frac{Q_1}{Q_r} = f(T_1, T_2)$$

$$\frac{Q_r}{Q_c} = f(T_c, T_r)$$

$$\frac{Q_1}{Q_r} = f(T_1, T_r)$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{Q_r} = \frac{Q_1}{Q_c} \times \frac{Q_c}{Q_r}$$

$$\Rightarrow f(T_1, T_r) = f(T_1, T_c) \times f(T_c, T_r)$$

$$\Rightarrow f(T_1, T_c) = \frac{\psi(T_1)}{\psi(T_c)}$$

$$f(T_c, T_r) = \frac{\psi(T_c)}{\psi(T_r)}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_1}{Q_r} = \frac{\psi(T_1)}{\psi(T_r)}$$

$$\Rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{\psi(T_H)}{\psi(T_L)}$$

* نشان می‌دهد که ثابت گرما ی خاص از دما یست!

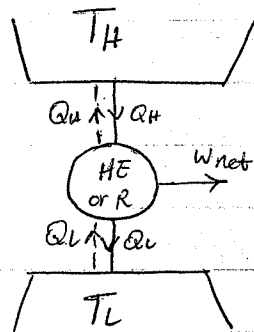
(۷۶)

* آکامی بردگوس برای لوسن بار $T_H = T_L$ ما به عنوان معیاس نمودن میکی پشتها در دقت

✓ * نتیجه گیری : (جمع بندی)

* برای چرخه های برگشت پذیر نسبت به انتقال حرارت

$\frac{Q_H}{Q_L}$ می تواند به نسبت مطلق $\frac{T_H}{T_L}$ جایگزین شود



$$\Rightarrow \frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L} \xrightarrow{\text{فقط در برگشت پذیر}} \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

« جواب ۲۰ »

* فرض می کنیم موتور حرارتی ای داریم که این نقطه جوش آب و نقطه ی انجماد آب

کاری کند. در اینجا نگاه داریم :

$$\textcircled{1} \eta_{th} = 24.18\% = 0.2418 = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$\textcircled{2} T_H - T_L = 100$

$\frac{100}{2} \rightarrow T_H = 273.15$
 نقطه ی جوش آب

$T_L = 273.15$
 نقطه ی انجماد

$$\rightarrow T_{(L)} = T_{(C)} + 273.15$$

(۷۱)

* مثال: مطلوبت ضریب عملکرد یک سیستم کارخانه به صورت پمپاژ کاری کند

بین دمای ۵-، ۵۰ درجه سانتیگراد قرار دارد:

$$T_H = 273.15 + 25$$

$$T_L = 273.15 + (-5)$$

$$\Rightarrow \beta_{\text{ضریب عملکرد}} = \frac{Q_L}{W} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = 2.7$$

* مثال: سیستم مایع در ۸۰۰ از یک راکتور هسته‌ای خارج می‌شود و به عنوان یک منبع انرژی

در یک نیروگاه بخار به کاری رود. گداز نور نیروگاه در ۱۵ می باشد مطلوبت سیستم را بدین

نیروگاه:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.731$$

* مثال (اصحاحی): یک پمپ حرارتی در منزل موجود است این پمپ در زمان حرارت را از بیرون

به داخل منتقل می‌کند و در تابستان برعکس کاری کند و حرارت را از منزل خارج می‌کند دمای منزل

۲۰ می باشد و حرارت منتقل شده از ساختمان ۲۴۰۰ کلو وات است؟ ازای هر درجه اختلاف دما باشد

الف) در صورتی که دمای بیرون صفر باشد، سیستم توان لازم برای پمپ حرارتی چند وات است؟

ب) اگر همین مقدار توان به پمپ در تابستان داده شود حداکثر دمای بیرون چقدر می‌تواند باشد؟

(۷۲)

الف)

$$\beta = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{1 - \frac{T_L}{T_H}} = 14,45$$

$$\Rightarrow 14,45 = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}} \Rightarrow \frac{2400 \left(\frac{1}{2400} \right) (20)}{14,45} = 0,91 \text{ kW}$$

$$\beta = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{net}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{1}{\frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_L} - 1} = \frac{1}{\frac{T_H}{T_L} - 1} \Rightarrow$$

$$\frac{1}{\frac{T_H}{192,15} - 1} = \frac{\frac{2400}{2400} (T_H - 292,15)}{0,91} \Rightarrow T_H = 313 \text{ K} = 40^\circ \text{C}$$

(۷۲)

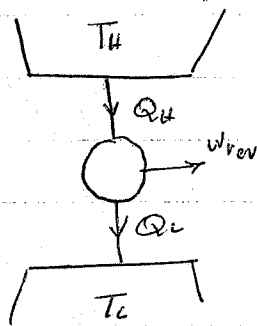
« استروپی »

« فصل هشتم »

نامادی کلازوسی : انتگرال سیکی $\frac{\delta Q}{T}$ درکامی سیکی (نچال و مونورجاری) بازگشت پذیر

و بازگشت پذیر کو چکر یا مرادی صفر است $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0$

اجبات : یک مونورجاری بازگشت پذیر (کارنو) که بین دو منبع T_H و T_L کاری کند :



$$\oint \delta Q = Q_H - Q_L = 0$$

معنای خودرسانی کلی کوین و این واقعیت که سیکی بازگشت پذیر

است : $\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$

$$\Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = 0$$

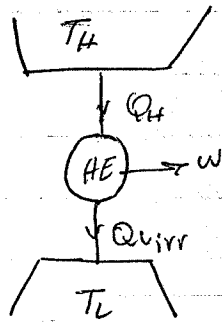
حالت جدی : انتگرال سیکی δQ به یک صفر میل می کند (از جای که دو منبع T_H و T_L)

* $\oint \delta Q > 0$ (هم نزدیک می شوند)

* $\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \rightarrow$ مونورجاری بازگشت پذیر

(۷۴)

* حال موتور حرارتی بازگشت ناپذیر که Q_H دریافت می کند



$$W_{irr} < W_{rev} \rightarrow Q_H - Q_{L,irr} < Q_H - Q_L$$

$$\oint \delta Q = Q_H - Q_{L,irr} < 0$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_{L,irr}}{T_L} < 0$$

* $(Q_{L,irr} > Q_{L,rev})$

حالت همی؛ انتگرال سیگما $\oint \delta Q$ زمانی به صفر میل می کند که بازگشت ناپذیری

افزایشی رابط موتور بازگشت ناپذیر شود

$$\oint \delta Q > 0$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\oint \delta Q = -Q_H + Q_L < 0$$

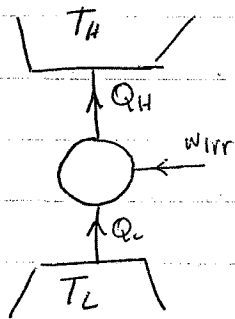
* - بچال (اثبات) برگشت پذیر

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = 0$$

$$\oint \delta Q \leq 0, \oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{حالت همی: } T_H \leftarrow T_L \text{ نزدیک می شود}$$

(۷۵)

پنجال بازگشت ناپذیر:



$$W_{irr} > W_{rev}$$

$$\Rightarrow Q_{Hirr} - Q_L > Q_H - Q_L \rightarrow Q_{Hirr} > Q_H$$

$$\oint \delta Q = -Q_{Hirr} + Q_L < 0$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = -\frac{Q_{Hirr}}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} < 0$$

$$\oint \delta Q < 0, \quad \oint \frac{\delta Q}{T} < 0 \quad \text{حالت هدی:}$$

*۷. جمع بندی ۲

برای همی سیکل‌های بازگشت پذیر ممکن که در آنها انتگرال سیکل δQ

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \text{مثبت یا منفی می‌تواند باشد داریم:}$$

برای همی سیکل‌های بازگشت ناپذیر ممکن که در آنها علامت انتگرال سیکل δQ

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \quad \text{می‌تواند مثبت یا منفی باشد داریم:}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} < 0$$

(۷۶)

۱. * پانچ کونیز : مخزن رابره خون حجم کنترل در نظری گرم در حالت اولیه بخار 25°C از

مخزن خارج می شود و در انتهای تحول بخار صورت درجه سردی می آید لذا آب شایه خارجی را متوسط

