

جزوه ترمودینامیک

کنکور کارشناسی ارشد

استاد : دکتر طاهری

(قسمت اول)

درس اول: ترمودینامیک

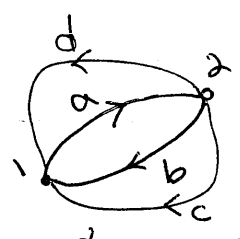
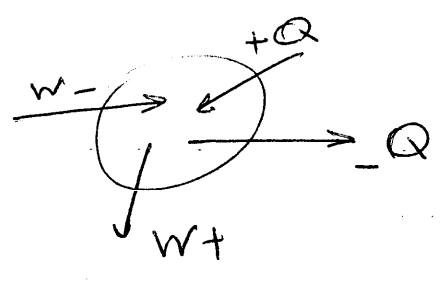
قانون صفرم ترمودینامیک:
در دو دانه‌ای که در تماس هستند و در حالت تعادل قرار دارند، دمای آنها برابر خواهد بود.

$$\begin{aligned} \text{اگر } T_A &= T_B \\ \text{و } T_A &= T_C \Rightarrow T_B = T_C \end{aligned}$$

قانون اول ترمودینامیک:
تغییر انرژی در یک سیستم و محیط صفت می‌کنند و همواره انرژی در تمام فرایندهای بسته و باز
برای کار و گرما با هم برابرند.

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

در این معادله
در جهت عقربه‌های ساعت



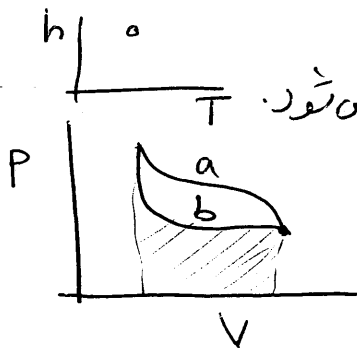
$$\int_a^b \delta Q_a + \int_b^c \delta Q_b = \int_a^b \delta W_a + \int_b^c \delta W_b$$

$$\rightarrow \int_a^b (\delta Q - \delta W)_a = - \int_b^c (\delta Q - \delta W)_b$$

$$\int_a^b (\delta Q - \delta W)_a = - \int_c^d (\delta Q - \delta W)_c$$

$$\int_b^c (\delta Q - \delta W)_b = \int_c^d (\delta Q - \delta W)_c = \int_d^a (\delta Q - \delta W)_d$$

توان تابع مسیر (Path Function): توان می‌تواند به مقدار آن تابع می‌رسد و نه به مسیر.
در فرایندهای Q و W.
توان نقطه‌ای (Point Function): توان نقطه‌ای تابع می‌رسد و نه به مسیر.
در حالت‌های u, h, v, ...



توابع حالت بصورت یک نقطه روی نمودارهای P و V قرار می‌گیرند.
ولی توابع مسیر را نمی‌توان روی نمودار نشان داد.
کار می‌ا: $a \rightarrow b$ متفاوت است.

یعنی اگر در نقطه یک هیچ صیغه‌ای نداریم و باید به رابطه نگاه کنیم

$$\int \delta W$$

$$\int \delta Q = Q_2 - Q_1 \rightarrow$$

این توابع می‌توانند کامل دارند

$$\int_1^2 dh = h_2 - h_1 \rightarrow$$

کاملاً درست

باید بنویسیم:

$$\int_1^2 \delta Q = Q_2$$

توابع می‌توانند کامل ندارند و منظور از δQ اگرهای تبادله شده یا کار تبادل شده در میانه است.

گرمای و کار قابل ذخیره شدن در صدم نیستند.
توابع می‌توانند خواص سیستم محسوب نمی‌شوند اما توابع نقطه‌ای
خواص سیستم هستند.

$$\Delta E = \delta Q - \delta W$$

این ۲
از قانون اول

قابل می‌نویسند

تحت عنوان U

نمایش می‌دهیم

E انرژی یک صدم

① ارتفاع

② کم‌ترین بین دو مولکول

③ " " " "

④ انرژی جنبشی $\frac{1}{2}mv^2$

⑤ " پتانسیل mgh

$$\Delta(U + E_p + E_k) = \delta Q - \delta W$$

اما معمولاً E_k و E_p و $u \gg$ ←

بیان ۳ از قانون اول

$$\Delta u = \delta Q - \delta W$$

* انرژی دلف همواره بیشتر از انرژی پتانسیل و جنبشی است.

$$\frac{1}{2} m v^2 \rightarrow \frac{1}{2} \times (100) m^2/s$$

سرعت ۱۰۰ م/ث

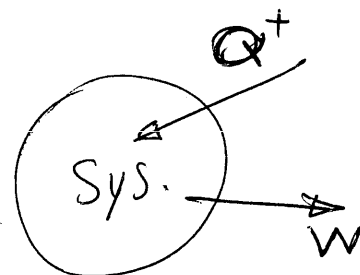
$$5000 \text{ J/kg} = 5 \text{ کال/گ}$$

مثلاً انرژی دلف: $2 \text{ --- } \frac{\text{J}}{\text{kg}}$

تغییرات در کدام مورد بیشتر است؟
تکلیف

- ۱۱ جسم را از ارتفاع ۱۰۰ ...
- ۱۲ ... با سرعت ...

تغییر در انرژی پتانسیل: پاسخ → ۱۳



$$\Delta E_{\text{Sys}} = (+Q) - (+W)$$

$$\Delta E_{\text{Surr}} = (-Q) - (-W)$$

قانون بقا از انرژی

$$\Delta E_{\text{Sys}} + \Delta E_{\text{Surr}} = 0.0$$

بیان ۵ از قانون اول

$$\Delta u_{\text{Sys}} + \Delta u_{\text{Surr}} = 0$$

اگر در کشور بپزد بیان قانون ترمودینامیک بیان اول را با انتخاب می کنیم

کار و گرما تا زمانی که به از دست می برد کار و گرما هستند در صورت رسیدن به فرستادم کار و گرما نیستند و به در صورت رسیدن به فرستادم انرژی دلف تبدیل می شود.
مقایسه کار و گرما:

۱) هر دو تابع میرند و هر دو جنبش انرژی

۲) هیچ سیستم دلف را کار و گرما را نگه می داند انرژی فقط به شکل انرژی پتانسیل، انرژی دلف و جنبشی قابل ذخیره شدن در سیستم است. به شکل E_k ، E_p و تلفات می شود.

۳) کار و گرما باید به وسیله های فیزیکی هستند یعنی در فرم های سیستم تبادل می شوند گاهی کار و گرما را پدیده های انتقالی می نامیم.

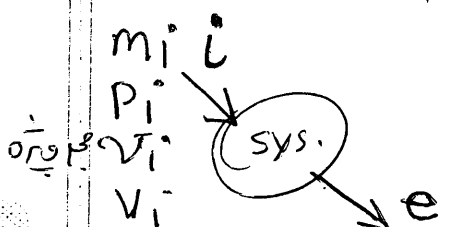
۴) هر دو صورت انرژی اما کار را به ۱۰۰٪ می توان تبدیل کرد اما گرما را نمی توان ۱۰۰٪ به کار تبدیل کرد به این دلیل کار شکل بالادش تر انرژی است.

سیستم بسته: سیستمی که ورود و خروج جرم ندارد. روابط نوشته شده برای سیستم‌های بسته است.

سیستم انزوله: منظور این است که نه ورود و خروج جرم و نه ورود و خروج انرژی دارد.

$\Delta E = Q - W$ در سیستم انزولی به شکل دیگری می‌توان نوشت: $\Delta E = Q - W + \dot{E}_{in} - \dot{E}_{out}$

$Q = W + m_2(u_2 + E_{p2} + E_{k2}) - m_1(u_1 + E_{p1} + E_{k1})$
این آرم‌های سیستم‌های باز هستند + آرم‌های جرم



انرژی بازای و خروجی

① $m_i e_i = m_i (u_i + E_{p_i} + E_{k_i})$
مقدار انرژی ورودی

② $p_i V_i = m_i p_i v_i$ کار روی سیستم
بازای و خروجی سیستم در ورود و خروج این‌ها شده

③ $m_e e_e = m_e (u_e + E_{p_e} + E_{k_e})$
مقدار انرژی خروجی

④ $m_e p_e v_e$

جرم برای خارج شدن باید روی محیط کار انجام دهد.

① + ② $\rightarrow m_i (h_i + E_{p_i} + E_{k_i})$

③ + ④ $\rightarrow m_e (h_e + E_{p_e} + E_{k_e})$

$Q + m_i (h_i + E_{p_i} + E_{k_i}) = W + m_e (h_e + E_{p_e} + E_{k_e}) + m_2 (u_2 + E_{p_2} + E_{k_2}) - m_1 (u_1 + E_{p_1} + E_{k_1})$

$Q + m_i (h_i + u) = W + m_e (u) + m_2 (u) + m_1 (u)$

اگر m_i و m_e صفر باشند همان حالت قبلی را داریم.

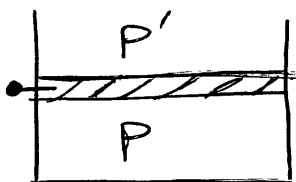
آر: سیستم‌های بسته، کمپرسور، شل‌های تقطیر، لوله‌های سرد.

نازل چون حالت پایدار دارند $\frac{d}{dt}$ تمام کمیت‌ها صفر است.

$Q + m_i (h_i + E_{p_i} + E_{k_i}) = W + m_e (h_e + E_{p_e} + E_{k_e})$
در حالت پایدار $\frac{dE}{dt} = 0$
 $E_2 - E_1 = 0$

بازگشت پذیری سیستم :

یک سیستم زمان برگشت پذیر است که با صرف همان مقدار کار تولید شده در مسیر رفت بتوانیم سیستم را به حالت اول برگردانیم بطوریکه شرایط محیط تغییر چندانی نکند (مهاوشت محیط نباید تغییر کند).



$$P \gg P'$$

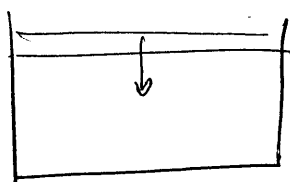
* کار زمان صورت می گیرد که فزاینده
باشد

در یک نظام رخ زده کنیم در این زمان چه مقدار کار صورت می گیرد

مفید کار صورت می گیرد

- (۱) کار یک صرف بالا بردن استون نشود.
 - (۲) ... غلبه بر اصطکاک می گردد.
 - (۳) کار یک صرف غلبه بر فشار P' می شود.
- اما هزینه تا کار غیر مفید است.

$$W_{\text{رفت}} = 0 \quad \text{یعنی کار مفید نداریم}$$



حال اگر خواهیم سیستم را به حالت اول برگردانیم

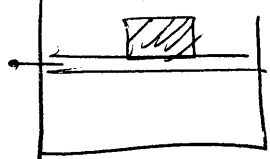
$$W_{\text{بازگشت}} \neq 0$$

پس سیستم برگشت پذیر نیست

$$W_{\text{رفت}} \neq W_{\text{بازگشت}}$$

دلیل (۲) اگر تراکم سیستم، (مهاوشت) پذیرا می کند و شرایط محیط تغییر نکند

* در رفت در افزایش حجم نگاهش می باید بنابراین از محیط کفایت نمی رود شرایط محیط
حالت دوم : تا تحت تأثیر قرار دهیم برگشت کم شده و کار را به محیط می دهد و محیط را تحت تأثیر قرار
دهد.



در این حالت
لام کار غیر مفید حالت قبل + یک کار مفید بالا رفتن
وزنه.

در این حالت کار رفت $\neq$ مفید است.

کار برگشت $\neq$ مفید است و در کار رفت بیشتر است.

همانند برگشت تراکم صورت گرفته ، (مهاوشت) پذیرا می شود و بر شرایط محیط تأثیر می گذارد.

و رفت $\hookrightarrow$ $\hookrightarrow$ برگشت $\hookrightarrow$

درخواست رفت اصطکاک بالاست و قیمت اعظم

اگر بخواهیم انبساط سریع صورت گیرد قیمت اعظم انترشی صرف
خلافه بر اصطکاک می گردد بنابراین در مسیر رفت کار کمتری تولید می شود
اگر بخواهیم به ران حالت اولیه برگردانیم در مسیر برگشت بار هم اصطکاک
بیشتر بوده و کار مصرفی برای تراکم زیاد خواهد بود بنابراین

ارفت $\hookrightarrow$ برگشت $\hookrightarrow$

لذا سیستم بازگشت ناپذیر است . در نسبت به حالت قبیل برگشت پذیر نزدیکتر
است چون $\hookrightarrow$ وسیع رفت خلاف صورت است .

اصطکاک + کار تولیدی را کم
و مصرفی را زیاد می کند .

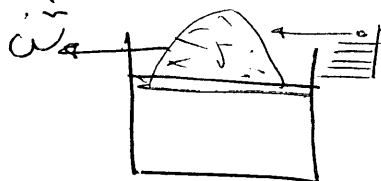
اگر بخواهیم بخواهیم انبساط را به حالت برگشت پذیر نزدیک کنیم :

و آنرا را کذا می دهیم . اصطکاک کم می شود . انبساط کم انجام شده
AT های ما به سمت مفصل کرده محیط را تحت تأثیر $\hookrightarrow$ قرار می دهد .
این از انبساط خواص می دهیم به حالت تعادل برسد به از انبساط .

از آنجا که انبساط به شکل تغییرانی صورت می گیرد تغییر دما در

اثر انبساط نیز در توانایی خواهد بود و به همین خاطر دمای

محیط و شرایط محیط تحت تأثیر قرار خواهد داد . و سیستم به حالت
برگشت پذیر نزدیک می شود .



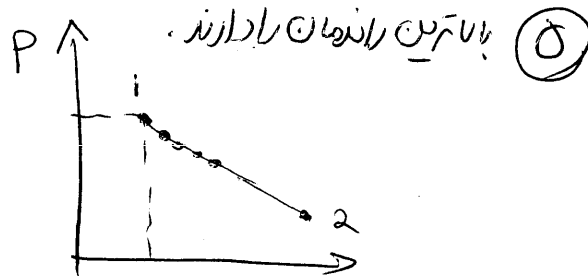
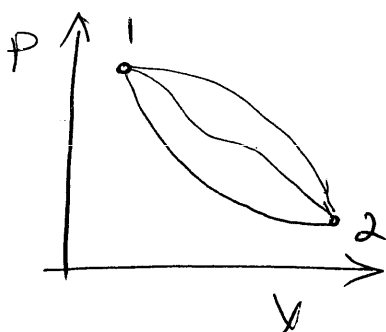
با انجام ترم اصطکاک به حداقل رسیده و کار
کمتر صرف علیه اصطکاک می گردد .

در حالتی که برای رانیم زمان می دهیم تا سیستم به
حالت تعادل برسد .

در همین برگرداندن سیستم به حالت اول می توانیم بخواهیم انبساط را به حالت اول برگردانیم
کار مصرفی برای برگرداندن سیستم به حالت اول می دهیم و لذا کار برگشت تولیدی برابر با کار رفت می باشد .

خواص سیم‌های برگشت پذیر :

- ① سیم‌های هستند که کار رفت و کار برگشت برابرند.
 - ② " " " " که در طی انجام فرایند محفظه تحت تأثیر ولرمی می‌روند.
 - ③ سیم‌های برگشت پذیر سیم‌هایی هستند که در تعادل خارج نمی‌گردند بنابراین سیم‌های برگشت پذیر را گاهی سیم‌های شبه تعادلی می‌نامند.
 - ④ سیم‌های برگشت پذیر حداکثر کار را تولید می‌کنند.
 - ⑤ سیم‌های برگشت پذیر در تراکم حداکثر کار را مصرف می‌کنند.
- یعنی بالاترین راندمان را دارند.



- ④ در فرایندهای برگشت پذیر کار برابر $W = \int P dV$ فقط در سیم برگشت پذیر می‌توان این رابطه را نوشت.
- " " " " غیر " " " " یعنی در سیم می‌کند کم است.

*** مشکل اصل فرایندهای برگشت پذیر :**

بسیار کند هستند. از فرایندهای برگشت پذیر به این دلیل استفاده نمی‌شود.

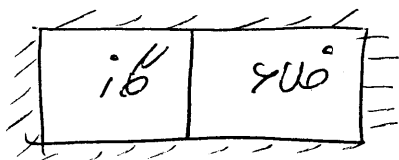
عباده هوله خواص وجود دارد که قادرند برگشت پذیری خود را بدادند.