آب شایه را در نظری گرم (در واقع برای تمام خواص باید این کار را کرد)

$$v = 1801 \text{ t}$$

$$T_2 = 0^{\circ}\text{C}$$

$$v_g = 24 \text{ t}$$

$$m_e = m_{\text{خبر}} = ?$$

$$v_f = 26 \text{ t}$$

$$m_{\text{جدا}} = m_r = ?$$

$$T_1 = 25^{\circ}\text{C}$$

$$T_1 = 25^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{جدول آب اشباع}} \left\{ \begin{array}{ll} p_1 = p_{\text{sat}} = 2,179 & \\ h_{f,1} = 104,187 & \\ h_{g,1} = 2442,30 & v_{f,1} = 0,001002 \\ h_{g,1} = 2547,14 & v_{g,1} = 2,17882 \\ u_{f,1} = 104,182 & v_{g,1} = 24,2592 \\ u_{fg,1} = 2304,90 & \\ u_{g,1} = 2409,72 & \end{array} \right.$$

$$T_2 = 0^{\circ}\text{C} \xrightarrow[\text{بخار اشباع}]{\text{جدول آب}} \left\{ \begin{array}{ll} p_2 = 0,4108 & \\ h_{f,2} = -224,22 & v_{f,2} = 0,0010908 \\ h_{g,2} = 2842,8 & v_{f,2} = 204,312 \\ h_{g,2} = 2501,3 & v_{g,2} = 204,312 \\ v_{f,2} = -333,42 & \\ u_{f,2} = 2708,7 & \\ u_{g,2} = 2375,3 & \end{array} \right.$$

$$\begin{cases}
 m_{f_1} = \frac{V_{f_1}}{v_{f_1}} = \frac{1 \times 10^{-4}}{0,001001} = 1,99 \times 10^{-1} \\
 m_{g_1} = \frac{V_{g_1}}{v_{g_1}} = \frac{11 \times 10^{-4}}{0,000001} = 1,1 \times 10^4
 \end{cases} \Rightarrow m_1 = 1,99 \times 10^{-1} \text{ kg}$$

$$h_e = \frac{h_{g_1} + h_{g_2}}{2} = 1075, 115$$

$$u_1 = u_{f_1} + x_{f_1} u_{g_1} = 108,14 + (0,000111)(1108,90) = 108,15$$

$$m_{he} = 0,05, 1192$$

$$m_{u_1} = 1,9, 10$$

$$m_{he} + m_{u_1} - m_{u_1} = 0$$

$$m_e = m_{he} - m_{u_1}$$

$$\Rightarrow m_r (h_e - u_r) = m_{he} - m_{u_1}$$

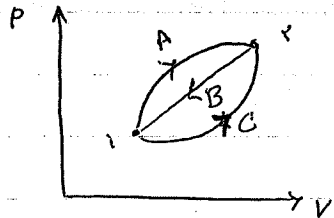
$$m_r = \frac{V_r = \bar{V}_1}{v_c} = \frac{10 \times 10^{-4}}{v_{f_1} + x_r u_{g_1}}$$

$$u_r = u_{f_1} + x_r u_{g_1}$$

$$\Rightarrow \frac{10 \times 10^{-4}}{0,001001001 + x_r (0,000001)} (1075, 115 - (-1108, 90) + x_r (1108, 90)) = 0,05, 1192$$

$$\Rightarrow x_r = 0,000001$$

۱. * آنتروپی: یک کمیت نایزگشت پذیر:



$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B = 0 \quad (1)$$

$$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_C + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_B = 0 \quad (2)$$

$$\stackrel{(1),(2)}{\Rightarrow} \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_A = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_C$$

۱. * نتیجه: $\int \frac{\delta Q}{T}$ که مستقل از مسیر است فقط تابع ابتدا و انتهای فرایند است

را آنتروپی می نامیم. آنتروپی یک خاصیت است

$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$$

کن را با علامت نشان می دهیم

$$\Rightarrow S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{rev}$$

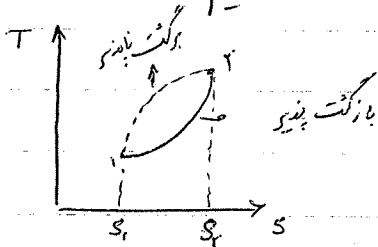
آنتروپی در دایره حجم S می باشد (نقطه عا)

important نکته: از آن جایی که آنتروپی یک خاصیت است، مانند سایر خواص در شرایط ثابت

مقدار ثابتی دارد بنابراین تغییرات آنتروپی ΔS بین دو حالت مشخص یکسان می باشد و

بستگی به مسیری که برگشت پذیر یا برگشت ناپذیری که یک فرایند طی می کند ندارد.

* در مانع برای هر دو فرایند بازگشت پذیر یا ناپذیر، یک AS خواهیم داشت.



* تعریف مرجع برای آنتروپی: آنتروپی مانع اشیاء و آب، در درجه‌ای T^0 به برابر صفر

عرض شده است و برای سایر سیالات خلک کننده آنتروپی مانع اشیاء در T^0 - صفر غرضی

می شود.

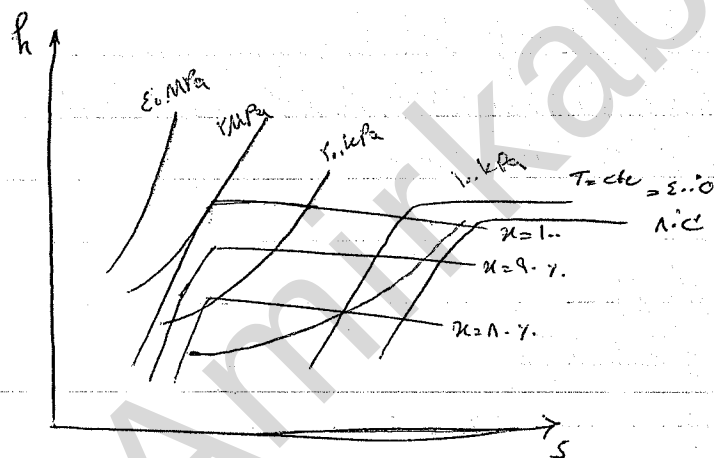
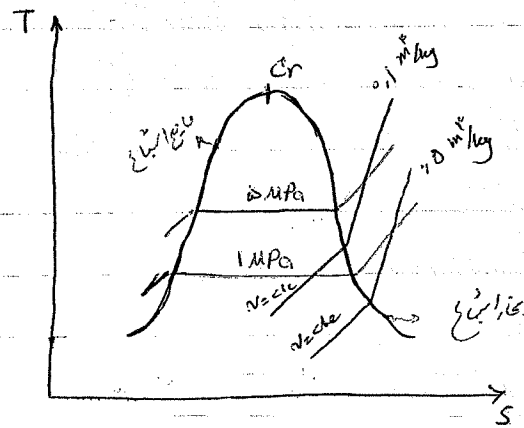
$$* : S = S_f + x S_g \quad , \quad S = (1-x) S_f + x S_g$$

$$S_f < S < S_g \rightarrow \text{اشباع} \quad , \quad S > S_g \rightarrow \text{بخار فوق اشباع} \quad , \quad S < S_f \rightarrow \text{مایع متراکم}$$

۷* : نمودارهای مولیر: یک دانشمند آلمانی به نام آلفای مولیر نمودارهای آنتروپی - درجه حرارت

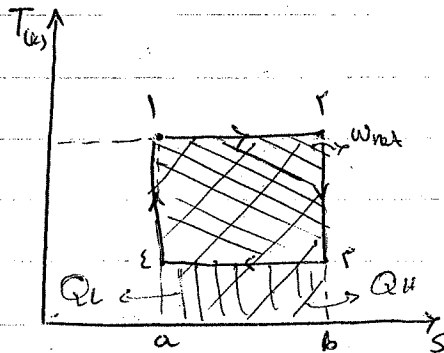
و آنتالپی - آنتروپی مواد را رسم کرده

« نمودار درجه حرارت - آنتالپی »



۱* نکته: اکثردی جاع مَرکُم (آب) کمتر از اکثردی جاع اشباع در حین دهم جارت
می باشد ولی در دمای صفر دهم اکثردی جاع مَرکُم بیشتر از جاع اشباع می باشد.