نوع : فرایندهای برگشت ناپذیر را نمی‌توان روی نمودارهای P-V

عوامل بازگشت ناپذیری دیکه سیم :

① اصطکاک

② فآیند انبساط آزاد : همداره بازگشت ناپذیر



$$W = 0$$

چون نیروی مقاوم نداریم

اگر $W \neq 0$ بازگشت ناپذیر است → اگر نخواهیم سیم را به حالت اول بازگردانیم

در این موارد

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = 0 \rightarrow \Delta U = 0$$

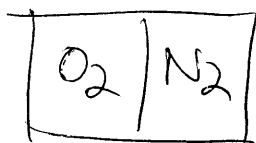
در این انبساط آزاد یک گاز رنثری داخل تغییر نمی‌کند.
در انبساط آزاد همداره انرژی داخل ثابت می‌ماند.

$$\Delta U = C_V \Delta T = 0 \quad \text{اگر گاز ایده آل باشد} \Rightarrow \Delta T = 0$$

فقط در انبساط آزاد گاز ایده آل دما ثابت می‌ماند.

اگر تلفات عایق بازم همین‌طور به چرخه برگردیم.

③ فآیند انبساط :



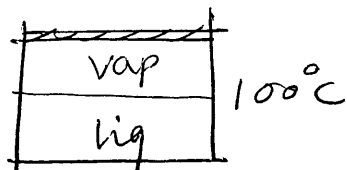
دیکه نقطه است پاره شده و گاز مخلوط شود

کاری توسط سیستم کرد و برای فآیند برگشت باید کار انجام دهیم.
بنابراین فآیند انبساط نیز برگشت ناپذیر است.

۵

✓ ۱۴) انتقال حرارت: بازگشت ناپذیر است چون هملوله لزج در حال دما بالاتر جای دمای پایین انتقال می یابد. و برگشت ممکن نیست.

اما ^{مثال} تفاوت دمای دو منبع تبادل کننده حرارت دینورانیلی باشد (علا "امکان پذیر نیست" مثال: سیلندر کربن).



اگر دما را کم کنیم تمام مایع گذران

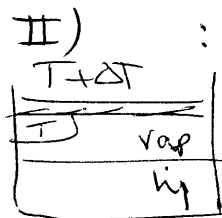
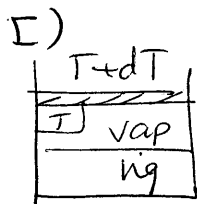
در ... زیاد کنیم بخار را به مایع

مایع به بخار تبدیل می گردد.

این تمام فرآیندهای تغییر فاز به ~~بخار~~ تقریباً برگشت پذیرند چون با تغییر جزئی دما مثلاً در آن بخار را به مایع یا بالعکس تبدیل نمود.

یا صدمه مایع و ...

سیستم با محیط اختلاف دما:



تفاوت دمای دینورانیلی:

* در هر دو سیستم با تغییر دما در داخل سیستم برگشت پذیر دافل هستند.

اما در سیستم $T+dT$ اختلاف دمای منبع و محیط دینورانیلی انتقال حرارت از دو سیستم برگشت پذیر است. بنابراین سیستم I برگشت پذیر ظاهر هم

است. اما در سیستم II اختلاف دمای دینورانیلی نبوده و انتقال حرارت برگشت ناپذیر است بنابراین سیستم II ازلی ظاهر برگشت ناپذیر است.

4

جلسه دوم

موضوع

فناشدهای اینترتال، ایزو ترمپ و ایزو پست:

$$W = \int P dv = \int \frac{RT}{V} dv \quad (1)$$

$$W = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = 8.314 \frac{J}{mol \cdot K} \times K \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W = \left(\frac{J}{mol} \right) \times \frac{kJ}{kmol}$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

↓
mol و kmol (بیم R)

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$W: kJ \text{ و } J$$

$$W = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

↓
8.314 $\frac{kJ}{mol \cdot K} \times K$
کار برای مول از گاز را می‌خواهند

نکته * در استاتیک: به هیچ وجه ن‌توانست بکنند. بجای $nRT = P_1 V_1$

$$W = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = P_2 V_2 \ln \frac{V_2}{V_1} = P_2 V_2 \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$= P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2}$

مشک: کاری از مقدار $P(V-b) = RT$ پیروی می‌کند که فناشده اینترتال، ایزو ترمپ و ایزو پست است.

① $RT \ln \frac{V_2}{V_1}$ ② $RT \ln \frac{P_2}{P_1}$

③ $RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$ ④ $RT \ln \frac{V_1}{V_2}$

$$W = \int P dv = \int \frac{RT}{V-b} dv = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} = RT \ln \frac{RT/P_2}{RT/P_1}$$

ایزوترمپ

$$W = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$W = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{RT_2/P_2}{RT_1/P_1}$$

(در حالت ایزو ترمپ، رابطة گاز و دما)
ایزوترمپ، رابطة دما و دما

$$W = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

مثال: گاز ایزوترمپ $Z = 1 + B'P$ پیروی می کند که ضریب تراکم پذیری می باشد.
کاروانی ایزوترمپ پیروی کننده ضریب تراکم پذیری است.

$$① RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$② RT(1 + B'P) \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$③ RT \ln \frac{V_2 - B'P_2}{V_1 - B'P_1}$$

$$④ RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$Z = 1 + B'P \rightarrow \frac{PV}{RT} = 1 + B'P$$

$$V = \frac{RT}{P} + RTB'P$$

در حالت ایزوترمپ

B' : ضریب تراکم پذیری و فقط تابع دما است.
دما ثابت $\leftarrow B'$ ثابت

$$dV = RT \left(-\frac{1}{P^2} \right) dP + 0$$

$$dV = -\frac{RT}{P^2} dP$$

$$W = \int P dV = - \int \frac{RT}{P^2} dP = -RT \int \frac{dP}{P}$$

$$= -RT \int \frac{dP}{P} = -RT \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$W = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

V

اگر، فرآیند آدیباتیک و برگشت پذیر:

کار از دهنده آید:

$$\Delta u = Q - W$$

$$W = -\Delta u$$

$$W = -C_v \Delta T$$

$$\left\{ \begin{array}{l} C_p = C_v = R \\ \frac{C_p}{C_v} = \gamma \end{array} \right\}$$

نوعان معمول:

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

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

توالی کند:

$$W = -\frac{R}{\gamma-1} (T_2 - T_1)$$

$$W = \frac{RT_1 - RT_2}{\gamma-1}$$

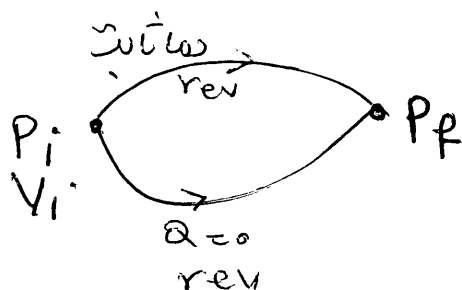
$$W = \frac{R(T_1 - T_2)}{\gamma-1} = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{\gamma-1}$$

در این فرآیند: $PV^\gamma = \text{cte}$ $P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^\gamma$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}$$



وقتی ارتباط:

کار تولید شده در کدام می باشد؟

بیشتر است؟

دشانت:

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad | \quad \gamma = \text{cte}$$

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad | \quad Q=0$$

آدیباتیک:

توجه: فشارهای دو فرآیند یکسان است و حجم مشخصه.

$$v_F|_{T=cte} = \left(\frac{P_i}{P_F}\right) v_i$$

$$v_F|_{Q=0} = \left(\frac{P_i}{P_F}\right)^{1/\gamma} v_i$$

$$\frac{v_F|_{T=cte}}{v_F|_{Q=0}} = \left(\frac{P_i}{P_F}\right)^{1-\frac{1}{\gamma}} > 1$$

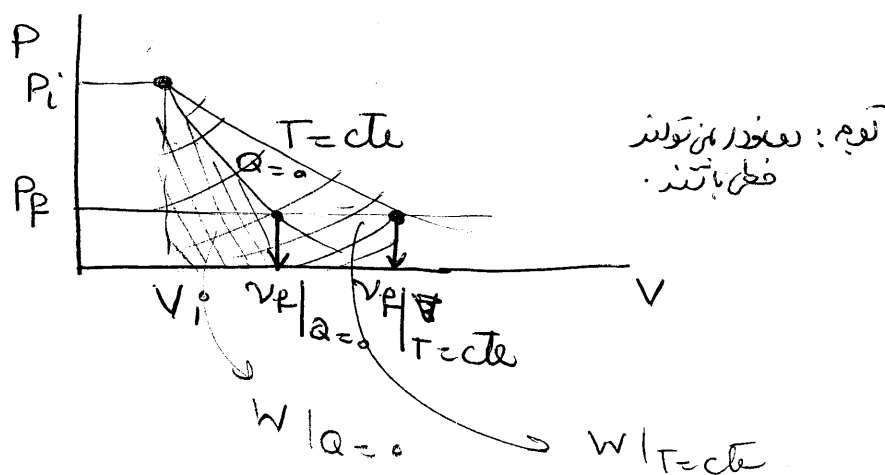
$$\frac{P_i}{P_F} > 1 \quad \text{انطباق}$$

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} > 1$$

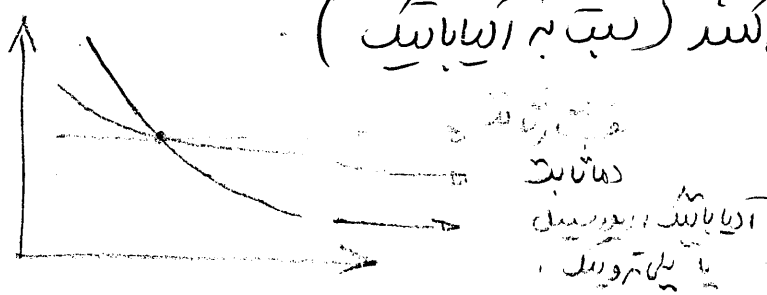
$$\frac{1}{\gamma} < 1$$

$$1 - \frac{1}{\gamma} > 0$$

$$v_F|_{T=cte} > v_F|_{Q=0}$$



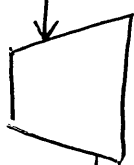
همه: فرآیندهای انزوترم در انطباق نسبت به آنتالپیک کار بیشتری تولید میکنند
 به طریق مشابه میتوان نتیجه گرفت فرآیندهای انزوترم در تراکم
 کار کمتری مصرف میکنند (نسبت به آنتالپیک)



Δ

$$T_i = 300 \text{ K}$$

$$P_i = 1 \text{ atm}$$



$$T_e = ?$$

$$P_e = 20 \text{ atm}$$

$$\frac{T_e}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

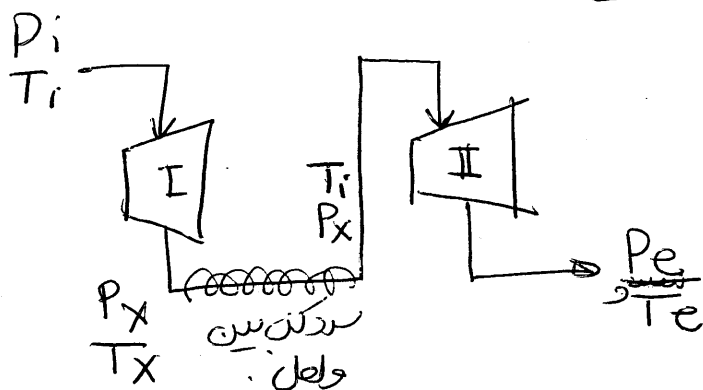
$$\gamma_{\text{air}} = 1.4$$

$$T_e = 300 (20)^{0.286}$$

$$T_e \checkmark \text{ } ^\circ\text{K} > 250^\circ\text{C}$$

در مایه‌های بالا، فشار خروجی بالا می‌آید و دما بالا می‌رود.

اگر دمای بالاتر از 250 درجه سانتیگراد باشد، کمپرسور را چند مرحله می‌سازیم تا دمای خروجی با آن نرسد.



$$\frac{T_x}{T_i} = \left(\frac{P_x}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$P_x \text{ مجهول}$$

چون با سرعت و دما

به P_e برسیم T_x کاهش یافته.

تعداد و دما را آنقدر زیاد می‌کنیم که دمای خروجی تمام واصل آید به 250.

$$W = W_I + W_{II}$$

زمان اقامت کم می‌شود.

فشار برای پمپ

دما کمتر

معمولاً سرعت زیاد می‌آید

خودت تبدیل می‌شود

پس خوانید برای توان

آنها با یکدیگر در تعارض است.

$$h_i = h_x + W_I$$

$$W_I = h_i - h_x$$

$$W_{II} = h_i - h_e$$

با دمای آن: آن‌ها فقط با هم

چون دمای ورودی

و دمای خروجی

دما و دمای ورودی

اول را می‌بینیم.

$$W_{II} = h - h_e$$

$$W = W_I + W_{II}$$

$$\rightarrow W_T = C_p (T_i - T_x) + C_p (T_i - T_e)$$

$$W = C_p T_i \left[2 - \frac{T_x}{T_i} - \frac{T_e}{T_i} \right]$$

$$W = C_p T_i \left[2 - \left(\frac{P_x}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - \left(\frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]$$

ما یک معادله مصرف می‌کنند و خواهیم صد اقل کار را مصرف کنند P_x را باید طوری انتخاب کرد که کار کل مصرفی به صد اقل برسد.
 برای پیدا کردن P_x داریم: $\frac{\partial W}{\partial P_x} = 0$

$$\boxed{P_x = \sqrt{P_i P_e}} \quad \text{مهم}$$

فکت رسانان متوسط هندسی فاکتور جمع و موردی که مصرف به صد اقل می‌رسد.

$$P_x^2 = P_i P_e$$

$$\boxed{\frac{P_x}{P_i} = \frac{P_e}{P_x}}$$

یعنی نسبت تراکم در تمام
 حلقه.

کار مصرفی یک سوپر زمان صد اقل است که نسبت تراکم در تمام
 حلقه برابر باشد.

ساختن یک سوپر زمان ساده است:

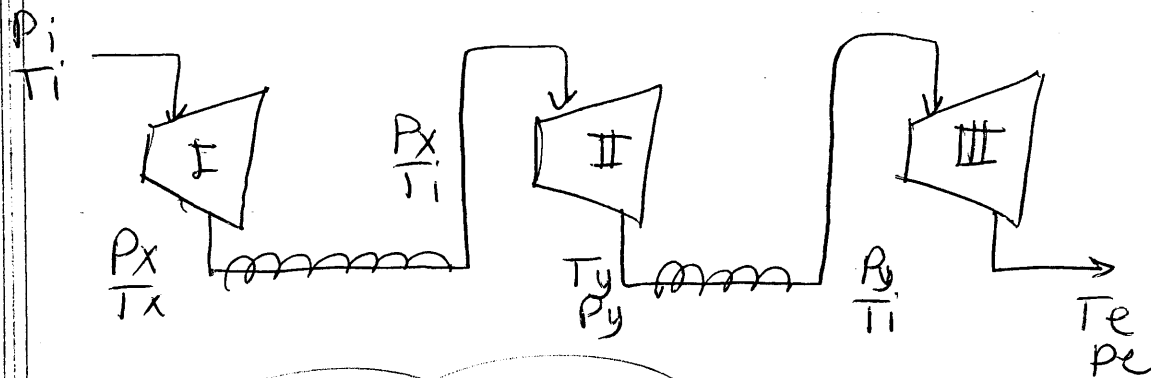
راند زمان $\uparrow$ ، کار مصرفی کمتر، کاهش دما، پائین شدن سرد کن بین ولله
 فوآئید را به این و کام نزدیک می‌کنیم.

با صد و صد ان ساختن کار مصرفی را صد اقل، چرخه نگاه رکاهش، با توجه کل را افزایش و
 قیمت دستگاه رکاهش می‌دهیم.

9

هدف از ساختن کپریور چند صدای :

فرآیند تراکم را به فرآیند انبساط نزدیک کنیم چون فرآیندهای این دو برهم تراکم کار الکتریکی مصرف می کنند.



$$\frac{P_e}{P_y} = \frac{P_y}{P_x} = \frac{P_x}{P_i}$$

$$P_y = \sqrt{P_x P_e}$$

$$P_x = \sqrt{P_y P_i}$$

P_x را در $P_y = \sqrt{P_x P_e}$ قرار دهیم و ببلعکس :

$$P_x = \sqrt[3]{P_i^2 P_e}$$

$$P_y = \sqrt[3]{P_i P_e^2}$$

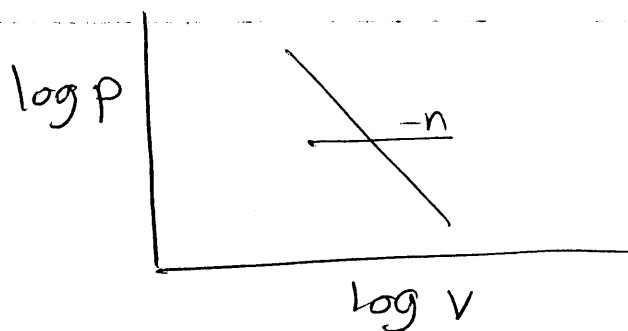
چون P_x نزدیک P_i است

و P_e نزدیک P_y است

اصولاً
درمانده می شود

فرآیندهای پله تراکم :

فرآیندهای برگشت پذیری که تقام با انتقال حرارت بوده و در آنها مقدار $\log P$ بر حسب $\log V$ خطی با شیب $n-1$ است.



$$\log p = -n \log v + \log c$$

$$\log p v^n = \log c$$

$$p v^n = cte$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

* هر ابطه و ایند برکت زیر اینها هم صدق آید

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{n-1}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^n$$

$$W = \frac{RT_1 - RT_2}{n-1}$$

.....

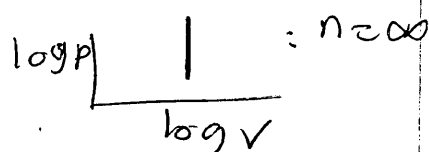
$$p v^n = cte$$

$$p = cte \quad \text{و ایند فشار ثابت} \quad \leftarrow n = 0 \quad \text{ایزوترم}$$

$$T = cte \quad \text{و ایند دما ثابت} \quad \leftarrow n = 1$$

$$S = cte \quad \text{rev. و Adiab.} \quad \leftarrow n = \gamma$$

$$V = cte \quad \leftarrow n = \infty$$



۱۰

کارواند غارت ثابت و یورسید:

$$W = \int P dv = P (V_2 - V_1)$$

$$W = 0$$

حجم ثابت:

جمله:

خواص سیالات:

$$V = P(T, P) \quad \text{و} \quad P(T, P, V) = 0 \quad \text{معادله حالت}$$

$$dv = \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial v}{\partial P} \right)_T dP$$

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

ضریب
انبساط
عجمی سیالات
دشت ثابت

β : نسبت د تغییر حجم از برای افزایش دمای آک مقدار
تغییر حجم در واحد حجم مقدار است.
(بازاه دلمع)

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\beta} \quad \text{عکس دما}$$

$$k = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

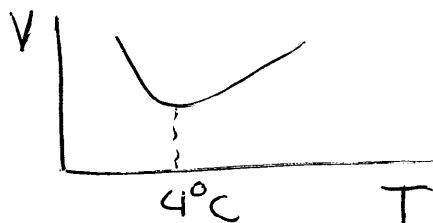
ضریب تراکم پذیری هم دما
تغییرات حجم سیال را به ازای تغییرات
و دلمع به ازای تغییرات فشار است

$$k = \frac{1}{\text{فشار}}$$

$$\beta \gg k$$

بالاتر سیالات

B: برای تمام سیالات β مثبت است
 بجز برای آب بزرگتر از 4°C .



$$T < 4^\circ\text{C} \rightarrow \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P < 0 \rightarrow \beta < 0$$

یعنی اگر در دماهای کمتر از 4°C آب را سرد کرد (جمع بجا می‌رود)
 کاهش حجم داریم اما اگر دما بزرگتر از 4°C باشد $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P > 0$ و $\beta > 0$.

$$T < 4^\circ\text{C} \rightarrow \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P < 0 \rightarrow \beta < 0$$

$$T > 4^\circ\text{C} \rightarrow \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P > 0 \rightarrow \beta > 0$$

k: کوهاره مثبت است.

یعنی جمع تمام سیالات با افزایش دما، کاهش نمیدهند.

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T dP$$

$$dV = \beta V dT - k V dP$$

$$\int dV = \int \beta V dT - \int k V dP$$

اگر در سیالی $\beta = 0$ و $k = 0$ باشد $dV = 0$

این گونه سیالات را تراکم ناپذیر گویند.

سیالات تراکم ناپذیر $\beta = 0$ و $k = 0$

۱۰

مثال: برای یک سیلندر آلمینیومی، ضریب انبساط برای آب در $6 \times 10^{-6} \text{ atm}^{-1}$ و ضریب انبساط حجمی آن $1.5 \times 10^{-3} \text{ atm}^{-1}$ باشد. این سیلندر را در حجم ثابت از 20°C و 1 atm تا 30°C گرم می‌کنیم. فشار در دیواره سیلندر را برابر است با:

1.04 atm (4) 2501 atm (3) 25 atm (2) 250 atm (1)

$$\beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\rightarrow \frac{\beta}{\kappa} = - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T$$

$$\kappa = - \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T$$

قانون زنجیره‌ای:

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \left(\frac{\partial P}{\partial V} \right)_T \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V = -1$$

$$\rightarrow \frac{\beta}{\kappa} = \frac{+1}{\left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_V}$$

$$\boxed{\frac{\beta}{\kappa} = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V}$$

یا به سادگی:

$$dV = \beta V dT - \kappa V dP$$

$$\frac{\beta}{\kappa} = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

$$\frac{\beta}{\kappa} = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} = \frac{P_2 - 1}{30 - 20} = \frac{1.5 \times 10^{-3}}{6 \times 10^{-5}}$$

$$P_2 = 2501 \text{ atm}$$

برای گاز ایده‌آل:

$$V = \frac{RT}{P} \rightarrow \beta = \frac{1}{V} \left(\frac{R}{P} \right) \quad \left. \begin{array}{l} \text{پس} \\ \text{است} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \beta = \frac{1}{T} \\ \kappa = \frac{1}{P} \end{array}$$

11

: β و α تعریف

$$\beta: V = \frac{RT}{P} \quad \beta = \frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$$

$$\beta = \frac{1}{V} \left[\frac{R}{P} \right] = \frac{1}{T}$$

$$\Rightarrow \beta_{\text{تعریف}} = \frac{1}{T}$$

k:

$$K_{\text{تعریف}} = \frac{1}{P}$$

$$K = -\frac{1}{V} \left(-\frac{RT}{P^2} \right)$$

$$K = \frac{RT}{PV \cdot P}$$

$$K = \frac{1}{P}$$

مطابق تعریف آنتالپی مواد:

$$h = h(T, P)$$

$$dh = \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_P dT + \left(\frac{\partial h}{\partial P} \right)_T dP$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_P = C_p \quad , \quad \begin{cases} dh = T ds + v dp \\ \xrightarrow{\text{مشتق}} \left(\frac{\partial h}{\partial P} \right)_T = T \left(\frac{\partial s}{\partial P} \right)_T + v \end{cases}$$

$$\text{حفظ شود} \quad dh = C_p dT + [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P] dP$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial P} \right)_T = - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \quad \text{مقتضای}$$

که با این معادله قبل از آنکه لایه نازک می شود و به جدار باز می شود.

$$\Rightarrow \left(\frac{\partial h}{\partial P} \right)_T = v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P$$

هم زمان از رابطه $\Delta h = C_p \Delta T$ می توان استفاده کرد:
 (۱) در تمام فرآیندهای فشار ثابت (از رابطه قبل $dp = 0$ این رابطه بدست می آید)

(۲) $V = \frac{RT}{P}$ b'' ز ایده آن باشد.

$$\rightarrow dh = C_p dT + \left[V - T \left(\frac{R}{P} \right) \right] dp$$

$$dh = C_p dT$$

(۳) فرآیندی که ^{فشار} $P_i = P_f$ و $P_i = P_f$ است.

$$P_i = P_f$$

مطابق تغییرات انرژی داخلی:

$$u = u(T, V)$$

$$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T} \right)_V dT + \left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T dV$$

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

$$du = C_V dT + \left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T dV$$

$$du = T ds - P dV \quad \left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T \text{ بدست آوردن بدنه ثابت فشار بدست می آید}$$

$$\left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial s}{\partial V} \right)_T - P =$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial V} \right)_T = \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V$$

مطابق

$$\left(\frac{\partial u}{\partial V} \right)_T = T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P$$

$$du = C_V dT + \left[T \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V - P \right] dV$$

۱۱'

انرژی داخلی یک گاز از رابطه $u = A + BPV^B$ که A و B ثابت است داده می شود این گاز در یک فرآیند آدیاباتیک در یک سیتم بسته فرآیندی را طی می کند که $PV^k = \text{const}$ مقدار k بدین

$$u_2 = A + BP_2 V_2^B \quad \text{فرایند:}$$

$$\Delta u = Q - W$$

$$u_1 = A + BP_1 V_1^B$$

$$\frac{B+1}{B} \quad (1)$$

$$B(P_2 V_2 - P_1 V_1) = -W$$

$$\frac{B-1}{B} \quad (2)$$

$$W = \int P dV = \int \frac{C}{V^k} dV$$

$$\frac{B}{B-1} \quad (3)$$

$$\frac{B}{B+1} \quad (4)$$

$$W = \frac{P_1 V_1 - P_2 V_2}{k-1}$$

$$B(P_2 V_2 - P_1 V_1) = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{k-1}$$

$$Bk - B = 1 \rightarrow$$

$$k = \frac{1+B}{B}$$

$$dh = C_p dT + [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p] dp$$

$$du = C_v dT + [T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p] dv$$

در P و T حفظ شده است.

در زمان از رابطه $du = C_v dT$ برای محاسبه u استفاده می‌کنیم.

(۱) در تمام فرآیندهای حجم ثابت.

(۲) در تمام فرآیندهای $v_i = v_f$

(۳) برای تمام گازهای ایده‌آل.

(۴) برای سیالات تراکم ناپذیر. β و $k = 0 \rightarrow dv = 0$

کافی از معادله و سوال پیروی می‌کنند این گاز طی یک فرآیند مشابه از شرایط P_1, v_1 تا شرایط P_2, v_2 منتقل می‌گردد تغییرات این گاز را محاسبه کنید.

$$\left(P + \frac{a}{v^2} \right) (v - b) = RT$$

$$(P_2 v_2 - P_1 v_1) + a \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \quad (1)$$

$$a \left(\frac{1}{v_2} - \frac{1}{v_1} \right) \quad (2)$$

$$(P_2 v_2 - P_1 v_1) + a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \quad (3) \checkmark$$

$$(P_2 v_2 - P_1 v_1) + a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right) \quad (4) \checkmark$$

$$dh = C_p dT + [v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p] dp$$

از رابطه فوق چون $\left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p$ را نداریم می‌توان استفاده کرد و Δh را بدست می‌توان حساب کرد.

$$\rightarrow P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$$

$$\Delta h = \Delta u + \Delta(Pv)$$

$$\Delta h = (P_2 v_2 - P_1 v_1) + \Delta u$$

$$du = 0 + [T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p] dv$$

$$du = 0 + \left[T \left(\frac{R}{v-b} \right) - \frac{RT}{v-b} + \frac{a}{v^2} \right] dv$$

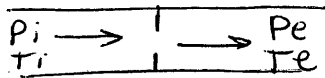
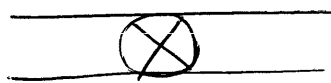
$$\int du = \int \frac{a}{v^2} dv$$

$$\Delta u = a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right)$$

$$\Delta h = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + \Delta u$$

$$\Delta h = (p_2 v_2 - p_1 v_1) + a \left(\frac{1}{v_1} - \frac{1}{v_2} \right)$$

فرآیند اصطاق: خفگی، خفایش، Throttling



$$p_e < p_i$$

$$v_e > v_i$$

$$p_e < p_i$$

$$v_e > v_i$$

$$E_{ke} > E_{ki}$$

فرآیندی است که در آن فشار سیال با به شکل آن کاهش می‌یابد.

چون فرآیند Steady State است.

$$h_i + \frac{v_i^2}{2} = h_e + \frac{v_e^2}{2} + w + u_2 - u_1$$

$$h_i + \frac{v_i^2}{2} = h_e + \frac{v_e^2}{2}$$

$$h_i - h_e + \left(\frac{v_i^2}{2} - \frac{v_e^2}{2} \right) = 0$$

در این فرآیند $\Delta h = 0$ و $\Delta E_{ke} > 0$ است.

$$\Rightarrow \boxed{h_i = h_e}$$

$$w = 0, \quad w_{فقد} < 0$$

(*) یعنی در این فرآیند هیچ کاری انجام نمی‌دهد.

(*) اصطاق بازگشت ناپذیر است و با افزایش آن در هر دو طرف، $\Delta h = 0$ و $\Delta E_{ke} > 0$ است.

$$\Delta h = 0 \rightarrow T_i = T_e$$

$$c_p \Delta T = 0 \rightarrow \Delta T = 0$$

در فرآیند اصطاق، دمای سیال ثابت است.

اگر دمای سیال ثابت باشد

(فقط گاز ایده‌آل)

* دماهای واقعی باید صاف کرد.

۱۳

ضریب ژول تامسون :

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h$$

$$\mu_{JT} > 0 \xrightarrow[\text{همواره مثبت باشد}]{\partial P < 0} \Delta T < 0 \rightarrow \text{دما کاهش می یابد. گاز سردتر می شود. افتشای سردی شود.}$$

$$\mu_{JT} < 0 \xrightarrow[\text{منفی باشد}]{\partial P < 0} \Delta T > 0 \rightarrow \text{دما زیاد می شود.}$$

$$\mu_{JT} = 0 \xrightarrow[\text{صاف باشد}]{\partial P < 0} \Delta T = 0 \leftrightarrow \text{نقطه آلیه آل.}$$

* برای گازهای آلیه آل ضریب ژول تامسون منفی است.

محاسبه ضریب ژول تامسون :

$$dh = C_p dT + \left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right] dp$$

$$0 =$$

از این رابطه $\left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h$ را حساب می کنیم.

$$\mu_{JT} = \left(\frac{\partial T}{\partial P} \right)_h = \frac{\left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right]}{-C_p}$$

$$P(V-b) = RT$$

تت گاز از معادله

برای می کنند این گاز تحت یک فرآیند افساق قرار می گیرد کدامیک از گزینه

صحیح است ؟ (* در همین نت نتوانی پیدا ضریب ژول تامسون چیست ؟

(۱) گاز طی افساق سرد می شود. (۳) گرم می شود.

(۲) ... تغییر دمای دهد. (۴) به هم منسب گاز ممکن است

سرد یا گرم و تغییر دما ندهد.

$$P(V-b) = RT$$

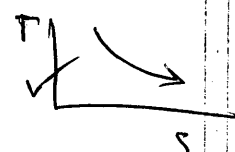
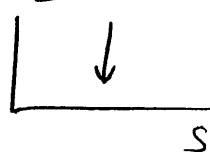
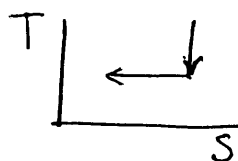
$$V = \frac{RT}{P} + b$$

$$\mu_{JT} = \frac{\left[v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right]}{-C_p} = \frac{\left[v - T \left(\frac{R}{P} \right) \right]}{-C_p} = \frac{\left[\frac{RT}{P} + b - \frac{RT}{P} \right]}{-C_p}$$

$$P(V-b) = RT \quad \text{حقیقتاً شود برای} \quad = -\left(\frac{b}{C_p} \right) < 0 \rightarrow \Delta T > 0$$

b عددی مثبت و واحد حجم دارد. b: هم یک مولکول

گرافیک از منحنی های زیر فرایند اختشع را به نشانه درج



معادله $PV = RT$

وشرط اول $P(V-b) = RT \rightarrow \frac{PV}{RT} - \frac{Pb}{RT} = 1 \rightarrow Z = 1 + \frac{Pb}{RT}$
 از شکل ها در آن $\frac{a}{V^2}$ را باید اضافه کرد. $Z > 1$

درم آزاری

درم آزاری سیستم ۲ یعنی دوگیت مستند درم نیز داریم، بقیه خواص سیستم را مشخص کنیم.

مستند درم: $V = \frac{V}{m}$

P
T
P
u
h
S

وابسته به: حجم کل V

H
U
S

درم آزار از قانون گیبس رو هم بدست می آید.

$$P = 2 - \pi + N - r - S$$

π : تعداد فازها

N: تعداد سازنده های سیستم

r: تعداد واکنش های مستند

S: تعداد محدودیت های سیستم

مثال:

ی رابطه (کارهای)

$$P = 2 - 2 + 1 - 0 - 0 \rightarrow$$

$$P = 1$$

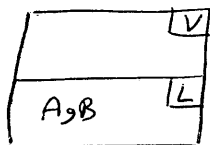
ی، Superheat

$$P = 2 - 1 + 1 - 0 - 0 \rightarrow$$

$$P = 2$$

محدودیت: اطلاعات اضافی می ده.

مثال: یک مخلوط تعویلی از مواد A و B در مقابل یار، مایع تشکیل آیزوتروپ دانه است اگر اجزای A و B با هم واکنش ندهند درم آزاری سیستم برابر است با: (A و B متعلق ندارند).



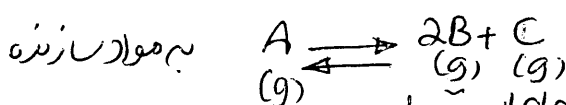
یعنی فازهای را یک فاز در نظر می گیریم.

$$P = 2 - 2 + 2 - 0 - 1$$

S = 1 چون فقط آیزوتروپ $x_i = y_i$ یعنی یکی از متغیرها کم می شود.