(۸۱)



سیکل کارنو :

۱- بساط همدم در T_H (۱-۲)

۲- بساط آدیاباتیکی در T_H به T_L (۲-۳)

۳- انقباض همدم در T_L (۳-۴)

۴- انقباض آدیاباتیکی از T_L به T_H (۴-۱)

$$* (1-2): S_2 - S_1 = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T_H} \int \delta Q = \frac{Q_H}{T_H}$$

$$* (2-3): ds = \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_{rev} = 0 \quad \text{چون بساط آدیاباتیکی برگشت پذیر است و هیچ گرمایی مبادیه نمی کند}$$

$$S_2 = S_3$$

$$* (3-4): S_4 - S_3 = \int \frac{\delta Q}{T_L} = \frac{1}{T_L} \int \delta Q = \frac{Q_L}{T_L}$$

$$* (4-1): ds = 0 \rightarrow S_4 = S_1$$

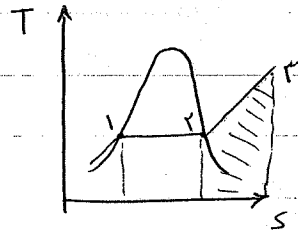
$$W_{net} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{\int (1-2-3-4-1)}{\int (a-1-2-b)}$$

* سیکل محال کارنو: جهت برگشتی باشد و Q_H و Q_L هم ترتیب معنی داشته خواهند

$$\Rightarrow W_{net} = Q_L - Q_H \quad \text{و} \quad W_{net} \quad \text{بد}$$

(۱۲)



$$(1-2) \quad s_2 - s_1 = s_{fg} = \frac{1}{m} \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{mT} \int \delta Q$$

$$= \frac{q_v}{T} = \frac{h_{fg}}{T}$$

$$(2-3) \quad ds = \frac{\delta Q}{mT} \rightarrow \int T ds = q$$

↙ مساحت زیر نمودار (T-s)

« جلسه ۲۲ »

* رابطه‌ی بین خواص ژمودینامیکی :

خواص یک ماده فقط بستگی به حالت ژمودینامیکی آن دارد

بنابراین تغییر خواص طی تغییر حالت مشخص برای فرایندهای بازگشت پذیر و بازگشت پذیر

$$Tds = du + p dv$$

یکسان خواهد بود.

⇐ از معادله فوق برای یک فرایند بازگشت پذیر بین دو حالت مشخص می توان

استفاده کرد و انتگرال از آن در امتداد مسیر بازگشت پذیر بین همان دو حالت باید انجام

$$H = U + pV \Rightarrow dH = \underbrace{du + p dv}_{Tds} + v dp$$

نمود

$$\Rightarrow Tds = dH - v dp$$

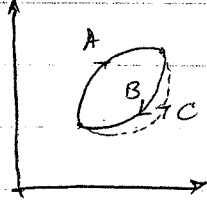
(۸۳)

*۱. معادلات یکس :

$$*۱. Tds = du + p dv$$

$$*۲. Tds = dh - v dp$$

*۳. تغییر آنتروپی یک جرم کنترل دلی یک فرآیند بازگشت ناپذیر:



کلانترس $\rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B = 0$

ناممکن کلانترس $\rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B < 0$

$\int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A > \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C$

$\Rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right) = \int_1^2 ds_A = \int_1^2 ds_C$

$\Rightarrow \int_1^2 ds_C > \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C \Rightarrow ds > \frac{\delta Q}{T}$

✓ جمع بندی:

اگر طی یک فرآیند بازگشت پذیر در دمای T مقدار δQ حرارت

$$ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev}$$

در حجم کنترل انتقال باید تغییر آنتروپی از رابطه زیر بدست آید

اگر طی فرآیند بازگشت پذیر در دمای T مقدار δQ حرارت به حجم کنترل

$$ds > \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irr}$$

انتقال باید می توان نوشت:

✓ تولید آنتروپی:

$$\text{فرآیند بازگشت پذیر} \quad \delta s_{gen} = 0 \quad ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irr} + \delta s_{gen} \quad \text{① مانده}$$

$$\text{فرآیند بازگشت پذیر} \quad ds = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev} + 0 \quad \text{②}$$

$$\delta Q_{irr} = du + \delta w_{irr} \quad \xrightarrow{\text{①}} \quad \delta Q_{irr} = T ds - T \delta s_{gen}$$

$$\text{مانده ①:} \quad T ds = du + p dv$$

$$\Rightarrow \delta w_{irr} = p dv - T \delta s_{gen}$$

کار از دست رفته

کار با مقدار تولید آنتروپی کاهش یافته است عبارت $T \delta s_{gen}$ کار از دست رفته می نامند

۷. جمع بندی:

*: دوره برای افزایش اکسرژی وجود دارد:

- از طریق انتقال حرارت به سیستم

- از طریق وارد دادن دریک فرآیند بازگشت ناپذیر

*: یک راه برای کاهش اکسرژی وجود دارد:

- حرارت از طریق سیستم انتقال یابد

*: دریک فرآیند اسباط کارگسری خارج و دریک فرآیند تراکم کار بیشتری

$$W_{irr} < W_{rev}$$

ولرد سیستم می شود

$$Q_{irr} < Q_{rev}$$

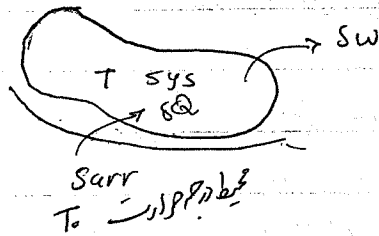
*: در فرآیندهای بازگشت ناپذیر مقدار کار برابر $p dv$ نیست و انتقال حرارت

$T ds$ نمی باشد بنابراین سطح زیر منحنی داری $p-v$ و $T-s$ به ترتیب بیانگر کار و حرارت

می باشند.

(۸۶)

* اصل افزایش اکسرژی:



$$ds_{sys} \geq \frac{\delta Q}{T}$$

$$ds = -\frac{\delta Q}{T_0}$$

$T_0 \geq T, \delta Q \geq 0$

$$\Rightarrow ds_{net} = ds_{sys} + ds_{surr} \geq \frac{\delta Q}{T} - \frac{\delta Q}{T_0} \geq 0$$

$\delta Q < 0, T < T_0$

$$ds_{sys} + ds_{surr} \geq 0$$

پس محلی می‌تواند در طبیعت اتفاق بیفتد که تغییرات اکسرژی محیط و سیستم مثبت یا حداقل

در تحول بازگشت پذیر برابر صفر باشند ← اصل افزایش اکسرژی

$$ds_{net} \begin{cases} > 0 & \text{بازگشت ناپذیر} \\ = 0 & \text{تغییر بازگشت پذیر} \\ < 0 & \text{غیر ممکن} \end{cases}$$

* مثال: فرض کنید هوا بخار آب ابرج در دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد و در اثر انتقال حرارت

(۸۷)
 طی فرآیند فشار ثابت، هوای محیط که درج حرارت آن 25°C است، تبدیل

به مایع استیج در 100°C گردد. مقدار افزایش خالص آنتروپی بخلاف محیط چقدر است؟

$$T = 100^{\circ}\text{C} \xrightarrow{\text{جدول}} \begin{cases} S_g - S_f = S_{fg} = 710.48 \text{ kJ/kg} \\ m = 1 \text{ kg}, h_{fg} = 2257.2 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

$$\Delta S_{\text{sys}} = -m S_{fg} = -1 \times 710.48 = -710.48$$

$$Q = m h_{fg} = 2257 \Rightarrow \Delta S_{\text{surr}} = \frac{Q}{T_0} = \frac{2257}{25+273.15} = 715.7$$

$$\Delta S_{\text{net}} = \Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} = -710.48 + 715.7 = 5.22$$

• جواب ۲۲ •

آنتروپی گاز ایده آل:

$$*) T ds = du + p dv$$

$$\begin{cases} p v = R T \\ du = c_v dT \end{cases}$$

$$\Rightarrow ds = c_v \frac{dT}{T} + R \frac{dv}{v}$$

$$\Rightarrow S_2 - S_1 = \int_1^2 c_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$\begin{cases} T ds = dh - v dp \\ dh = c_p dT \end{cases}$$

$$\Rightarrow S_2 - S_1 = \int_1^2 c_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{p_2}{p_1}$$

$$S_2 - S_1 = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{حالت ۱:} \quad (۸۸)$$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

حالت ۲: C_p تابع دما باشد — باید از نرم اول انتگرال بگیریم

حالت ۳: $\int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T}$ را بگیر، برای همیشه نسبت به دمای مرجع T_0 و دمای T (مورد نظر)

انتگرال گرفته و در جدول گرم دینامیکی ثبت می کنیم جدول A-۷ (هوا) A-۸ (واکوم)

$$S_T = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} \rightarrow S_2 - S_1 = (S_{T_2} - S_{T_1}) - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

مثال: مطلوبیت تغییرات گاز ایدئال هوا برای هوای کتونگرم هوا زمانی که که هوا در اثر حرارت

از دمای ۲۰۰ ک، فشار ۴۰۰ ک، دمای ۶۰۰ ک، و فشار ۲۰۰ ک برسد.