(*) A و B غیرقابل اختلاط ← فازهای خودش دو فاز در نظر گرفته می شود.

مثال: ماده A مطابق واکنش خود تجزیه می گردد درم آزاری برای این واکنش برابر است با:



فازها با هم مخلوط می شوند تشکیل می دهند

یعنی $r = 1$

$$P = 2 - 1 + 3 - 1 - 1$$

$r = 1$ (یک واکنش است و بعد از آن می شود سیستم واکنش مستقل).

$$y_B = 2y_C$$

$$P = 2$$

آنها با هم مخلوط می شوند

مثال: در مثال قبل اگر همراه A تعدادی مول (از ماده B) وارد شود به آزادی واکنش

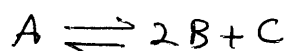
برابر است با:

$$P = 2 - 1 + 3 - 1 = 0$$

(*) محدودیت = 0

$$\boxed{P = 3}$$

مثال: در مثال قبل اگر همراه A، 2 mol ماده C وارد شود.
(نشان بده)



$$n_C = \frac{1}{2} n_B + 2 \longrightarrow \text{محدودیت: یک رابطه نوشتیم}$$

که تعداد مول B

$$P = 2 - 1 + 3 - 1 - 1$$

$$\boxed{P = 2}$$

مثال: واکنش $\text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaO} + \text{CO}_2$ یک طرف صورت بگیرد به آزادی برای
(s) (s) (g)

این واکنش برابر است با: ۱ (صفر) ۱ (۲) ۲ (۵) ۳ (۴)

$$P = 2 - 3 + 3 - 1 - 0$$

لکه (تعداد مول یک فاز گاز)

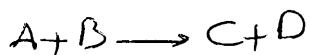
هر جامد خورش یک فاز محسوب میشود
چون جامدات خطوط هگن نمی سازند.

الگوی گاز

(g)

fraction

* وقتی جامد داریم نمی توانیم رابطه استوکیومتری بنویسیم.
چون برای جامدات نمی توان k تعریف کرد.



$$g \quad g \quad g \quad g \quad S = 1$$

$$g \quad l \quad g \quad l \quad S = 1$$

$$S \quad S \quad g \quad S \quad S = 0$$

$$S \quad S \quad g \quad g \quad S = 1$$

$$L \quad L \quad L \quad L \quad S = 1$$

۱۵

تت

در یک لوله گاز ایده آل در دمای T_i و P_i جریان دارد به این خط لوله فن خن خالی و
عایق متصل است. در یک لحظه شیر را باز می‌کنیم تا گاز وارد فن شود زمانی که فشار
داخل فن به P_i رسید شیر را می‌بندیم دمای فن در این حالت برابر است با:

۱۱ T_i ۱۲ کمتر از T_i ۱۳ بیشتر از T_i ۱۴ برای بدست آوردن
دمای فن در این حالت

باز هم درست

فروغ پنداربع

$$Q + m_i h_i = m_e h_e + m_2 u_2 - m_1 u_1 + \dot{W}$$

آریا بایک

فن خن خالی

$$m_i h_i = m_2 u_2$$

سوال کنکور

$$m_i = m_2 \rightarrow \boxed{u_2 = h_i}$$

$h - p_v$ $u + p_v$

$$u_2 = u_i + P_i v_i$$

$$u_2 - u_i = P_i v_i$$

$$C_v (T_2 - T_i) = R T_i$$

$$\frac{R}{\gamma - 1} (T_2 - T_i) = R T_i$$

$$\frac{T_2 - T_i}{\gamma - 1} = T_i \rightarrow \boxed{T_2 = \gamma T_i}$$

سوال کنکور

پس تمام دما در این رابطه باید مطلق باشد.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} > 1 \rightarrow T_2 > T_i$$

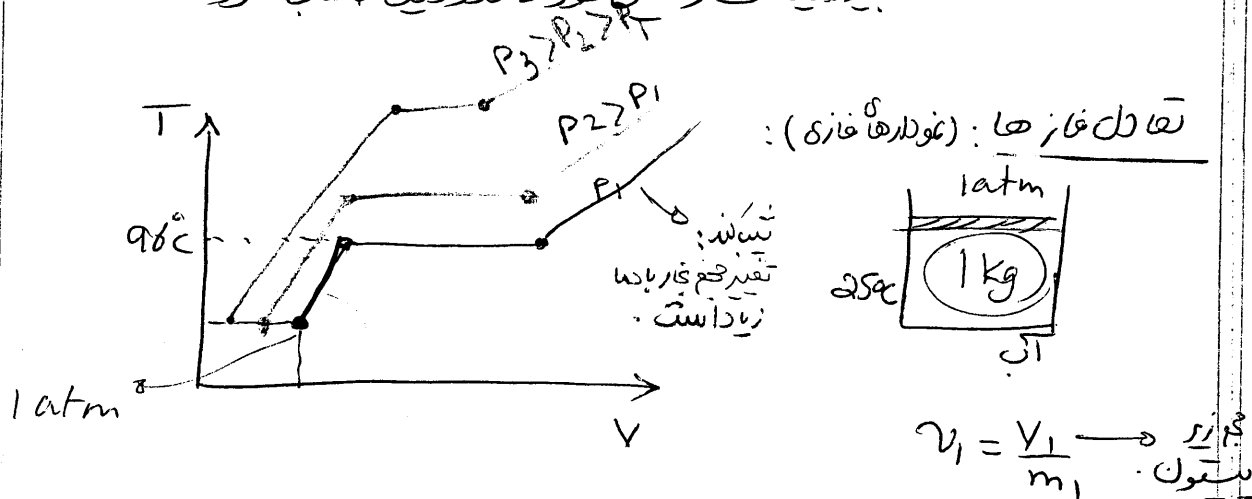
سوال: دما در سوال قبل چه وضعیتی باید باشد تا به رابطه $T_2 = \gamma T_i$ برسیم
فرض: ۱) آریا بایک

۲) فن در ابتدا عایق

۳) گاز ورودی گاز ایده آل

۴) از انرژی پتانسیل و جنبشی هم صرف نظر می‌شود.

* اگر بگویند خلاص: ← محدودیت حساب نمی شود چون چند نقشه رضاء (atm) می توان داشت باید دقیقاً "خف" رخصت شود تا محدودیت حساب شود.



صلوات مودع ← دعا ↑ و عجم ↑ ولی چون فرید بنیاد طبع عجم فیل کم است شد
خط ضلالت است . (B)

به نقطه ای می رسیم که مایع اشباع باریک حساب بخار در حال تعادل است. (اولین حساب بودیم
 فی آیه) اگر حرارت دارن را ادا نموده و هیچ فروغ حساب در مایع ادا نموده و در کجای
 ثابت است چون حرارت فقط صرف تغییر فاز می شود بنابراین در دمای ثابت
 تبخیر رخ داده و حجم ویژه افزایش می یابد به نقطه ای می رسیم که اولین قطره
 مایع تبخیر می شود این نقطه بخار اشباع گویند.
 بخار اشباع: بخاری است که باریک قطره مایع
 در حال تعادل است.

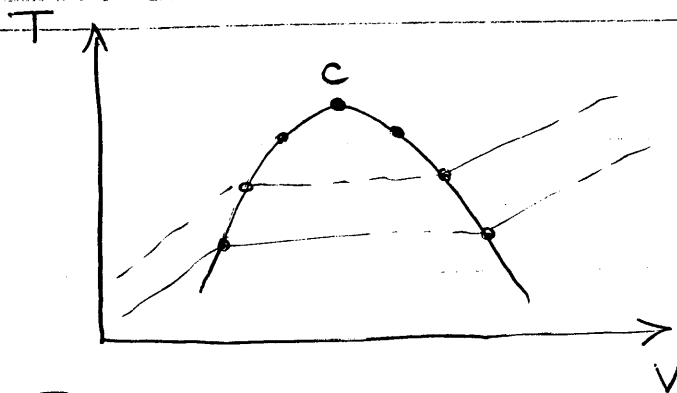
زنگبار بخار اشباع یا حرارت (صم) بها افزایش می یابد و هم صم و اثره افزایش می یابد.

چون برای گاهها و بخار جمع نسبت به گاهها تا بصیبت بیشتری دلور تا مایه
بنابر این با اغراضها جمع خوشتر به نسبت اغراضین میباشد

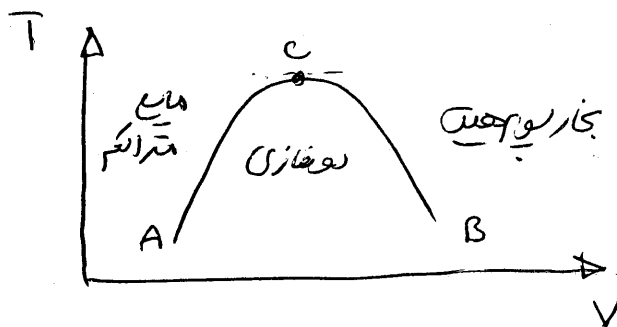
چشمه کثرت در حالت قبل چون جرم ثابت است ولی حجم کمتر از حالت قبل.



۱۴



با وصل کردن این نقاط :



هر نقطه روی منحنی A-C یا B-C (شباع)، هر نقطه روی منحنی B-C یا A-B (بخار اشباع) زیر منحنی هر نقطه در نظر بگیریم (نوعی از دما).

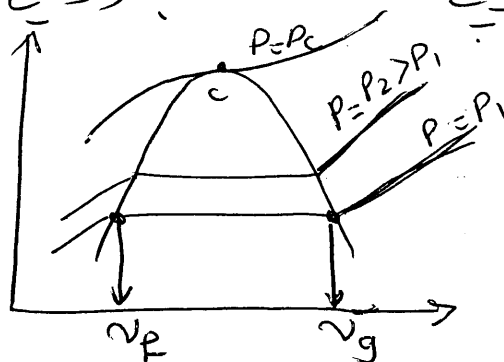
در دمای سرد (مایع متراکم) : اگر دمای نقطه دقت و همین که از دمای اشباع (متناظر با دما) باشد بالای نقطه بحرانی : بخار و مایع نیست ؛ برای که در یک فشار مشخص دمای بالاتر از دمای اشباع دارد. حالت اول) بالای نقطه بحرانی قابل تشخیص نیست و فقط سیال داریم. هلال در دمای محاسبه شکل گاز است.

$$T_c = 5 K$$

$T < T_c$: بخار : امکان تعادل با مایع وجود ندارد

$T > T_c$: گاز : امکان تعادل با مایع وجود ندارد

اگر دمای بالای دمای بحرانی باشد $T > T_c$ یا $P > P_c$ در این صورت به هیچ عنوان تعادل بخار و مایع را در کنار هم نخواهیم داشت



* توهم : در بالای نقطه بحرانی به گونه سیال داریم * و $P_c = P_g = P_l$ و $V_g = V_l$ تغییر هم در آن توهم : هر چه در بالا برویم و هم که کاهش می یابد (بالا رفتن = افزایش دما و فشار).

سؤال: مقداری آب در دلفین ظرفی در سه برابر فشار جبران موجود است به آب حرارت می دهیم کدام یک از گزینه های زیر صحیح می باشد

- (۱) آب در دمای مطلق سه برابر دمای جبران خواهد بود
- (۲) آب در دمای مطلق با تراز سه برابر دمای جبران وجود دارد
- (۳) آب در دمای مطلق با تراز سه برابر دمای جبران وجود دارد
- (۴) در این شرایط آب مطلق نمی جوشد

حون $P > P_c$ تقابل بخار مایع نداریم

یک شوا $P > P_c$ و $T > T_c$ گاز است

تعریف نقطه جریانی: $v_{fg} = v_g - v_f$

با افزایش فشار و افزایش دما v_{fg} کاهش می یابد

v_{fg} کاهش می یابد

در نقطه جریانی v_{fg} صفر می شود یعنی فاز بخار با فاز مایع یک می شود

پس در نقطه جریانی:

در نقطه جریانی مایع اشباع و بخار اشباع فوولس یک می شوند	{	$v_f = v_g$	$v_{fg} = 0$
		$h_f = h_g$	$h_{fg} = 0$
		$v_f = v_g$	$v_{fg} = 0$
		$s_f = s_g$	$s_{fg} = 0$

$$Q = \Delta H = h_{fg}$$

$$\text{در نقطه جریانی} \rightarrow Q = 0$$

در نقطه جریانی گهای نهان صفر می شود

در این نقطه دما و فشار ثابت وجود ندارد

نقطه جریانی تنها نقطه ای است که دما و فشار ثابت در آن وجود ندارد

نقطه جریانی بالاترین دما و فشاری است که در آن تقابل بخار و مایع وجود دارد

بعد از نقطه جریانی به هیچ عنوان تقابل مایع و بخار را در کنار یکدیگر نداریم

$$\left. \begin{matrix} T > T_c \\ P > P_c \end{matrix} \right\} \rightarrow \text{تقابل بخار و مایع را در کنار هم به هیچ عنوان نداریم}$$

(مثله ۱۱ فصل ۳) به هیچ عنوان نداریم

در دلفین مخزن صلب به حجم ۱۰۰ لیتر و ۴ کیلو مایع و بخار آب در تقابل می باشند حال

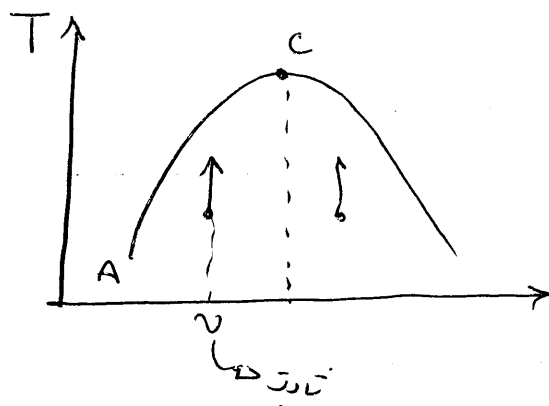
به مخزن حرارت می دهیم کدام یک از گزینه های زیر صحیح است. می دانیم برای آب

$$T_c = 373.1^\circ\text{C} \text{ و } P_c = 22.04 \text{ MPa و } v_c = 0.0031 \text{ m}^3/\text{kg}$$

- (۱) سطح مایع در فنون افزایش می یابد.
- (۲) سطح مایع در فنون پایین می یابد.
- (۳) سطح مایع در فنون ثابت می ماند.
- (۴) برای پاسخ دادن سایلونیک نسیم لازم می باشد.

$$X = \frac{m_v}{m_L + m_v}$$

بخار اشباع $X=1$
 مایع اشباع $X=0$



$$v = \frac{V}{m} = \frac{10 \times 10^{-3}}{4}$$

$$v = 0.0025 \frac{m^3}{kg} \rightarrow v < v_c$$

مقرن مایع ← حجم ثابت و جرم در فنون خارج می شود ← حجم ویژه ثابت.
 پس فرآیند حرارت دهی ← حجم ویژه ثابت است.

$v < v_c$ حجم کمتری AC نزدیک شریع مقدار مایع بیشتر می شود. X کاهش می یابد.
 $v > v_c$ اگر به سمت C برسد در بخار دوسیم بیشتر می شود.

بنابر این در این مثال مقدار مایع در ظرف زیاد می شود. بنا بر این سطح مایع بالایی را می برد.
 $v = v_c$ سطح مایع ثابت می ماند.

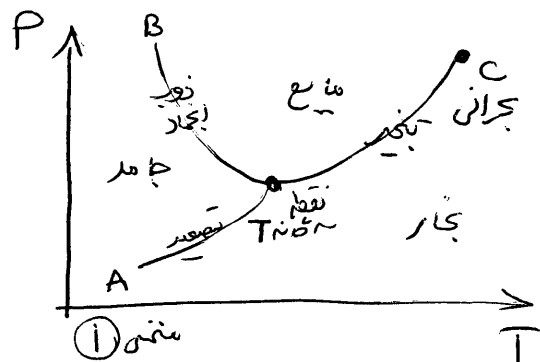
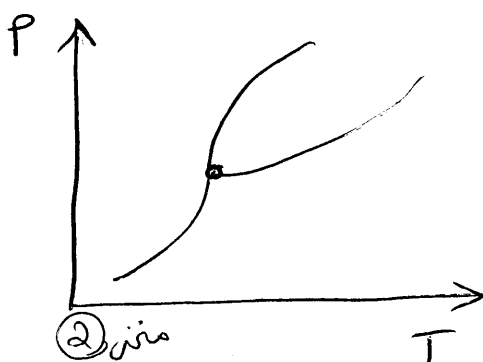
اگر $v < v_c$ باشد با حرارت دادن مقدار مایع در ظرف زیاد شده، سطح مایع در فنون بالایی را می برد و کیفیت کاهش می یابد. ⚡

اگر $v > v_c$ با حرارت دادن مقدار بخار زیاد شده و سطح مایع پایین آمده و کیفیت افزایش می یابد. ⚡

مثال: $T > T_c$ و $P > P_c$ در کشور سوئیس بسیار داریم.