پس ①: $C_p = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$S_2 - S_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$R = 0.287$$

$$\Rightarrow 0.7781 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

پس ②:

$$S_2 - S_1 = (S_{T_2} - S_{T_1}) - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 0.7781 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

* فرض می‌کنیم فرآیند آدیاباتیک بازنگشت پذیر باشد ^(۱۹) - آیزنترپیک

$$\begin{cases} Tds = dh - vdp = 0 \\ dh = c_p dT \end{cases} \Rightarrow c_p dT = vdp = RT \frac{dp}{P} \rightarrow \frac{dp}{P} = \frac{c_p}{R} \frac{dT}{T}$$

از این معادله می‌توان به سبب مبنای T, P و حالت دلخواه T, P اینگراس می‌گیریم:

$$\ln P_r = \ln \frac{P}{P_i} = \frac{1}{R} \int_{T_i}^T c_p \frac{dT}{T} = \frac{s_T}{R}$$

برای آیزنترپیک صادق است

* می‌توانیم برای توان مقدار P_r را بر حسب درجه حرارت جدول بندی کرد در جدول A-۱۲

و در داخل این کار صورت گرفته است

* اگر دو حالت اول درآدیاباتیک خلا آیزنتری ثابت باشد:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{P_{r1}}{P_{r2}} \right)_{s=c} \quad v_r = \frac{v}{v_c} \rightarrow \frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{v_{r1}}{v_{r2}} \right)$$

۱- مثال: یک کیلوگرم هوا از شرایط ۱۰۰۰ کلفین و ۱۰۰ کلوگرم در درون یک سیلندر پیستون

طی فرآیند آدیاباتیک بازنگشت پذیر تا فشار ۱۰۰ کلفین منبسط می‌شود. درجه حرارت نهایی

و کار انجام شده طی فرآیند را محاسبه کنید؟

(9.)

$$Q_r = \Delta U + W_r \Rightarrow W_r = -\Delta U \quad \text{بجای} \leftarrow$$

$$\textcircled{1} \Rightarrow -m(u_f - u_i) = -m c_v (T_c - T_i)$$

$$\textcircled{2} \quad T_i = 1000 \text{ K} \xrightarrow{A-V} \begin{cases} P_i = 91,450.77 \\ u_i = 759,189 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \frac{P_i}{P_f} = \left(\frac{P_i}{P_f} \right)_{s=\text{cte}} \rightarrow \frac{1000}{100} = \frac{91,450.77}{P_f} \rightarrow P_f = 9,145$$

بین دو مقدار زیر میانی شد:

$$\begin{cases} P_i = 91,454 \\ T_i = 1000 \text{ K} \\ u_i = 759,189 \end{cases} \quad \begin{cases} P_f = 9,145 \\ T_f = 100 \text{ K} \\ u_f = 259,189 \end{cases}$$

$$P_f = 9,145 \rightarrow \begin{cases} T_f = 100 \text{ K} \\ u_f = 259,189 \end{cases}$$

$$\Rightarrow W_r = -1 (259,189 - 759,189) = 500 \text{ kJ}$$

$$\begin{cases} C_p - C_v = R & \text{مکمل بودن} \\ \frac{C_p}{C_v} = k & \text{نسبت ثابت دما} \end{cases}$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{kR}{k-1}, \quad C_v = \frac{R}{k-1}$$

$$k = \left(\frac{\text{حرارت مخصوص در فشار ثابت}}{\text{حرارت مخصوص در حجم ثابت}} \right)$$

* با فرض ثابت بودن حرارت مخصوص، اگر دمای یک گاز با یک بازگشت پذیر فرضی کردن جریان

$$ds = 0 \Rightarrow Tds = du + pdv = C_v dT + pdv = 0$$

$$pv = RT \rightarrow T = \frac{pv}{R} \rightarrow dT = \frac{1}{R} (pdv + vdp)$$

$$\Rightarrow \frac{C_v}{R} (pdv + vdp) + pdv = 0 \Rightarrow \frac{1}{k-1} (pdv + vdp) + pdv = 0$$

$$\Rightarrow vdp + kpdv \Rightarrow \frac{dp}{p} + k \frac{dv}{v} = 0 \Rightarrow \boxed{pv^k = \text{cte}} (*)$$

* نکته: معادله (*) در مورد تمام گازهای ایده آل و دمای بالا و کم برقرار است.

بر گاز ایده آل با حرارت مخصوص ثابت برقرار است.

$$pv^k = \text{cte} = p_1 v_1^k = p_2 v_2^k$$



(۹۲)

$$\begin{cases} \frac{P_r}{P_i} = \left(\frac{V_i}{V_r}\right)^k \\ \frac{P_i V_i}{P_r V_r} = \frac{T_i}{T_r} \end{cases} \Rightarrow \frac{T_r}{T_i} = \left(\frac{P_r}{P_i}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_i}{V_r}\right)^{k-1}$$

- از مانور اول فرموده‌های کار فرایند فوق را می‌توانیم:

$$\oint -W = dU \Rightarrow -W = m(u_r - u_i) = m C_v (T_r - T_i)$$

$$\Rightarrow \frac{mR}{1-k} (T_r - T_i) = \frac{P_r V_r - P_i V_i}{1-k} \left(\underbrace{\frac{mR T_r}{P_r V_r}}_{(*)} - \underbrace{\frac{mR T_i}{P_i V_i}}_{(*)} \right) \quad (**) (*)$$

۱* نکته: رابطه‌ی (*) (*) در مورد فرایندهای ایزوباریک کارایی‌ها که با فرضی جرات محضی

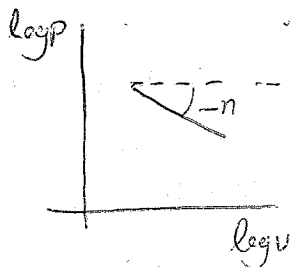
ثابت صادق است چون هیچ فرضی در خصوص بازگشت ناپذیری نداشته‌ایم، پس رابطه‌ی فوق

برای حالت‌های بازگشت ناپذیر هم صادق است.

۲* فرایندهای برگشت پذیر کارایی‌ها که:

وقتی کار فرایند بازگشت پذیر را طی می‌کنند که در آن انتقال حرارت وجود دارد

متغیر است. $\log p$ نسبت به $\log v$ خطی است.