مثال: در هلم در دهان میوه.

منحنی فشار دما :



T_B, T_C روی خطوط $P = 2 - 2 + 1 - 0 - 0$
 $T_A \leq$

$P = 1$

(*) روی خطوط و نقطه بحرانی درجه آزادی صفر است.

بقیه نقاط : درجه آزادی 2 است.

تفاوت منحنی ① و منحنی ② این است که تعداد مایع جامد در منحنی ② باشد همیشه است.

رد ابعاد کول :

$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P = \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V$

$\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_P = \frac{Q}{T \Delta V}$

از این رابطه برای ΔH و آنتالپی تغییر فاز

$\frac{dP}{dT} = \frac{Q}{T \Delta V} = \frac{\Delta H}{T \Delta V}$

در تغییر فاز $Q = \Delta H$ (م)

به چون و آنتالپی تغییر فاز برکت پذیر است.

برای پیوسته آوردن

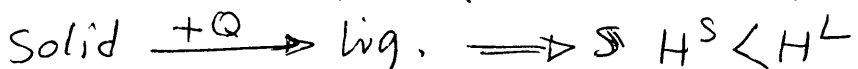
$\frac{dP}{dT} = \frac{\Delta H}{T \Delta V}$

معادله کلاسیک

$\frac{dP}{dT} = \frac{H^S - H^L}{T(V^S - V^L)}$

برای فرایند ذوب (Solid to Liquid)

برای ماده ای مثل آب حجم در اثر انجماد افزایش یافته $V^S > V^L$ بشماره



$H^S - H^L < 0$
 $V^S - V^L > 0$
 $T > 0$

$\frac{\partial P}{\partial T} < 0$

بنابر این برای آب یا همنده شگرف

که در اثر انجماد افزایش حجم پیدا کند شیب منحنی تقاطع جامد - مایع منفی است.

۱۸

معنی ① مربوط به هوای که در اثر رطوبت افزایش حجم می یابند.
معنی ② مربوط به هوای است که در اثر رطوبت کاهش حجم می یابند.

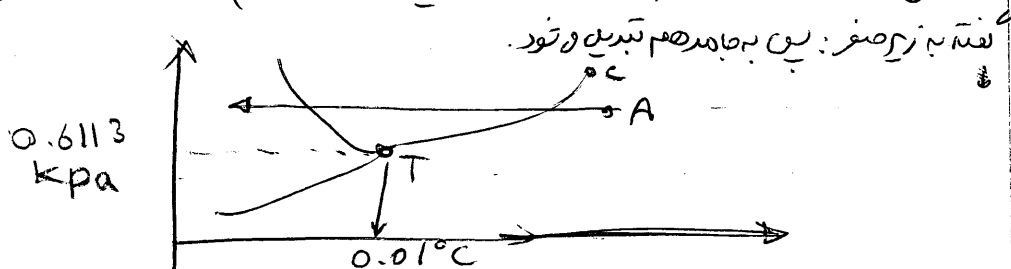
مثال: در یک شب سرد زمستانی دمای هوای زیر صفری را باید تغییر فاز بدهد
در هوا بر روی اقسام به کرد فیکیدز شکل های زیر خواهد بود.

- ✓ ۱) بخار مایع به جامد تبدیل شود.
- ۲) بخار مایع به بخار تبدیل می شود. در این شرایط رطوبت تغییر فاز نمی دهد.
- ✓ ۳) بخار مایع می شود (بخار دانی)
- ۴) دمای محیط پیاپی بیشتر.

* معط شود: نقطه نه گان: 0.6113 kPa

نقطه نه گان نقطه ای است که در آن دمای تقارن 0.01°C 273.16 K هستند.

در این آت: فشار بالاتر از (فشار محیط 100 kPa) رطوبت نقطه نه گان.



می نامد خواص مخلوط:

$$M = x M_g + (1-x) M_f$$

مخلوط با کیفیت x .

$$M = x (M_g - M_f) + M_f$$

$$M = M_f + x M_{fg}$$

مثال: بخار آب در دمای 150°C و فشار 1.5 atm دارد یک شیر رطوبت

می زد و در 2 لغت رو به رو منبسط می گردد اگر دمای نه گان 120°C

$$h_g = 2200 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_f = 100 \text{ kJ}$$

$$s_g = 6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}, s_f = 0.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

و همین طور آتایی بخار و در $1500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ باشد مقدار آتروپ نه گان از شیر

اضتاق بر حسب $\frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ مقدار خواهد بود.

اصطفاق فرايند آنتالپي ثابت است: $h_i = h_e$

$$1500 = x h_g + (1-x) h_f$$

$$1500 = x(2200) + (1-x)100 - 100x$$

$$\Rightarrow x = \frac{14}{21} = 0.666$$

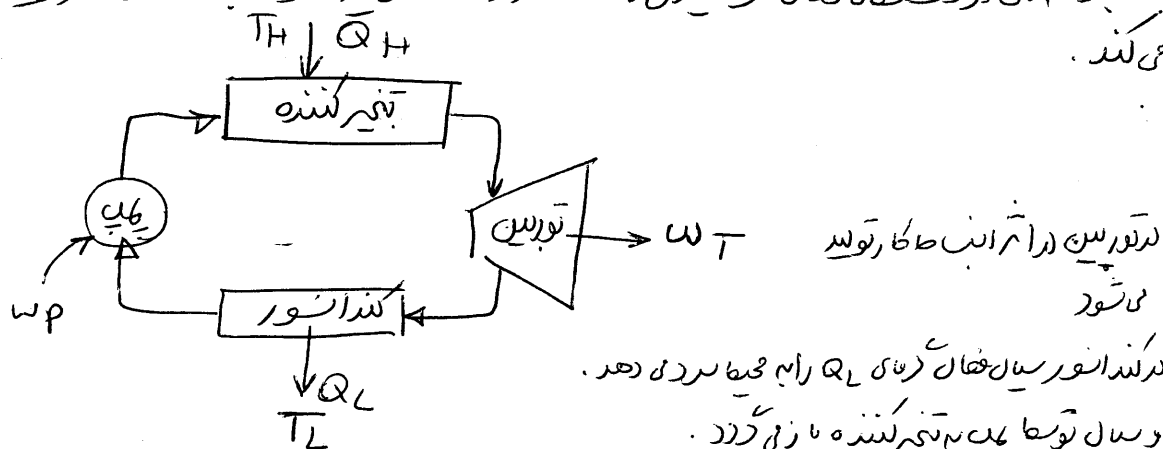
$$S_e = x S_g + (1-x) S_f$$

$$S_e = \frac{2}{3} \times 6 + \left(\frac{1}{3} \times 0.5\right)$$

$$S_e = 4.16 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

* مانند عمل گردد.

مقدمت قانون دوم ترموديناميك:
 مفهوم اي از دستگاه هاي فرايندي است كه از ساكنه اي گر و در بين آن ها توانسته
 مي كند.

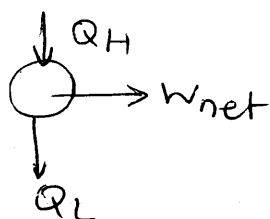


بنابر اين چگي از كار توربين صرف پمپ مي شود
 و عايتي كار خالص سيكل است.

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

$$+Q_H - Q_L = +W_T - W_P = W_{net}$$

معرفي توليدي



بطور خلاصه نمائش مي تواند در آتي:

۱۸'

مثلاً: در یک مخزن بخار و مایع به جرم M و کیفیت x وجود دارد :
 به این مخزن دانه تا کل مقیاسات مخزن بصورت بخار اشباع دریافت می‌کند اگر دانه در فشار ثابت صورت بگیرد مقدار گسی دانه شده برابر است با

$$\begin{aligned} (1) \quad m x h_{fg} & (2) \quad m x h_{fg} \\ (3) \quad m(1-x) h_{fg} & (4) \quad m(1-x) h_{fg} \end{aligned}$$

$$Q = \Delta H = m(h_2 - h_1) \quad (\text{حل})$$

$$Q = m[h_g - (h_f + x h_{fg})]$$

$$Q = m[(h_g - h_f) - x h_{fg}]$$

$$\boxed{Q = m(1-x) h_{fg}}$$

بخار آب در فشار 3 Mpa، در یک شراعتی تا 1 Mpa کاهش یافته، ریزه ای کند آب شود.
 جریان فوقی به دانه $\frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ در کلون برابر است با:

$$@ 3 \text{ Mpa} \quad h = 3000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$1 \text{ Mpa} \quad S_f = 0.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$S_g = 6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$h_f = 500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_g = 3500 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

اطلاعات مسئله:

$$h_i = h_e$$

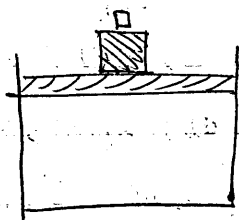
$$3000 = x(3500) + (1-x)500$$

$$x = \frac{2500}{3000} = \frac{5}{6}$$

$$S = x S_g + (1-x) S_f$$

$$S = \frac{5}{6} * 6 + (1 - \frac{5}{6}) * 0.6$$

$$\boxed{S = 5.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}}$$



مسئله ۵:

سیستم غیر عایق

صنکاه در حالت تعادل حرارتی

افزایش وزن $\rightarrow P \uparrow \rightarrow T \uparrow$ (در سیستم غیر عایق یعنی در حالت تعادل و فشار افزایش می‌یابد)

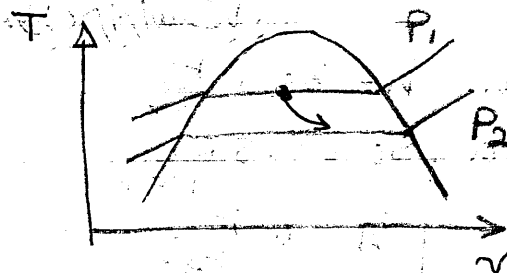
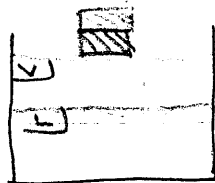
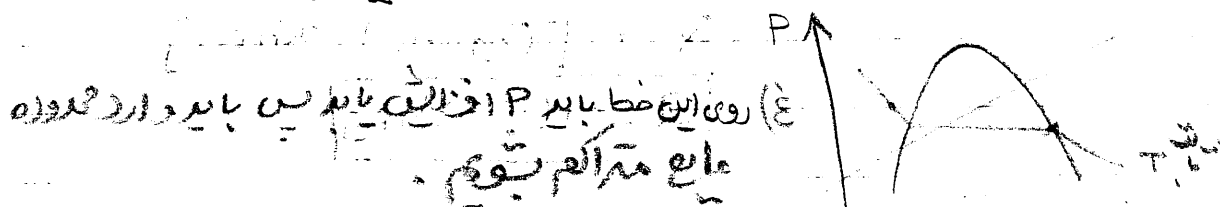
پایه دوش (۱)

1 atm 96°C

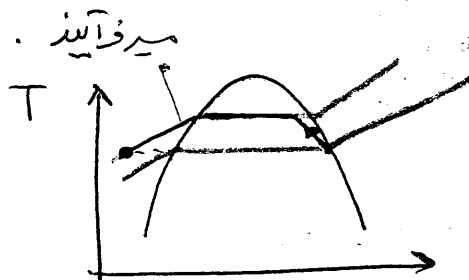
دفعه بیشتر در حالت تعادل 1.01 atm 98°C

یعنی 96°C در حالت تعادل

در این مسئله در حالت تعادل و افزایش یافته سوختن مایع تبدیل می‌شود



وزن ثابت
در این

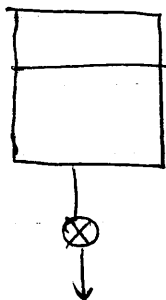


پاشش مسئله ۵ روی منحنی

۱۸"

یک مخزن استوانه ای با سطح مقطع 2 m^2 حاوی مخلوطی از آب مایع و بخار آب می باشد.
در یک لحظه شیر متصد به این مخزن را باز می کنیم تا سطح مایع در مخزن 1 m پایین بیاید
اگر در این فرآیند دما ثابت بماند و داشته باشیم:

$$v_f = 0.01 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad \text{و} \quad v_g = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$



جرم مایع خروجی از مخزن به حسب وکا مقیاس است؟

- ۱) 180 kg (✓)
۲) 30 kg
۳) 270 kg
۴) 300 kg

$$V = 2 \times 1 = 2 \text{ m}^3$$

حجم مایع

$$v_f = \frac{V}{m_f} \rightarrow m_f = \frac{2}{0.01} = 200 \text{ kg}$$

توجه: دما ثابت بماند بنابراین کماشی حجم مایع باید با افزایش مقدری برابر باشد نه اینکه
مقدار بخار ثابت بماند، منطبق شود و حجم را بگیرد.

$$m_{out} = 180 \text{ kg}$$

مخزن به حجم 500 liter دارای گاز ایده آل در فشار 5 MPa می باشد شیر متصد به مخزن را
به آرامی باز می کنیم تا در مدت بسیار طولانی فشار گاز داخل مخزن به نصف برسد
مقدار گرمای تبادل شده بین سیستم و محیط برابر است با: (✓)
۱) 2500 kJ ۲) 5000 kJ ۳) 1250 kJ ۴) 3000 kJ

$$Q + m_1 h_1 = m_e h_e + m_2 u_2 - m_1 u_1 + W$$

مدت بسیار طولانی → دما ثابت (گاز مثل هوا کم به ثابت).

$$\frac{P_1 V_1}{m_1 T_1} = \frac{P_2 V_2}{m_2 T_2} \rightarrow \boxed{m_2 = \frac{1}{2} m_1} \rightarrow \boxed{m_e = \frac{1}{2} m_1}$$

$$Q = \frac{1}{2} m_1 h_e + \frac{1}{2} m_1 u_2 - m_1 u_1$$

$$Q = \frac{1}{2} m_1 [h_e + u_2 - 2u_1]$$

و گاز ایده آل تابع دما

در این فرآیند دما ثابت:

$$T_1 = T_2 = T_e \rightarrow u_1 = u_2 \\ h_e = h_1$$

$$Q = \frac{1}{2} m_1 [h_1 + u_2 - u_1 - u_1]$$

$$Q = \frac{1}{2} [u_1 + P_1 V_1 - u_1]$$

$$Q = \frac{m_1 P_1 V_1}{2} = \frac{P_1 V_1}{2}$$

$$Q = \frac{5 \times 10^3 \text{ kPa} \times 0.5 \text{ m}^3}{2}$$

۱۸

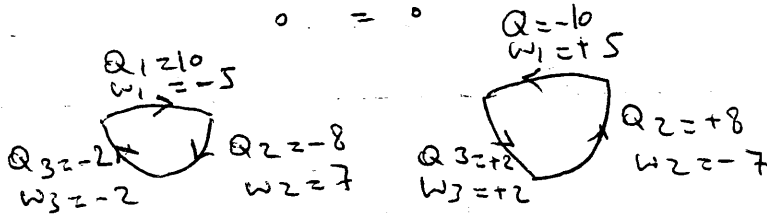
مقدمت قانون دوم :

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

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

$$10 - 8 - 2 = -5 + 7 - 2$$

$$0 = 0$$



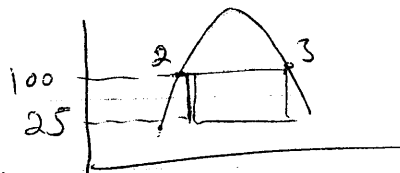
طبق قانون اول

هر دو را نیز انجام می‌دهد. ولی هر فرآیند در جهت معینی انجام می‌دهد پس برای بیان جهت فرآیند به قانون دوم نیاز است.

مثال: برای سیکل های برگشت پذیر نشان داده شده در شکل زیر

نشان : وگا ای را شیب در 100° در محیط به معنی 25° قرار دارد اگر بین مخزن و محیط یک سیکل کارنو برقرار کنیم به شرطی که در 100° و hpg برابر $2257 \frac{kg}{kg}$ و $SpG = 6.05 \frac{kg}{kg}$ باشد کار تولید شده بر حسب kg برابر است با :

$$1476 \quad 14 \quad 1785 \quad 13 \quad 453 \quad 12 \quad 2257 \quad 11$$



$$\text{راه اول: } Q_H = hpg = 2257$$

$$\text{راه دوم: } \eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{298.15}{373.15} \rightarrow \eta \checkmark \quad \eta = \frac{W_{net}}{Q_H = hpg}$$

$$\rightarrow W_{net} = 453 \frac{kJ}{kg}$$

$$W_{کل} = \frac{453}{2257} \frac{kJ}{kg} \times 11kg = 453 kJ$$

$$\text{راه دوم: } Q_H = 2257$$

$$Q_L = T_L \times \Delta S$$

$$\text{راه سوم: } W_{خالص} = \text{ماده سیکل} = (100 - 25)(6.05)$$

فتره‌ای ارجاع‌کنند بحال مسافت که در اتاق به دمای 27°C سرمایشی به میزان -23°C ایجاد کرده و با ضریب عملکرد 4 کار می‌کنند این سیکل تبریدی:

(۱) غیر ممکن (۲) ممکن و برکت پذیر

(۳) ممکن و برکت پذیر (۴) اطمینان مسئله کافی نیست

$$\beta_c = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{273 - 23}{27 - (-23)} = \frac{250}{50} = 5$$

$$\beta_{\text{یکه}} = 4$$

اگر $\beta < \beta_c$ ← ممکن است و برکت ناپذیر

$\beta > \beta_c$ ← غیر ممکن است

$\beta = \beta_c$ ← ممکن است و برکت پذیر

۱۹

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_H} \quad \text{موقعه اولی}$$

هدف تولید کار خالص بوده که برای آن Q_H هزینه شده.