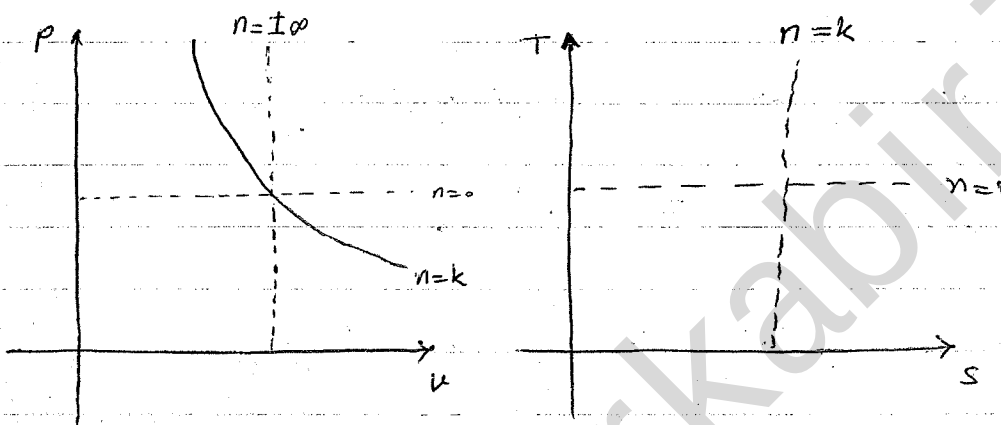
$$\frac{d \log p}{d \log v} = -n$$

$$\rightarrow \frac{d \ln p}{d \ln v} = -n$$

$$\Rightarrow p V^n = \text{cte}$$

(۹۲) $\frac{P_r}{P_i} = \left(\frac{V_i}{V_r}\right)^n = \left(\frac{V_i}{V_r}\right)^{\frac{n-1}{n}}$, $PV = RT$ ← ارقام :

$\Rightarrow \frac{T_r}{T_i} = \left(\frac{P_r}{P_i}\right)^{\frac{n-1}{n}} = \left(\frac{V_i}{V_r}\right)^{n-1}$ → فرمولی که می‌خواهیم



(گازها را در نظر بگیرید) $PV^n = \text{cte}$ $\left\{ \begin{array}{l} n=0 \\ m=1 \\ n=\infty \end{array} \right.$
 $w = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1}$ $w_r = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$

۱- مثال: یک سیلندر پیستون حاوی هوا که در دما ۱۰۰ KPa و ۲۰۰ C است. گاز را

به صورت بازگشت پذیر تا فشار ۱۰۰ KPa متراکم می‌کنیم. کار مورد نیاز را در حالت‌های زیر

بیا بیند: الف) اگر با باریک (ب) هم دما (پ) پلی‌تروپیک (۱.۱۵)

الف) اگر باریک $w_r = -mC_v(T_c - T_i) = -mC_v(T_c - T_i)$ $P_r = P_i$

$\Rightarrow \frac{T_r}{T_i} = \left(\frac{P_r}{P_i}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_r = T_i \left(\frac{P_r}{P_i}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

(۹۴)

$$W_T = -1,174 (297,15 - 297,15) = -212,8 \text{ کج متر مکعب}$$

$$T = \text{cte}, \quad pV = \text{cte}, \quad Q_T = W_T = p_1 V_1 \ln \frac{p_1}{p_2} \quad (1)$$

$$= m R T_1 \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$\Rightarrow W_T = 1 \times 0,518 \times 297,15 \ln \frac{100}{10} = -215,45 \text{ کج}$$

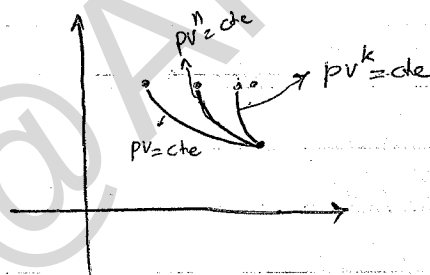
$$pV^n = \text{cte} \rightarrow W_T = \frac{1}{1-n} (p_2 V_2 - p_1 V_1) = \frac{m R (T_2 - T_1)}{1-n} \quad (2)$$

$$\Rightarrow T_2 = ? \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \Rightarrow T_2 = 285,81 \text{ K}$$

$$\Rightarrow W_T = \frac{0,518}{1-1,15} (285,81 - 297,15) = -215,45 \text{ کج}$$

$$\Rightarrow Q - W = \Delta U \rightarrow Q = \Delta U + W_T = m C_{v,1} (T_2 - T_1) + W_T$$

$$= 1 \times 1,174 (285,81 - 297,15) - 215,45 = -157,02$$



* حال ΔS را برای هر یک از حالت‌ها بدست آوریم.

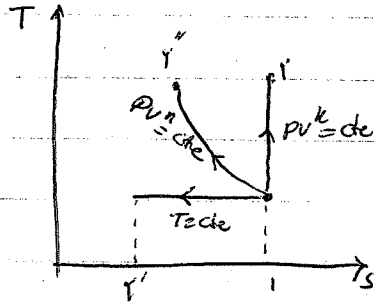
$$\Delta S = m c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - m R \ln \frac{p_2}{p_1} \quad (1) \quad S_1 = S_2 \quad (2)$$

$$\Rightarrow \Delta S = -1,0777 \text{ کج/K}$$

$$\Delta S = 1 \times 215,45 \ln \frac{285,81}{297,15} - 1 \times 0,518 \ln \frac{100}{10} = -0,4475$$

(۹۵)

← مجوزدار سوال نہیں :



حاجه ۲۵

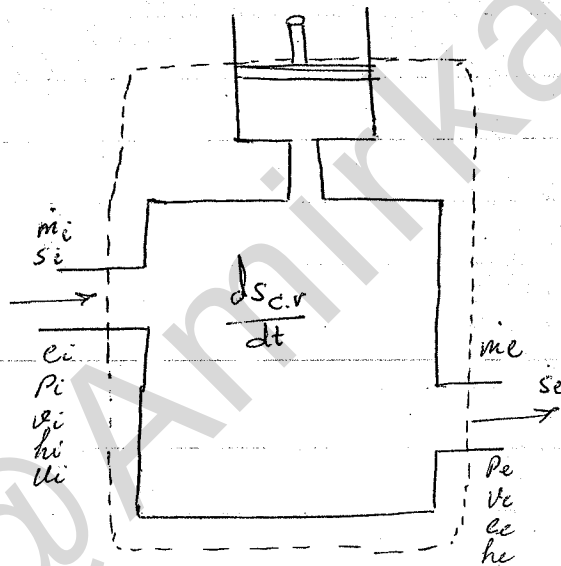
*۷ تحلیل قانون دوم در مورد حجم کنترل:

$$ds_{sys} = \frac{\delta Q}{T} + \delta S_{gen}$$

$$\frac{ds_{sys}}{\delta t} = \frac{\frac{\delta Q}{\delta t}}{T} + \frac{\delta S_{gen}}{\delta t} \Rightarrow \frac{ds_{sys}}{dt} = \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen}$$

* غرض از قانون دوم در مورد سیستمی که با چند منبع حرارت کاری کند و با دماهای مختلف

ارتباط دارد



$$\underline{\text{۱*}} \quad \frac{ds_{c.v}}{dt} = \underbrace{\sum m_i S_i - \sum m_e S_e}_{\text{تغییرات آنتروپی با درون حجم کنترل}} + \underbrace{\sum \frac{\dot{Q}}{T}}_{\text{تغییرات آنتروپی با حرارت جرم}} + \underbrace{\dot{S}_{gen}}_{\text{تغییرات آنتروپی (تولید)}}$$

تغییرات آنتروپی (تولید) تغییرات آنتروپی با حرارت جرم تغییرات آنتروپی با درون حجم کنترل

در ۷.۱

$$\sum \frac{\dot{Q}}{T} = \int \frac{dQ}{T} = \int \frac{\dot{Q}/A}{T_{\text{میانی}}} dA \quad (97)$$

$$\Rightarrow \frac{ds_{cv}}{dt} \geq \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T}$$

* حالت نامعادای قانون دوم کلودیوس برای حجم کنترل

* v. فرایند حالت پایدار - جریان پایدار SSSF

$$\frac{ds_{cv}}{dt} = 0$$

$$\Rightarrow \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i = \sum \frac{\dot{Q}_{cv}}{T} + \dot{S}_{den}$$

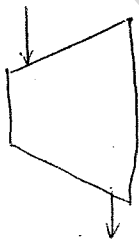
$$\dot{m}(s_e - s_i) = \sum \frac{\dot{Q}_{cv}}{T} + \dot{S}_{gen} \quad \text{در حالتی که یک ورودی و خروجی داریم}$$

$$s_e \geq s_i$$

* در حالتی که تحول اکسایشی فرض شود:

* مثال: بخار آب با فشار 1 MPa و درجه حرارت 200°C و سرعت 50 m/s وارد توربین

می‌گردد و با فشار 150 kPa و سرعت 200 m/s رانک می‌کند. با فرض این که فرایند اکسایشی



بزرگ‌ترین پذیر باشد. کار را محاسبه کنید.

$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

$$\text{قانون اول} \Rightarrow h_i + \frac{V_i^2}{2} = h_e + \frac{V_e^2}{2} + w$$

$$s_i = s_e \quad \text{قانون دوم}$$

(۹۸)

$$(c) \left\{ \begin{array}{l} P_i = 1 \text{ MPa} \\ T_i = 20^\circ \text{C} \\ V_i = 0.075 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} h_i = 20.012 \\ S_i = 0.1229 \end{array} \right.$$

$$(e) \left\{ \begin{array}{l} P_e = 100 \text{ kPa} \\ S_i = S_e = 0.1229 \end{array} \right. \xrightarrow{(S_i)} \left\{ \begin{array}{l} S_f = 0.1229 \\ S_{fg} = 0.1229 \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} h_f = 20.012 \\ h_{fg} = 2224.42 \end{array} \right.$$

$$\Rightarrow S = S_f + x_e S_{fg} \rightarrow x_e = 0.9827$$

$$\Rightarrow h_e = 2224.42 \quad \Rightarrow W = 377.5 \text{ kJ/kg}$$

۱- در فرآیند حالت یکفاز - جریان یکفاز : « usaf »

$$\frac{dS_{c.v}}{dt} = \sum m_i s_i - \sum m_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}}{T}$$

$$\int_0^t \frac{d(m s)}{dt} dt = m_f s_f - m_i s_i$$

$$\int_0^t (\sum m_i s_i) dt = \sum m_i s_i$$

$$\int_0^t (\sum m_e s_e) dt = \sum m_e s_e$$

$$\int_0^t \sum \frac{\dot{Q}}{T} dt$$

$$\Rightarrow \left(m_f s_f - m_i s_i \right) + \sum m_e s_e - \sum m_i s_i = \int_0^t \sum \frac{\dot{Q}}{T} dt$$

قانون کلی

$$\Rightarrow \int_0^t \sum \frac{\dot{Q}}{T} dt = \int_0^t \frac{1}{T} \sum \dot{Q} dt = \int_0^t \frac{\dot{Q}_{c.v}}{T} dt$$

(۹۹)

$$\text{در حالت ساده} \rightarrow (m_r s_r - m_i s_i)_{cv} + \sum m_e s_e - \sum m_i s_i = \int_1^2 \frac{\dot{Q}_{cv}}{T} dt + \sum \dot{m}_i s_{gen}$$

نکته: فرآیند بازگشت پذیر ssst:

دو فرآیند را بر یکدیگر:

الف) اگر با یک بازگشت پذیر:

$$\text{قانون دوم: } S_e = S_i$$

$$\text{قانون اول: } T ds = dh - v dp \Rightarrow dh = v dp \rightarrow h_e - h_i = \int_i^e v dp$$

$$\text{قانون اول: } w = (h_i - h_e) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e)$$

$$= - \int_i^e v dp + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e)$$

ب) قانون بازگشت پذیر:

$$\dot{m}(s_e - s_i) = \frac{1}{T} \sum \dot{Q}_{cv} = \frac{\dot{Q}_{cv}}{T}$$

$$\Rightarrow T \dot{m}(s_e - s_i) = \dot{Q}_{cv} \rightarrow T(s_e - s_i) = \left(\frac{\dot{Q}}{\dot{m}} \right) \rightarrow q_h$$

$$: T ds = dh - v dp \rightarrow T(s_e - s_i) = h_e - h_i - \int_i^e v dp$$

$$\rightarrow q_h = h_e - h_i - \int v dp$$

از (۱.۰.۰) داریم: $w = q + h_i - h_e + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e)$ ، قانون اول

→ $w = - \int_i^e v dp + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_e - z_i)$

نتیجه: با فرضی فوق از تلف نبودن کار انجام شده در محول پایدار دماست ^{sssf}

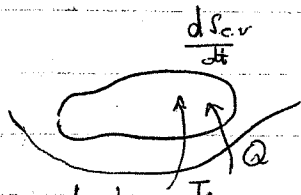
و آنتروپی یک با هم برابرند.

* نکته: در شیب و دمازل ما هم صفری نژد و لذا با توجه بالا داریم:

→ $v(p_i - p_e) + \frac{v_e^2 - v_i^2}{2} + g(z_e - z_i) = 0$ ، معادله دبی رونی

* نتیجه مهم: در بیشتر موارد از انرژی جنبشی در تانل صرف نظر می کنیم.

→ $w = - \int_i^e v dp$ کار انجام شده نسبت به w داریم
با حجم مخصوص!



اصل افزایش آنتروپی برای حجم کنترل:

$$\frac{dS}{dt} \Big|_{surr} + \frac{dS_{cv}}{dt} + \sum \dot{m}_e S_e - \sum \dot{m}_i S_i \geq \sum \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{T}$$

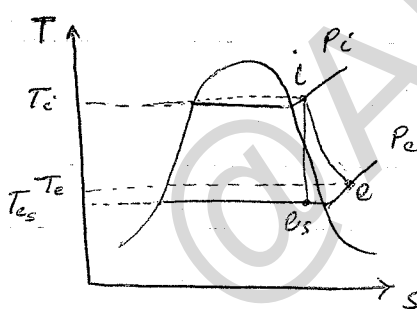
$$\frac{dS}{dt} \Big|_{surr} = \sum \dot{m}_e S_e - \sum \dot{m}_i S_i - \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{T_0}$$

با جمع کردن عبارات فوق داریم:

$$\frac{dS_{cv}}{dt} + \frac{dS_{surr}}{dt} \geq \sum \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{T} - \frac{\dot{Q}_{c.v.}}{T_0} \geq 0$$

در حالتی که $T_0 < T$ و برای $\dot{Q}_{c.v.} > 0$

کار آیزنبرگ در این رابطه به کار آیزنبرگ در نظریه آیزنبرگ.



$$\eta = \frac{W}{W_s}$$

* معادله تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل

سیالی که در توربین جریان دارد صرف نظریه آیزنبرگ. بنابراین کار خروجی یک توربین آید با یک

به شکل زیر می باشد:

$$\eta = \frac{h_i - h_e}{h_i - h_{es}}$$

* مثال: بخار با فشار ۲ MPa و دما ۴۰۰°C و دبی ۱۰۰ kg/s می‌شود و با فشار ۵۰ kPa و دمای

۱۰۰°C از یک توربین خروجی می‌شود. اگر توان خروجی توربین ۲ MW باشد (تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل هم

صرف نظر کنیم) الف) راندمان توربین ب) دبی جری جریان داخل توربین

$$\begin{aligned} P_i = 2 \text{ MPa} \\ T_i = 400^\circ\text{C} \end{aligned} \rightarrow \begin{cases} h_i = 3240.9 \text{ kJ/kg} \\ s_i = 7.9212 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} P_e = 50 \text{ kPa} \\ T_e = 100^\circ\text{C} \end{aligned} \rightarrow \begin{cases} h_e = 2482.1 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} s_i = s_{es} = 7.9212 \text{ kJ/kg} \\ P_e = 50 \text{ kPa} \end{aligned} \rightarrow \begin{cases} h_{es} = 2408.1 \text{ kJ/kg} \end{cases}$$

$$\eta_T = \frac{h_i - h_e}{h_i - h_{es}} = \frac{3240.9 - 2482.1}{3240.9 - 2408.1} = 24\%$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_e - h_i) \Rightarrow -2 \text{ MW} \left(\frac{10^6 \text{ W}}{1 \text{ MW}} \right) = \dot{m} (2482.1 - 3240.9)$$

$$\Rightarrow \dot{m} = 2145 \text{ kg/s}$$

* راندمان آگه‌ترتیک برای کم‌رسانه



$$\eta_c = \frac{h_{es} - h_i}{h_o - h_i} \quad (r)$$

* مثال: به هوا توسط یک کمربند آریاباتیک از فشار 100 kPa و درجه حرارت 12°C جریان

حجم ثابت ۱۲۰۰ گرم، فرکانس ۸۰۰ کیلوهرتز، اگر اندامی که با این کپسور ۸۰٪ باشد مشخص کنید

الف، دعای خردی هوا (ب) توان درودی لازم کمر برد

ہو را کا زایدہ اک فوضی می کنیم

حاصل باید که یعنی هوا را در بیان فرمایند تا کلام است که در علم

$$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_c}{P_i} \rightarrow P_{r2} = 1.12 \text{ atm} \left(\frac{1.00}{1.00} \right) = 1.12 \text{ atm}$$

$$\rightarrow P_{re} = 94 \text{ YUVI} \xrightarrow{\text{det}} P_{res} = 21 \text{ V, } 0 \text{ V } \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$q_c = \dot{m} = \frac{\dot{m} \nu_{f,0} \omega - \dot{m} \omega_{f,1E}}{h_e - \dot{m} \omega_{f,1E}} \Rightarrow h_e = \dot{m} \nu_{f,0} \omega$$