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

زمانی بالاترین رانندگی را دارد که برگشت پذیر باشد.

یک سیکل زمانی برگشت پذیر است که تمام فرآیندهای آن برگشت پذیر باشد.
به عنوان مثال برگشت پذیر، موتور حرارتی کارنو گویند.
تغییر کننده: اینترورسین و ریورسین.

انتقال حرارت برگشت ناپذیر است، شرط برگشت پذیری باید تضاد دما در فرآیند باشد.
در تغییر کننده تضاد دما در فرآیند نیز T_H و دمای تغییر کننده تضاد دما در فرآیند
باشد دمای T_H باید ثابت و دمای تغییر کننده نیز ثابت با تضاد دما در فرآیند باشد.
سیکل کارنو: (یعنی T_H ثابت است بنابراین تغییر کننده نیز باید دمای ثابت T_H داشته باشد).
در تغییر کننده انتقال دما در دمای ثابت انجام می گیرد.
در توربین:

از گرهای داده شده به سیال فعال می خواهیم کار تولید کنیم بنابراین توربین
را آدیاباتی و ریورسین و اینترورسین ثابت انجام می گیریم.

انتقال حرارت در گزند نور دفع حرارت از سیال فعال در دمای ثابت انجام می گیرد.
(مانند تغییر کننده)

پای: به شکل آدیاباتی، ریورسین، اینترورسین کار می کنند.

(بنابراین گاه در برود) (اگر دما در پی در برود باید گاه بیشتری در تغییر کننده به آن برهم).

2 T دما و فرآیند دما ثابت

2 S دما و فرآیند ثابت

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

در سیکل کارنو: 2 S و 2 T

در سیکل کارنو: ←

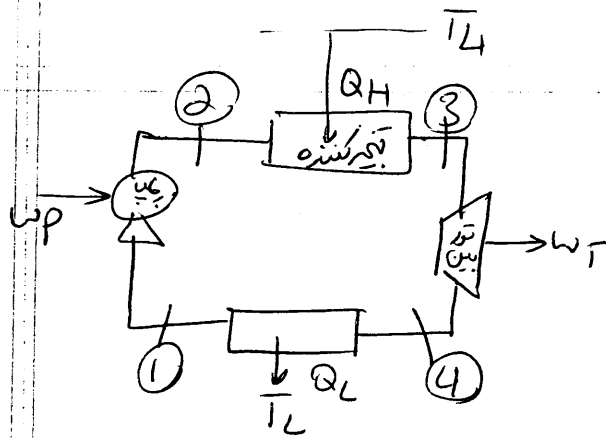
$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad \text{پاره سازق است}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad \text{سیکل کارنو}$$

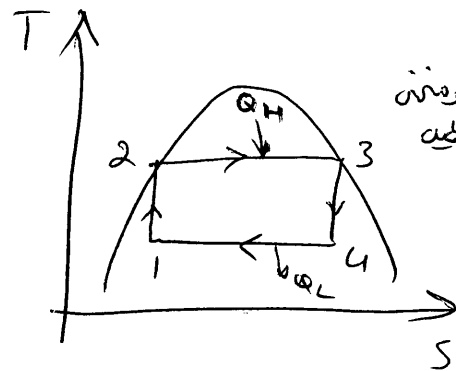
فقط در سیکل برگشت پذیر.

اگر T_L به صفر برسد $\eta = 1$

که رسیدن به صفر مطلق عملاً ممکن نیست پس رسیدن به آن را در عمل پذیر نیست.



روی منحنی T-S



این شکل کار و منحنی
T-S به شکل مستطین
است.

که می‌توان آن بیشتر است.
* در این صورت به یک مخلوط بخار و مایع است. مشکل سیکل کارنو
در اثر تراکم در این به صورت مایع رطوبت در رآنده در تپه‌ها می‌ماند و تپه
به آن لایه تپه و به بخار از مایع (شباع به بخار) تبدیل می‌شود.
در نقطه 4 مخلوط بخار و مایع به بخار آن بیشتر است.
4-3 آنتروپی ثابت است.

روی منحنی T-S مستطین است.
اگر در سیکل کارنو از گاز ایده‌آل استفاده می‌کردیم علاوه بر منحنی TS
منحنی ها H-S و U-S هم مستطین می‌شد. که عملاً امکان ندارد.
چون برای گاز ایده‌آل آنتروپی و دما تابعی هم‌بسته است و در دما و دما ثابت مقدار آن ثابت می‌ماند
در تپه‌ها: $Q = \Delta H_{vap}$

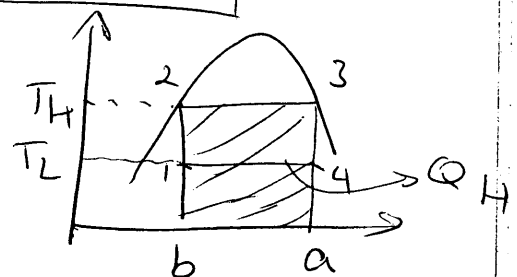
$$\Delta S_{2-3} = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H}$$

چون برگشت پذیر است مایه شده

$$\Rightarrow Q_H = T_H \cdot \Delta S_{2-3}$$

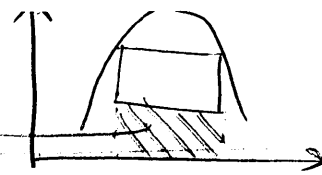
$$Q_H = S_{1234ab}$$

$$Q_L = T_L \Delta S = S_{14ab}$$

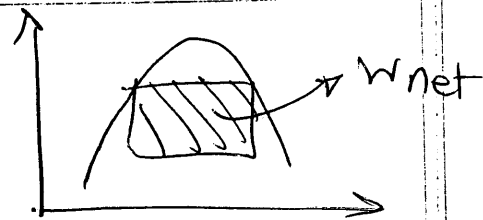


$$\Rightarrow W_{net} = Q_H - Q_L = S_{12341}$$

۲۰

 Q_L 

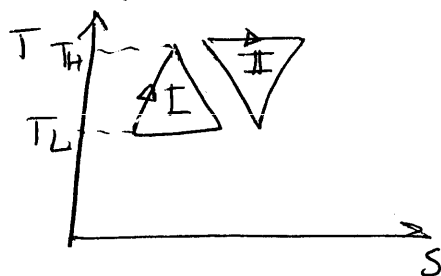
کار خالص سیکل کارنو مساوی است با مساحت
سیکل بسته.



با T_H افزایش مساحت (کاهش T_L به بخش رفت رانندگی نور)
رانندگی سیکل کارنو افزایش می یابد. * قلم: افزایش T_H دانه است مساحت را کم می کند.
هر وقت بلندی افزایش مساحت شود، رانندگی افزایش می یابد.

** دو تمام سیکل های برگشت پذیر مساحت سیکل بسته برابر کار خالص سیکل است.

کدامیک از گزینش های زیر در مورد رانندگی سیکل های برگشت پذیر یک و ۲ صحیح است؟



جهت فرآیند نشان داده کار تولید شده.

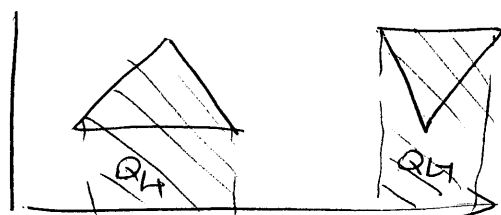
$$1) \eta_I > \eta_{II}$$

$$2) \eta_{II} > \eta_I$$

$$3) \eta_I = \eta_{II}$$

$$4) T_H \text{ و } T_L \text{ رابطه دارد.}$$

$$(w_{net})_I = (w_{net})_{II} \text{ دو مساحت یکسان}$$

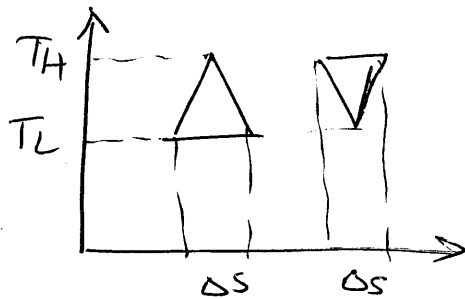


Q_H در T_H (مقدار Q_H باشد) در کدام مساحت است متساوی
نقطه تعیین شده باشد
بزرگترین بود $(Q_H)_I < (Q_H)_{II}$

$$\eta = \frac{w_{net}}{Q_H}$$

$$\Rightarrow \eta_I > \eta_{II}$$

نسبت نت‌عین به روش ریاضی :
 در مورد سگ‌های به نسبت زیر I و II مثال قبل نسبت
 $\frac{\eta_I}{\eta_{II}}$ زمان که
 T_H به سمت ∞ میل کند برابر است با :



- ۱ (۱)
- ۲ (۲) ✓
- ∞ (۳)
- ۰ (۴)

$$\eta_I = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{\frac{1}{2}(T_H - T_L)\Delta S}{T_L \cdot \Delta S + \frac{1}{2}(T_H - T_L)\Delta S}$$

+ سمت مثبت +
منطق

$$\rightarrow \boxed{\eta_I = \frac{T_H - T_L}{T_H + T_L}}$$

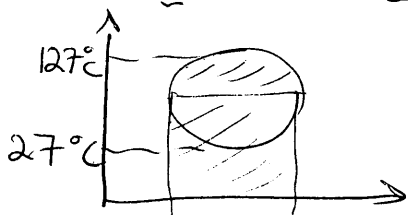
$$\eta_{II} = \frac{\frac{1}{2}(T_H - T_L)\Delta S}{T_H \cdot \Delta S}$$

$$\eta_{II} = \frac{T_H - T_L}{2T_H}$$

$$\frac{\eta_I}{\eta_{II}} = \frac{2T_H}{T_H + T_L} > 1 \quad \text{تکراره}$$

$$\text{و } \frac{\eta_I}{\eta_{II}} = 2$$

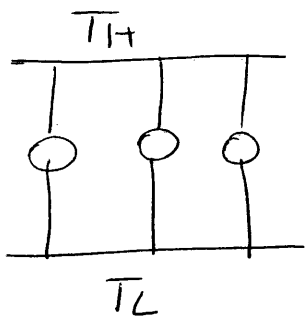
* اگر $T_H \rightarrow \infty$ آنگاه نسبت فوق‌العاده میل کند به ۲ و در صورت
 به وقت صدمه هم در شدت گرفتگی بین ۲ در است. چون ∞ و ۰ امکان نیست.
 را از زمان این سیکل را بدست آورید.



$$\eta = \frac{\pi r^2}{\frac{\pi (50)^2}{2} + 50}$$

* اگر $\frac{127+27}{2}$ از نسبت خلط بود . * توهم می‌دهد سیکل کارنو نیست (تلفه کارنو) می‌توان $1 - \frac{T_L}{T_H}$
 استفاده کرد.

(S)(S)



۱۱) تمام مولفه‌های فرایند پراکنش پذیری که به این دو بخش ثابت H و A کار می‌کنند دلالت بر این دارند.

(۲) بین تمام موتورهای حرارتی که بین دو دمای ثابت T_H و T_L کار می کنند موتور حرارتی کارفروشترین را می توان دانست.

(۳) $n = 1 - \frac{T_L}{T_H}$ ← این رابطه فقط برای کارنو

سوال
نمبر ۱

۲۸
(۱) اندکان سیکل کا رقبہ نوع سیال خفاں سے نڈر اور فقط سیال دما سے گرم و شہ سردا .
(۲) (۱) ہر سیال ایک مڈور پر سے تہ آید و شہ سے ہر سیال ہر سیال

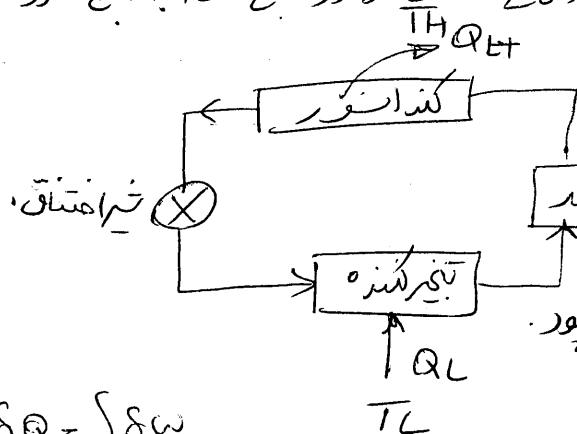
بین مدتورهای قرارى رشت نیز ، بالاترین راندها را کار نمودند (مثلاً اگر شش صد کا رتوبه غیر کلد) یعنی سه کار توانست .

(موتور اصرار دلائی در حقیقت بکل)

نیت چوں ماهیت میان تغیر نکند.

تخیل ها :

مجموعه ای از تجزیه و تحلیل های فوایدی که از عاقل و معنی را (عبارت از منبع) به منبع سرمنصل



۱۰. در تیر کفنده بخاری شود و در یک سو شده

در آتم کار در یک سرهای سیم و شش بر w_c
بالا رفته و دو کند (فوری چون معلوم نیست)

بلاست گویا به حیضاتی زهد بین و لایق نشانی
یا تعریفین

اگر کارر عین سر در میان فعل دارند سر در

سال خارشده

درگاه نور صافشار زما می شور

(در دعا و فرستادن محمد صلی الله علیه و آله)

لین وارد ~~کلیه~~ شیخ افتخار یانک نورسن کرد

$$\int \delta Q = \int \delta W$$

$$Q_L - Q_H = -W_C$$

$$W_c = Q_H - Q_L$$

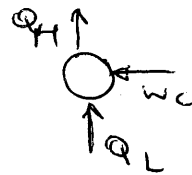
* اَلْمَقْدَارُ سِرْمَاتِشْ مِثْلُ كَمْ بَاثِدْ شَرِ اَصْتِنَاقِ حُورِابِ كُوكِ
خَوَاهِدُ بُوْرِ بِاِ اَمَّا اَرْمِزَانِ تَبَرِدِ اَرْمِزِ اَصْتِنَاقِ حُورِابِلُوْیِ تَبَرِدِ نَبِ
وَسَدِ اِلَکِ اَزْکِ تَوْرِ سِنِ اَصْتِنَاقِ اِسْتَفْلَهِ کِنِمْ .

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

$$+ Q_L - Q_H = - W_C$$

$$W_C = Q_H - Q_L$$

ظلامت سیکه تیرید:



هدف: Q_L (ایجاد سرما در T_L) برای این هدف کار W_C صرف کرده ایم.
در سیکل بخپالی ضریب عملکرد تعریف شده (در اندک زمان ندرایم):

$$\beta = COP = \frac{Q_L}{W_C}$$

بهرترین حالت یک سیکل بخپالی زمان است که ~~در~~ سرماش ایجاد کنیم بدون اینکه کاری مصرف کنیم.
بدرترین حالت هر قدر کار مصرف کنیم سرماش ایجاد کرد.

$W_C = 0$ بهترین حالت.
 $Q_L = 0$ بدرترین حالت.

$$\beta = \infty$$

$$\beta = 0$$

$\Rightarrow$

$$0 < \beta < \infty$$

زمان ضریب عملکرد به حداکثر می رسد که بخپال به شکل برگشت پذیر عمل نماید اگر بخپال برگشت پذیر باشد تمام فرآیندهای آن برگشت پذیر است و آنرا بخپال کارنو گویند.

$$\beta = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

در رابطه کلی:
برگشت پذیر بخپال پذیر.

$$\beta = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

$\rightarrow$

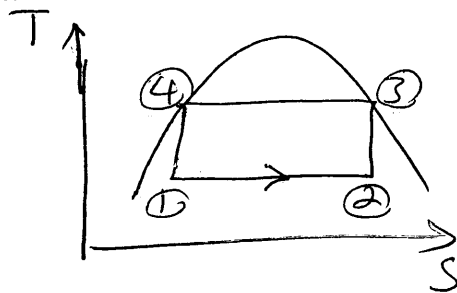
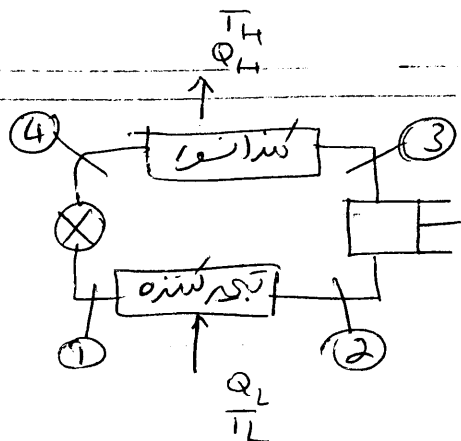
فقط در بخپال کارنو.