Daraus $T_e = \omega T_{f,0}$

$$Q - \dot{W} = m(h_e - h_i) \Rightarrow - 2.5 \times 10^3 \text{ W}$$

$$Q_{\text{rev}} = \frac{C_p (T_{\text{es}} - T_c)}{C_p (T_c - T_{\text{e}})}$$

(جمله ۲۷)

(۱.۴)

energy

* قابلیت کاردهی یا اکسرژی

تعریف: یک سیستم همگن کارکن را در یک فرآیند بازگشت پذیر از حالت ابتدایی به حالت خالص

(dead state) انجام خواهد داد. قابلیت کاردهی، پتانسیل کار، اکسرژی

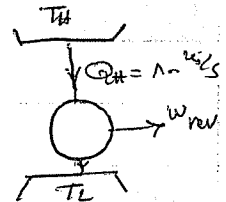
* نکته: قابلیت کاردهی در یک حالت مشخص به شرایط محیط و خواص سیستم بستگی دارد

* مثال: کوره بزرگی را در نظر بگیرید که مقدار ثابت 100 kJ/s حرارت را از دمای 1112 K تولید می کند

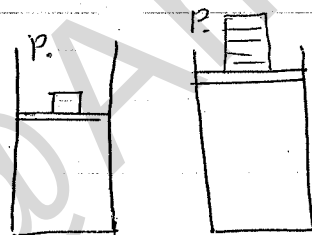
توانایی انجام کار با فرض آن که دمای محیط 298 K باشد:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{298}{1112} = 0.7317$$

$$\Rightarrow \dot{W}_{rev} = \dot{Q}_H \times \eta_{th} = 100 \times 0.7317 = 73.17 \text{ kJ/s}$$



* کار مفید:



$$\dot{W}_{surr} = P_0 (V_2 - V_1) = m P_0 (v_2 - v_1)$$

$$\Rightarrow \dot{W}_u = \dot{W}_{surr} - \dot{W}_{surr}$$

* تفاوت بین کار داینامیک و کار محیطی ($\dot{W}_{surr}$) را کار مفید $\dot{W}_u$ می نامند

(۱۰۵)

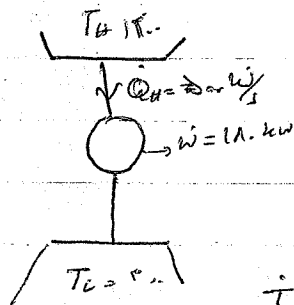
* بازگشت ناپذیری Irreversibility

$$I = W_{rev} - W_u \rightarrow i = w_{rev} - w_u$$

* مثال: یک موتور حرارتی در شکل زیر نشان داده شده است. گرما از منبع با دما 1200 K

و با قدرت 500 kW دریافت می‌کند و گرمای تلف شده را به منبع با دمای 300 K انتقال می‌دهد.

توان خروجی 180 kW توان بازگشت پذیر و قدرت بازگشت ناپذیری را تعیین کنید.



$$W_{rev} = Q_H \times \left(1 - \frac{T_L}{T_H}\right)$$

$$W_{rev} = 500 \times \left(1 - \frac{300}{1200}\right) = \frac{1500}{4} = 375\text{ kW}$$

$$I = W_{rev} - W_u = 375 - 180\text{ kW} \rightarrow 195\text{ kW} \text{ بازگشت ناپذیری}$$

$$Q_L = 500 - 375 = 125\text{ kW} \text{ بازگشت ناپذیری دارد!}$$

* برای بررسی از W مفید و W مضر:

$$\text{قانون اول: } Q - W = U_2 - U_1$$

$$\text{قانون دوم: } \Delta S_{net} = (S_2 - S_1)_{net} - \frac{Q}{T_0}$$

$$\Rightarrow (S_2 - S_1) \times T_0 - T_0 (\Delta S_{net}) = Q$$

$$W = T_0 (S_2 - S_1) - T_0 (\Delta S_{net}) - U_2 + U_1$$

(۱.۹)

$$\omega_{\text{کار دهنده}} \Rightarrow = (u_1 - u_2) - T_0 (s_1 - s_2) - T_0 (\Delta S_{\text{net}})$$

$$\Rightarrow \omega_u = (u_1 - u_2) - T_0 (s_1 - s_2) + P_0 (v_1 - v_2) - \cancel{T_0 \Delta S_{\text{net}}}$$

بزرگترین کار دهنده

Φ : قابلیت کار دهنده

$$\Phi = (u - u_0) - T_0 (s - s_0) + P_0 (v - v_0)$$

$$\rightarrow \text{مثال } \omega_{\text{rev}} = \Phi_1 - \Phi_2 \quad I = \omega_{\text{rev}} - \omega_u = T_0 (\Delta S_{\text{net}})$$

مثال ۱: یک سیلندر دایستون شامل ۰.۵ kg هوا در ۱ MPa و ۲۰۰°C می باشد بخار

منبسط شده و به حالت نهایی ۲۰۰ kPa و ۱۵۰°C رسیده و کار انجام می دهد. گرمای تلف شده از سیستم

به محیط اطراف در طی فرآیند زنا ۲۰۰ J تلف شده است. فرض کنید شرایط محیطی $T_0 = ۲۵^\circ\text{C}$ و $P_0 = ۱۰۰\text{ kPa}$

باشد تعیین کنید الف) قابلیت انجام کار در شرایط ابتدای و انتهای (ب) کار بازگشت پذیر

ج) میزان بازگشت دایستونی

$$\textcircled{1} \rightarrow \begin{cases} u_1 = 2794.2 \\ v_1 = 0.2579 \\ s_1 = 7.1228 \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \rightarrow \begin{cases} u_2 = 2574.9 \\ v_2 = 0.19594 \\ s_2 = 7.12795 \end{cases}$$

$$\textcircled{2} \rightarrow \begin{cases} u_0 = 1041.88 = u_f \\ v_0 = 0.1001 = v_f \\ s_0 = 0.14774 = s_f \end{cases}$$

درجه حرارت محیط

$$\Rightarrow \omega_{\text{rev}} = \Phi_1 - \Phi_2 = 9.59$$

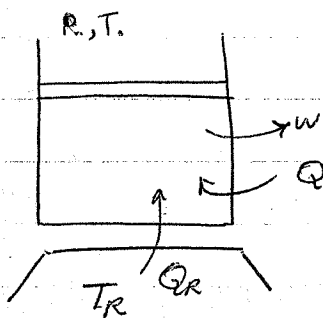
$$\Rightarrow -2 - W = 0.5 (2574.9 - 2794.2) = -118.5 \text{ kJ} \Rightarrow \omega_u = W - \omega_{\text{surv}} = 51.5 \text{ kJ}$$

$$\Rightarrow I = \omega_{\text{rev}} - \omega_u = 51.5 \text{ kJ}$$

۷* نکته: در حالت قابلیت کاردهی باید کار در درون سیستم در حالت dead state برسد

در محله:

۷* قابلیت کاردهی یک سیستم بسته:



$$W_{rev} = (P_i - P_e) + Q_R \left(1 - \frac{T_i}{T_R}\right)$$

$$\Delta S_{net} = (S_f - S_i)_{sys} - \frac{Q}{T_s} - \frac{Q_R}{T_R}$$

T_o : دما مطلق محیط

T_R : دما مطلق منبع

Q_R : انتقال حرارت بین منبع حرارتی و سیستم به علامت +، اگر سیستم از منبع گرما بگیرد

مثبت است و اگر به منبع گرما بدهد منفی است.

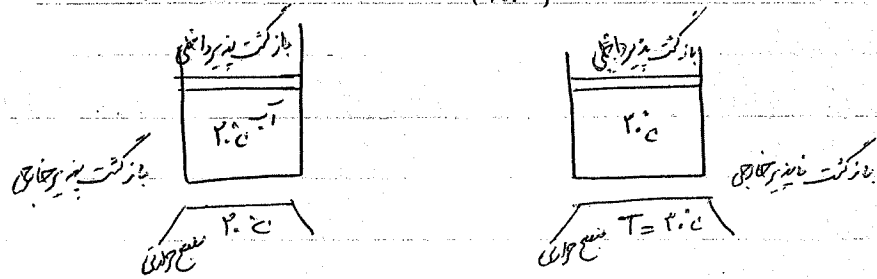
۷* بازگشت پذیر داخلی: در صورتی که هیچ گونه عامل بازگشت ناپذیری در داخل نزدیک سیستم

در ضمن تحول برزخ نماند.

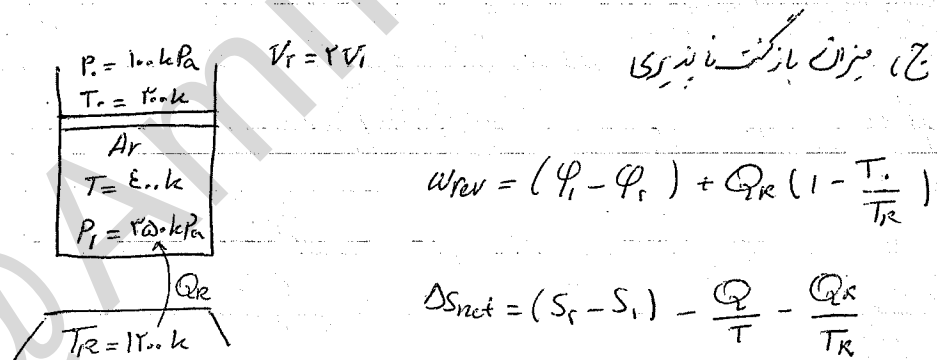
۷* بازگشت پذیر خارجی: در صورتی که هیچ گونه عامل بازگشت ناپذیری خارج از سیستم

برزخ نماند.

(۱.۸)



* مثال: یک سیلندر پستیون بدون اصطکاک داریم در شرایط ابتدای شامل گاز آرگون در 400 K و 0.01 m^3 است. اکنون گاز را از یک کوره در دمای 1200 K آرگون منتقل می‌نموده آرگون به صورت داینامیک تا دمای 1200 K رسانده و به یک کوره تبدیل می‌شود و دمای آن 400 K است. دمای ثابت را در نظر بگیرید. این پروسه را به یک چرخه تبدیل می‌کنیم و دمای آن 400 K است. $T_c = 400\text{ K}$ ، $P_c = 100\text{ kPa}$ می‌باشد. روی نمودار $P-V$ کار بازگشت پذیر



$$W_{rev} = (P_1 - P_2) + Q_R \left(1 - \frac{T_c}{T_R}\right)$$

$$\Delta S_{net} = (S_2 - S_1) - \frac{Q_c}{T_c} - \frac{Q_R}{T_R}$$

$$\Rightarrow W = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = 100 \times 0.01 \ln 2 = 0.693\text{ kJ}$$

$$W_{surv} = P_1 (V_2 - V_1) = 1\text{ kJ}$$

$$\Rightarrow W_{net} = W - W_{surv} = 0.693 - 1 = -0.307\text{ kJ}$$

$$w_{rev} = (p_i - p_f) + Q_R \left(1 - \frac{T_o}{T_R}\right) \quad (1.9)$$

$$= (u_i - u_f) - T_o (s_i - s_f) + p_o (v_i - v_f) + Q_R \left(1 - \frac{T_o}{T_R}\right)$$

قانون اول: $Q_R - W = \Delta U = 0 \Rightarrow Q_R = W = 2,142 \text{ kJ}$

$$\Rightarrow s_f - s_i = \frac{Q}{T} = \frac{2,142}{2000} = 0,001071 \text{ kJ/K}$$

$$w_{rev} = 2000(0,001071) - 1 + 2,142 \left(1 - \frac{2000}{1200}\right) = 2,44 \text{ kJ}$$

ج. مقدار بازگشت پذیر $I = w_{rev} - w_u = 2,44 - 1,142 = 1,22 \text{ kJ}$

روش دوم: $I = T_o (\Delta S_{net}) = T_o \left[(s_f - s_i)_{sys} - \frac{Q}{T} - \frac{Q_R}{T_R} \right] = 2000 \left(0,001071 - 0 - \frac{2,142}{1200} \right)$
 $= 1,22 \text{ kJ}$

۸. حجم کنترلی را در نظر بگیرید که در حالت پایدار SSS کار می کند.

قانون اول: $\dot{Q}_{c.v} + \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i \right) = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e \right) + \dot{W}_{c.v}$

قانون دوم: $\sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i = \frac{\dot{Q}_{c.v}}{T} + \dot{S}_{gen}$

با حذف گنجای متصل شده از قانون دوم و با استفاده از قانون اول حاصل می شود:

حاصل می شود: $\dot{W} = \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + g z_i - T_o s_i \right) - \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + g z_e - T_o s_e \right) - T_o \dot{S}_{gen}$
 $\dot{W}_u = \dot{W} - \dot{W}_{rev}$

(۱۱)

کار بازگشت پذیر
 $T \cdot \dot{S}_{gen} = 0$

$$\dot{w}_{rev} = \sum \dot{m}_i (h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_i - T \cdot s_i) - \sum \dot{m}_e (h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e - T \cdot s_e)$$

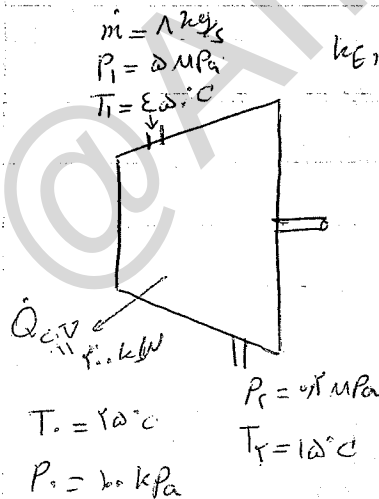
✓ نکته: برای یک دستگاه SSST در دما یکنواخت داشته باشد.

$$\dot{w}_{rev} = \dot{m} \left[(h_i - h_e) - T_0 (s_i - s_e) + \frac{v_i^2 - v_e^2}{2} + g(z_i - z_e) \right]$$

نشان دهند که اگر پتانسیل $\psi = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + \frac{v^2}{2} + gz$ قابلیت انجام کار را دارد
 کار سیال در حال جریان می باشد

$$\dot{w}_{rev} = \sum \dot{m}_i \psi_i - \sum \dot{m}_e \psi_e$$

$$I = \dot{w}_{rev} - \dot{w}_u = T \cdot \dot{S}_{gen}$$



$k_E, P_E = 0$

✓ نکته: مثال:

الف) توان خروجی و اهنی و هم کار توان خروجی
 ب) بازگشت پذیر و قابلیت کار دبی

$$\begin{cases} P_1 = 2 \text{ MPa} \\ T_1 = 25^\circ\text{C} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_1 = 224.4 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 1.0182 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_2 = 0.12 \text{ MPa} \\ T_2 = 150^\circ\text{C} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_2 = 274.11 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = 1.2795 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{cases}$$

$$\begin{cases} P_0 = 100 \text{ kPa} \\ T_0 = 25^\circ\text{C} \end{cases} \rightarrow \begin{cases} h_0 = h_{f@T_0} = 104.89 \text{ kJ/kg} \\ s_0 = s_{f@T_0} = 0.3474 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K} \end{cases}$$

نشان دادن قانون اول $\rightarrow Q - m h_1 = m h_2 + \dot{W}$

$$\Rightarrow -200 - 1 \times 224.4 = 1 \times 274.11 + \dot{W} \rightarrow \dot{W} = -498.5 \text{ kW}$$

ب. محاسبه توان از بازگشت چرخه

$$\dot{W}_{rev} = \dot{m} [(h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2)]$$

$$= 5.49$$

ج. بازگشت چرخه

$$\Rightarrow \dot{I} = \dot{W}_{rev} - \dot{W}_u = 5.49 - 498.5 = 493.01 \text{ kW}$$

یعنی کار مفید شما با تلفات 493.01 kW در طول چرخه تلف می شود

د. قابلیت کار در حالت برگشتی

$$\psi = (h_1 - h_2) - T_0 (s_1 - s_2) + \frac{V_1^2}{2} + g z = 12.28$$

E-mail : fajalli @ aut.ac.ir

فاجالی
1397/10/14

@AmirkabirJ