و برادر سید

در بخپال برگشت پذیر کارنو تغییر کننده و کند انور به شکل اینوترم عمل می نماید.

لایر سور (خواننده تراکم) و خواننده انبساط هردو به شکل آدیاباتیکی ریورسیبل عمل می نمایند.
این $2T$ دوتا دما ثابت
 $2S$ دوتا آنترپی ثابت.

۲۲



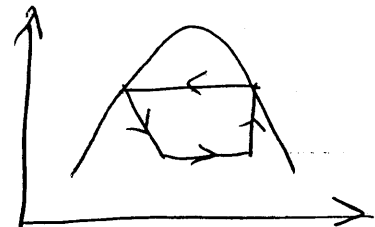
نقطه ۲: مخلوط

ورودی به کپسور مخلوط بخار و مایع می باشد در صورتیکه کپسور فقط برای انتقال کار بخار و ورودی به کپسور عمل نیست.

در موتورهای رانده شده به وسیله بخار در هر دو صورت Q_H و Q_L در یکسان است. اگر فضا ف عوین ساعت باشد متوجه می شویم. خوانید سیکل تبرید در دقت.

* خوانید احتیاق در یک شیر برکت ناپذیر و با افزایش آن تروپی است

بنابر این خوانید ۱-۴ می تواند یعنی می تواند آن تروپی ثابت و برکت چرخ باشد یعنی در اصل:



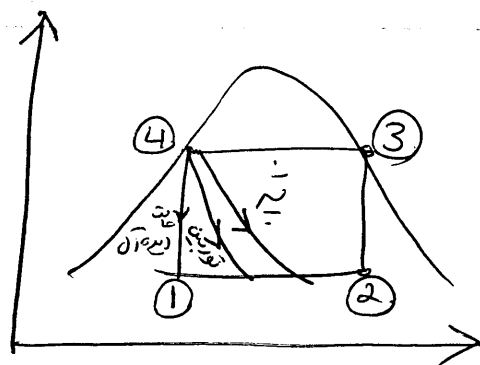
* سیکل تبرید در دقت در صورتیکه فضا ف عوین + باشد.

اگر Q_H ظرفیت سرمایش کم مناسب با میزان Q_L است ضل زیاد باشد شیر احتیاق جویگونیست و بدهد از توربین استعاره کنیم. * اگر m کوچک باشد همان شیر احتیاق را نگذارند.

احتیاق در شیر: $w_{\text{رفت}} = 0$ $w_{\text{برکت}} > 0$

$w_{\text{رفت}} \neq 0$ $w_{\text{برکت}} > 0$ → توربین

پس اینها در توربین به حالت برکت نیز نزدیک تر است چون توربین کار تولید می کند و شیر احتیاق هیچ کاری تولید نمی کند. میزان بازگشت ناپذیر و توربین کم است نسبت به شیر احتیاق.



آشپزخانه و خط کار خیال گرم می شود

از هدف نزدیک به یک خیال (تغایش باشد نه سرعایش) (هدف اصل انتقال
 Q_H باشد نه Q_L) در این صورت سیکل را باید داری می نامیم

$$\beta' = \frac{Q_H}{W_C}$$

* سیکل می داری باشد خیال Q_H
 تفاوت در هدف است.

$$\beta' = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

$$\beta' - \beta = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H - Q_L} = 1$$

$$\beta' - \beta = 1$$

$$0 < \beta < \infty \rightarrow$$

$$1 < \beta' < \infty$$

فردی که در می داری همواره بزرگتر از یک است.

می داری با $\beta < 1$ امکان ندارد.

فردی که در می داری بین همان دو مانند به یک خیال همواره Q_H و Q_L است.

۲۳

مسئله: یک گاز ایده‌آل از شرایط اولیه V_0, P_0, T_0 به طور یکنواخت تا V, T, P متغیر می‌شود. اگر فرض کنیم $P.T = cte$ (که برای مایه‌ها و گازها برقرار است) و می‌خواهیم W و Q را پیدا کنیم.

$$W = \int P dV, \quad PV = RT \quad \text{حل:} \quad C_p (T - T_0) \quad (1)$$

$$\rightarrow P dV + V dp = R dT \quad C_v (T - T_0) \quad (2)$$

$$R (T - T_0) \quad (3)$$

$$W = \int R dT - \int V dp$$

$$2R (T - T_0) \quad (4) \checkmark$$

$$P.T = cte \rightarrow P dT + T dp = 0$$

$$W = \int R dT - \int V \left(-\frac{P}{T} dT \right) = \int R dT + \int R dT =$$

$$2R (T - T_0)$$

داده‌ها: $C_p = 29.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$ (که برای مایه‌ها و گازها برقرار است). مقدار 5.86 kJ که به گاز می‌دهیم در دما می‌شود اگر $Q = \Delta H$.

$$5.86 \quad (4) \quad 4.2 \quad (3) \quad 29.3 \quad (2) \quad 5.86 \quad (1)$$

$$Q = \Delta H \quad \text{فشار ثابت}$$

$$= C_p \Delta T \rightarrow \Delta T = \frac{Q}{C_p} =$$

$$\Delta U = Q - W = Q - P \Delta V = Q - R \Delta T =$$

$$= Q - R \left(\frac{Q}{C_p} \right)$$

$$\Delta U = Q \left(1 - \frac{R}{C_p} \right)$$

$$5.86 \leftarrow$$

$$\rightarrow 29.3$$

$$R = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

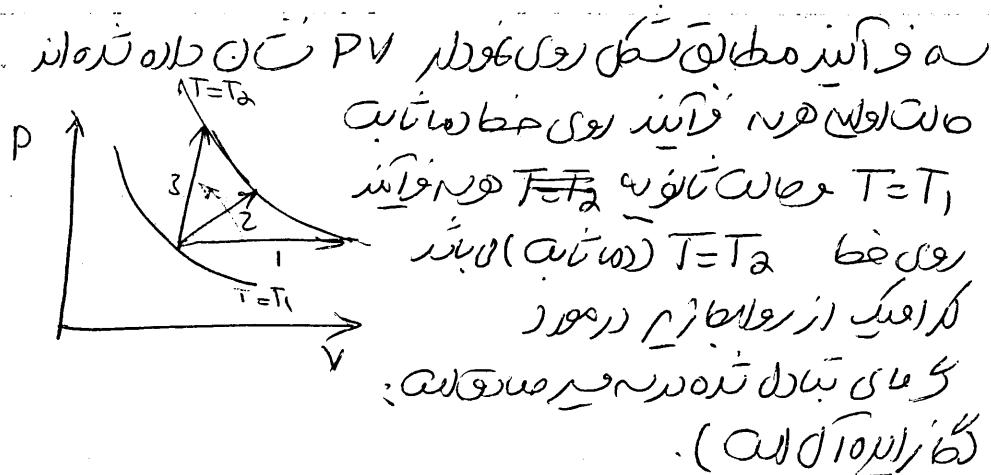
$$\Delta U = 4.2$$

$$\Delta U = C_v \Delta T \quad \text{روش دوم}$$

$$\Delta H = Q = C_p \Delta T$$

$$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{C_p - R}{C_p} = 1 - \frac{R}{C_p} \leftarrow$$

$$\frac{\Delta U}{Q} = \frac{C_v}{C_p}$$



$$3: Q = \Delta u = C_v (T_2 - T_1)$$

$$1: Q = \Delta H = C_p (T_2 - T_1)$$

$$C_p > C_v \rightarrow Q_1 > Q_3$$

$$\Delta u = Q - W$$

فشار ثابت: $\Delta u = Q - P(V_2 - V_1)$

دفعه ثابت: $Q = \Delta H$

در حجم ثابت: $Q = \Delta u$

$$\Rightarrow \boxed{Q_1 > Q_2 > Q_3}$$

در یک دستگاه بخار، مخلوط از بخار و مایع در دمای آفوت، P با کیفیت x عبور دارد.
 در وقت آستانه h بخار در دمای آفوت به مایع تبدیل می‌شود.
 اگر تغییر انرژی داخلی و تغییر آنتالپی را در طی فرآیند تغییر با u_{fg} و h_{fg} نشان دهیم و m جرم مخلوط داخل دیک بخار باشد مقدار گرمای مورد نیاز برای این است:

1) $m(1-x)u_{fg}$

✓ 2) $m(1-x)h_{fg}$

3) $m x u_{fg}$

4) $m x h_{fg}$

$$Q = \Delta H = m \Delta h = m [h_2 - h_1]$$

$$Q = m [h_g - (h_f + x h_{fg})]$$

در دمای آفوت

$$Q = m [(h_{fg}) - x h_{fg}]$$

$$\boxed{Q = m(1-x)h_{fg}}$$

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

$$h = h_f + x h_{fg}$$

۲۴

از یک پمپ حرارتی برای گرمایش یک اتاق استفاده می‌کنیم. اتاق عبارت از اتاق 20 kw و دمای محیط 5°C - می‌باشد. اگر بخواهیم دمای اتاق را در 25°C ثابت نگاه داریم حداقل توان پمپ حرارتی برابر خواهد بود با:

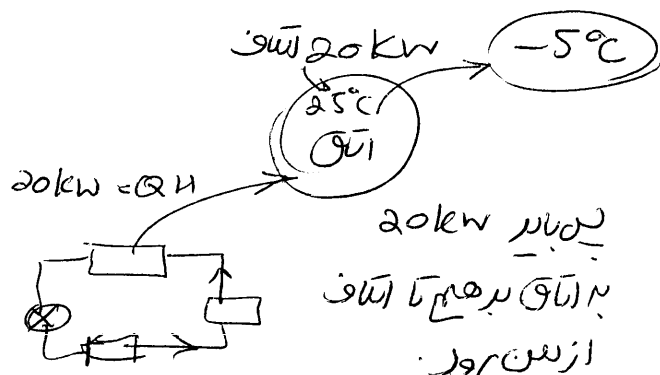
- 1) 9.938 kw ← برگشت پذیر ← کارنو
- 2) 2 kw
- 3) 2.1 kw
- 4) 4.95 kw ← پذیر باشد

$$\beta' = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{25 + 273.15}{30} = 9.938$$

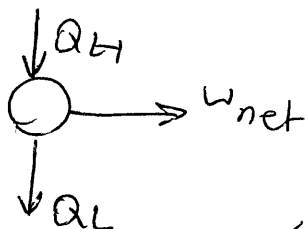
$$\beta' = \frac{Q_H}{W}$$

$$9.938 = \frac{20}{W}$$

$$\rightarrow W = 2.01 \text{ kw}$$



اتاق 20 kw اتاق داری پس ما از یک پمپ حرارتی استفاده می‌کنیم تا 20 kw به اتاق انرژی بدهد. قانون کولین بیانگ: در مورد موتورهای حرارتی است. همیشه گویند:



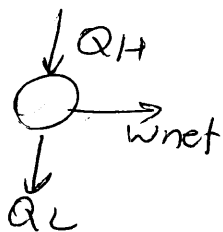
$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

همیشه می‌توان موتور حرارتی ساخت که گاهی Q_H یا لایه دو بروی تبادل حرارتی با منبع دیگری کار می‌کند. یعنی Q_L می‌تواند صفر باشد یا دانه‌ها موتور حرارتی می‌تواند 100% باشد.

$$\beta = \frac{Q_L}{W_c}$$

قانون کلازیوس: در مورد یخالهای حرارتی است همیشه گویند بدون صرف کار نمی‌توان گرما را از منبع سرد به منبع گرم منتقل کرد. یا W_c در یخال هیچگاه صفر نخواهد بود یعنی نمی‌توان یخال ساخت که با صرف عمل کند صفر کار کند.

موتور حرارتی کارنو



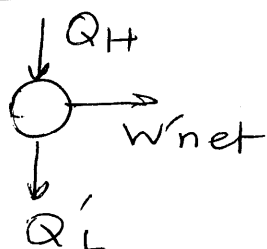
$$\oint \delta Q = Q_H - Q_L > 0$$

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

موتور حرارتی کارنو (موتور)

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

موتور حرارتی برشتاین



$$w'_{net} < w_{net}$$

$$Q_H - Q'_L < Q_H - Q_L$$

$$Q'_L > Q_L$$

$$\oint \delta Q = Q_H - Q'_L > 0$$

یعنی در یک استرکشن هم.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q'_L}{T_L} < 0$$

چون در یک کارنو = صورتی و در یک حالت
Q'_L > Q_L است پس < 0

موتور حرارتی: همواره $\oint \delta Q > 0$

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

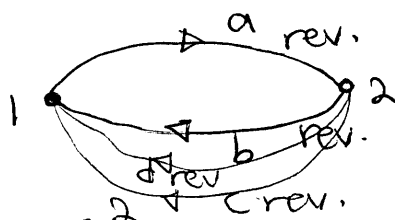
ساوی: برشتاین
نامساوی: " " ناپیر

$$\left\{ \begin{array}{l} \oint \delta Q < 0 \\ \oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \end{array} \right.$$

بیان کلایزیوس: در تمام فرآیندهای سیکل
است.

۴۵

$$\left\{ \begin{array}{ll} \oint \frac{\delta Q}{T} = 0 & \text{مکمل و برگشت پذیر} \\ \oint \frac{\delta Q}{T} < 0 & \text{مکمل و " نابگیر"} \\ \oint \frac{\delta Q}{T} > 0 & \text{سیکل صورت نمی پذیرد (غیر ممکن است)} \end{array} \right.$$

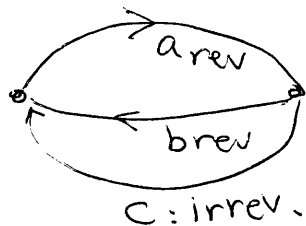


$$\begin{aligned} \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} |_a + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_b &= 0 \\ \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} |_a + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_c &= 0 \end{aligned} \Rightarrow \int \frac{\delta Q}{T} |_b = \int \frac{\delta Q}{T} |_c = \int \frac{\delta Q}{T} |_d$$

$\frac{\delta Q}{T}$ به مسیر بستگی ندارد و خواص سیستم. باید یک از خواص سیستم باشد و به آن آنتروپی سیستم می گویند.

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T}$$

فقط در فرایند برگشت پذیر



$$\left. \begin{aligned} \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} |_a + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_b &= 0 \\ \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} |_a + \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_c &< 0 \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{کمتر است} \\ \text{دورایم} \end{array}$$

$$\xrightarrow{\text{کمتر است دورایم}} \int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_c - \underbrace{\left(\int_2^1 \frac{\delta Q}{T} |_b \right)}_{\Delta S_b} < 0$$

آنترپولی تابع حالت است

$$\Delta S_b > \int_a^b \frac{\delta Q}{T} |_c \quad \text{و} \quad \Delta S_b = \Delta S_c$$

طل یک مسیر برگشت پذیر (۱) بین دو نقطه یک فرآیندی صورت می گیرد
فرآیندی بین همان دو نقطه به شکل برگشت ناپذیر صورت می گیرد (۲)
کدامیک از موارد در مورد تغییر آنترپولی دومی صایح است؟

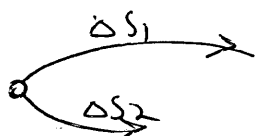
- ✓ ① $\Delta S_1 = \Delta S_2$
② $\Delta S_1 + \Delta S_2 = 0.0$
③ $\Delta S_1 > \Delta S_2$
④ $\Delta S_1 < \Delta S_2$



$$\Delta S = S_b - S_a$$

$$\Delta S_2 = S_b - S_a$$

ΔS تابع نقطه ای است.



اگر نقطه ای است یک ن باشد در دو فرآیند

این جمله که می گویند ΔS می باشد برگشت پذیر از ΔS می باشد برگشت ناپذیر
بازگشت پذیر. $\Delta S_1 < \Delta S_2$
بازگشت ناپذیر. $\Delta S_1 > \Delta S_2$

یک ن باشد. (فرآیند برگشت ناپذیر آنترپولی را افزایش می دهد)

نوع ۱: از میان گزینه ۴ درست است که شرایط تائیدی یک ن باشد ΔS برگشت ناپذیر بیشتر است و بول
توجه: اگر " " باشد " " میسر است.

irrev

ΔS می باشد برگشت ناپذیر
از $\frac{\delta Q}{T}$ در همان می باشد برگشت

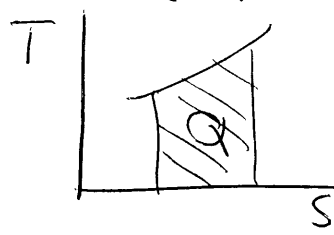
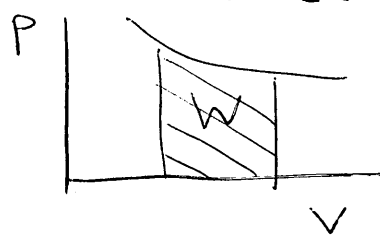
$$\Delta S_c > \int \left(\frac{\delta Q}{T} \right)_c$$

بازگشت ناپذیر

ناپذیر بیشتر است

ΔS به مجموع تغییرات آنترپولی سیستم و محیط است.

بنابر این برای محاسبه ΔS باید $\frac{\delta Q}{T}$ را برای یک فرآیند برگشت پذیر حساب کنیم که برای می باشد برگشت ناپذیر است



دو فرآیند برگشت پذیر

$$\Delta S = \int \frac{\delta Q}{T}$$

$$\delta Q = T \Delta S$$

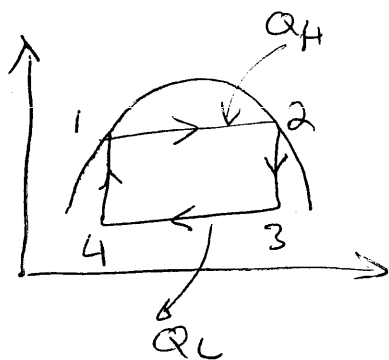
۲۶

قانون دوم به ما امکان می دهد فقط تغییر آنتروپی را بین دو نقطه می بینیم که مقدار مطلق آنتروپی در یک نقطه از قانون دوم ترمودینامیک قابل تعیین نیست. مقدار مطلق آنتروپی در یک نقطه از قانون دوم ترمودینامیک بدست می آید.

طبق قانون دوم ترمودینامیک آنتروپی تمام موارد صفر در مطلق صفر می باشد.

مثال ۱) بخار شباع آب در 100°C در اثر تبدیل به مایع در محیطی به دمای 25°C سرد می شود اگر در 100°C ، $h_{fg} = 2257 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ و $s_{fg} = 6.05 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$ باشد

و این فرایند در سیکل کارنو صورت گیرد مقدار کار تولید شده بر حسب kJ را برآورد کنید :



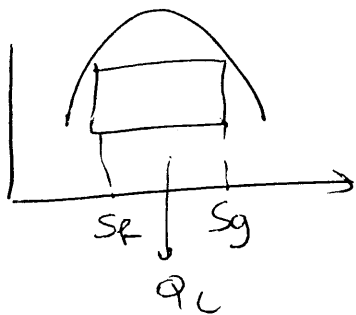
2257	(1)
1803.8	(2)
453.3	(3)
1436	(4)

$$\textcircled{1} Q_H = h_{fg} = 2257$$

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H} = \frac{W_{net}}{Q_H}$$

$$\rightarrow 1 - \frac{298.15}{373.15} = \frac{W_{net}}{2257}$$

$$W_{net} = 453.3$$



نکته ۲) از سطح زیرین Q_L بدست آید.

$$W_{net} = s_{fg} \times 75 =$$

$$75 \times 6.05 = 453.3$$

روابط ترمودینامیکی

$$du = \delta Q - \delta W$$

$$\text{rev: } \delta Q = Tds$$

$$\text{rev: } \delta W = p dv$$

$$\boxed{du = Tds - p dv}$$

این رابطه از ترکیب قانون اول و دوم ترمودینامیک برای سیستم‌های بسته است. برگشت پذیر بدست آمده است. اما برای سیستم‌های برگشت ناپذیر نیز از این رابطه می‌توانیم چون توابع u و v توابع نقطه‌ای هستند.

$$h = u + pv$$

$$\boxed{dh = Tds + v dp}$$

برای برگشت پذیر بدست آمده. برای برگشت ناپذیر هم کاربرد دارد.

گاز	فضا
-----	-----

سیستم قابلیت تولید کار دارد و کاری نیز آن گرفته می‌شود. می‌توانیم سیستم را به وسیله یک پیستون بگردانیم. مدار کار بسته زمان است که برگشت پذیر باشد.

$$Pdv = \delta W + \delta W'$$

کار هدر رفتن تولیدی (کاری که به اواسط می‌دهند). تولید کنند (یعنی کار) جمع هدر رفته و تولیدی هدر رفته قابل شایسته مدار کار تولیدی است. (بدون برگشت)

تولید شده	هدر رفته
0	100
50	50
100	0

$$ds = \frac{1}{T} [du + p dv]$$

$$= \frac{1}{T} [du + \delta W + \delta W']$$

$$ds = \frac{1}{T} [du + \delta w + \delta w']$$

$$ds = \frac{1}{T} [(\delta Q - \delta w) + \delta w + \delta w']$$

$$ds = \frac{\delta Q}{T} + \frac{\delta w'}{T}$$

رگانه $\delta w'$ همواره + است .

$$ds > \frac{\delta Q}{T} \rightarrow \text{در دینامیک بزرگشت ناپذیر}$$

$\delta w' = 0$ در حالت برگشت ناپذیر .

ds در بزرگشت ناپذیر در $\frac{\delta Q}{T}$ در همان مسیر بزرگشت ناپذیر بیشتر است
برای افزایش آنترولی سیستم چه راه های پیشنها می کنند :

- (۱) به سیستم گرمای دهیم .
- (۲) ~~سیستم را در مسیر بزرگشت ناپذیر~~ در $\delta w'$ (از زیر می کشیم) .

* نوع کاهش بیافزای راه های نیست (چون با آسان کردن توان کاهش داد)
برای کاهش آنترولی :

* فقط یک راه وجود دارد : داریت به نحوی از سیستم بیرون برود یعنی Q منفی

یا شد و نه +
* (راه عملی $\delta w'$ توان کم کرده یا آسان کردن کارهای عملی) .

محاسبه تغییرات آنترولی اصطلاح : * لازم نیست به جدول بنویسیم چون $P(T, V, P) = P(T, V, P)$ یعنی خود T, V, P در جدول می شود .

$$S = S(T, P)$$

$$ds = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dP$$

$$dh = Tds + Vdp \quad \text{فشار ثابت}$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P \rightarrow C_p = T \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = C_p$$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_p}{T}$$

شاید خطا ۸۵ بر سنی ST روی خط ثابت فشار C_p است

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P = \frac{C_P}{T}$$

$$= \frac{1}{\delta C_V}$$

نوع:

رابطه خطی بین S و T روی خط ثابت P است: $\frac{C_P}{T}$

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P dT + \left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T dP$$

$$dS = \frac{C_P}{T} dT - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP$$

اگر V بر حسب T رابطه نوشته شود از این رابطه استفاده شود.

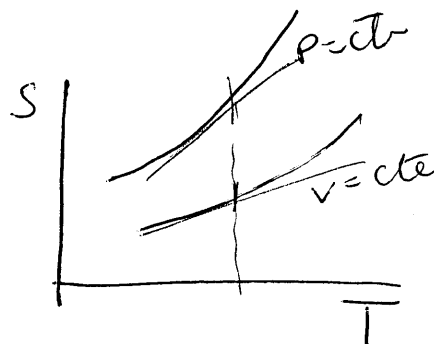
$$S = S(T, V)$$

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T dV$$

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_V}{T} \\ \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V = C_V \end{cases}$$

شماره ۱
رابطه S و T روی خط
خط ثابت V است: $\frac{C_V}{T}$

$$\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V < \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P$$



$$dS = \frac{C_V}{T} dT + \left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V dV$$

آزیتان P را بر حسب T نوشت از این رابطه استفاده می‌کنیم

ت) $P(V-b) = RT$ به وی می‌دهد.

این گاز در دو حالت (P_1, V_1) و (P_2, V_2) به شریک شغلی

در یک تغییرات ترمودینامیکی کار برابر است با

- 1) $RT \ln \frac{P_1}{P_2}$
- 2) $RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$
- 3) $R \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$
- 4) $R \ln \frac{V_1 - b}{V_2 - b}$

RT و با انرژی است نه انرژی
پس کسب کار است.

$$P(V-b) = RT$$

$$P = \frac{RT}{V-b} \rightarrow dS = \frac{R}{V-b}$$

$$\Delta S = R \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$$

$$\Delta S = R \ln \frac{P_1}{P_2}$$

توجه: RT ولتاژی یعنی می‌تواند برای ΔS باشد. پس گزینه اول و دوم با هم منطبق است.
 نت: کاری از معادله ولتاژ و الکترون بیرون می‌دهد تغییر آنتروپی این گاز را می‌تواند از معادله
 از شرایط اولیه P_1, V_1 به شرایط P_2, V_2 برآورد کرد.
 ف: رابطه را بیان کند $(P + \frac{a}{V^2})(V-b) = RT \rightarrow P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}$
 این رابطه هم استفاده کنیم $\rightarrow dS = \frac{R}{V-b} dV \rightarrow \Delta S = R \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b}$
 محاسبه تغییرات آنتروپی گازهای ایده‌آل

$$dS = C_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P dP$$

$$dS = C_v \frac{dT}{T} + \left(\frac{\partial P}{\partial T} \right)_V dV$$

$$\boxed{PV = RT} \rightarrow \text{از هر دو رابطه:}$$

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

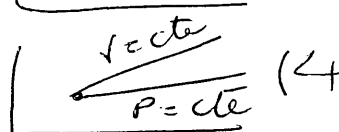
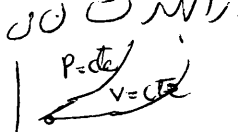
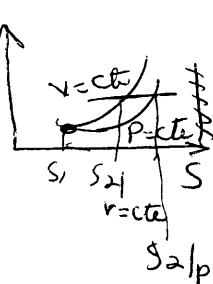
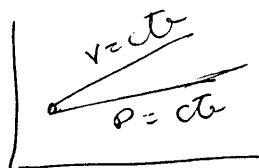
$$\Delta S = C_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{V_2}{V_1}$$

در حالت کلی
 دیکه ها $\frac{T}{C_p}$ و $\frac{T}{C_v}$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial S} \right)_V = \frac{T}{C_v}$$

$$\left(\frac{\partial T}{\partial S} \right)_P = \frac{T}{C_p}$$

اما کارایی آن را از دمای اولیه T_1 یک بار به شکل مستقیم و یک بار
 به شکل ف: رابطه دمای T_2 هم می‌توانیم که از گزینه‌های زیرمانی T_2
 دوفایده را بدست می‌آوریم.



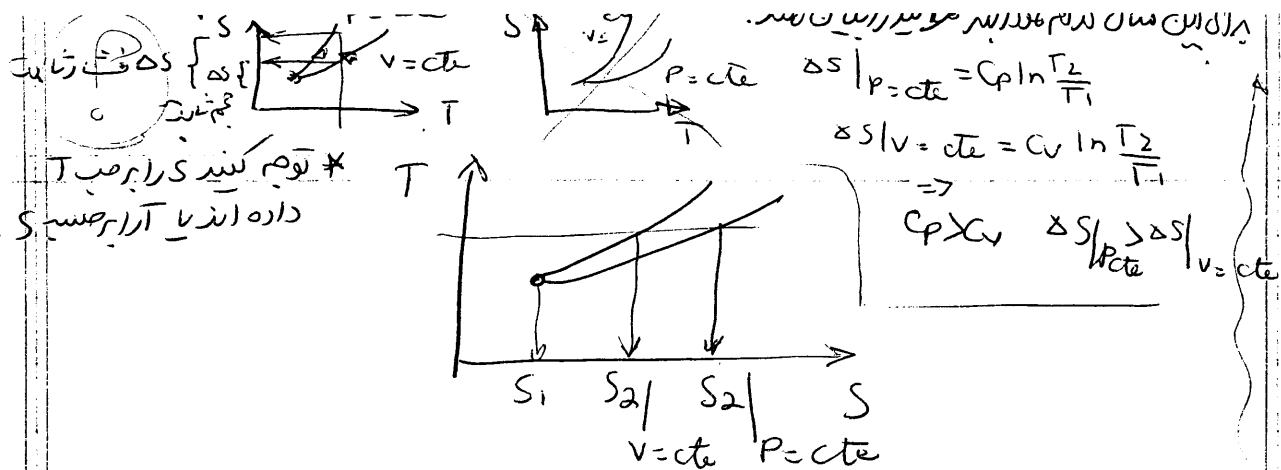
$$\Delta S|_{v=cte} = C_v \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S|_{P=cte} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1}$$

در آت
 یون

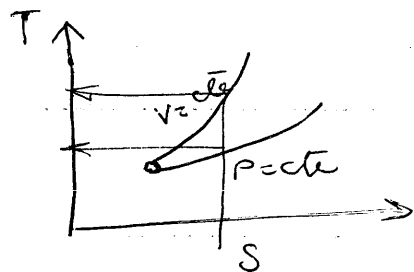
$$\Delta S|_{P=cte} > \Delta S|_{v=cte}$$

گزینه ۷ و ۸ خطی هستند و ما نداریم.



اما از این مان را که درهای اولی از قرار دار یک در می فشارند و یک در می جمع ثابت طوری صارت می دهیم که تغییر آن ترقیه در می یک نباشد که امیک زرنگ، بند های زیر صیغی می باشد:

- ۱) دمای نهایی خواصی که ثابت از دمای نهایی جمع شده بیشتر است.
 ۲) " " " " کمتر است.
 ۳) تک ن است.
 ۴) به همین طرز دارد.
-



* اگر کسی کو

$$\Delta S|_{p=\text{cte}} = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} \quad \Rightarrow \quad T_2' > T_2$$

$$- \Delta S|_{v=\text{cte}} = C_v \ln \frac{T_2'}{T_1}$$

تَضَيِّرُ النَّارُ فِي مَا بَيْنَ عَيْنَيْهَا

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp$$

$$ds = C_v dT + \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v dv$$

صورت اولی که می بینیم
= کوپل است.

$$\frac{1}{V} \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \beta$$

$$C_p \approx C_v = C \quad \text{: Under condition}$$

$$ds = C \frac{dT}{T}$$

۴۹

$$\Delta S = C \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = m C \ln \frac{T_2}{T_1}$$

۰.۵ کیلوگرم از یک مایع با دمای اولیه T_1 را با ۰.۵ کیلوگرم از همان مایع در دمای T_2 در دافیل یک ظرف عایق مخلوط می‌کنیم. اگر ظرفیت حرارتی مایع را C در نظر بگیریم تغییر آنتروپی سیستم برابر خواهد بود با: (به شرط آنکه مخزن اتماس عایق باشد و به آن استتار باشد).

$$1) C \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{2(T_1 T_2)^{1/2}}$$

$$\checkmark 2) C \ln \frac{T_1 + T_2}{2(T_1 T_2)^{1/2}}$$

$$3) C \ln \frac{(T_1 + T_2)^2}{2 T_1 T_2}$$

$$4) C \ln \frac{T_1 + T_2}{2 T_1 T_2}$$

$$\Delta S_{\text{کل}} = \Delta S_1 + \Delta S_2$$

۰.۵ کیلوگرم اول ۰.۵ کیلوگرم دوم (مایع سرد)

$$\Delta S_1 = m_1 C \ln \frac{T_e}{T_1}$$

$$\Delta S_2 = m_2 C \ln \frac{T_e}{T_2}$$

$$T_e = \frac{m_1 C_1 T_1 + m_2 C_2 T_2}{m_1 C_1 + m_2 C_2} \quad \text{نقطه میانی}$$

$$T_e = \frac{m_1 C_1 T_1 + m_2 C_2 T_2}{m_1 C_1 + m_2 C_2}$$

$m_1 + m_2 = 1 \text{ kg}$

$$T_e = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$\Delta S_1 = m_1 C \ln \frac{T_e}{T_1} = \frac{1}{2} C \ln \frac{T_1 + T_2}{2 T_1}$$

$$\Delta S_2 = m_2 C \ln \frac{T_e}{T_2} = \frac{1}{2} C \ln \frac{T_1 + T_2}{2 T_2}$$

$$T_e = \frac{T_1 + T_2}{2}$$

$$\Delta S = C \left[\ln \left(\frac{T_1 + T_2}{2 T_1} \right)^{1/2} + \ln \left(\frac{T_1 + T_2}{2 T_2} \right)^{1/2} \right]$$

$$\Delta S = C \ln \frac{T_1 + T_2}{2(T_1 T_2)^{1/2}}$$

توسط است

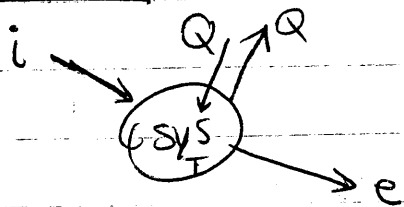
$$= C \ln \frac{T_1 + T_2}{2(T_1 T_2)^{1/2}}$$

نوع : ΔS فقط تفاوت دو سیستم است.

۳۰

فراآیندهای با تغییر فاز ← برآشت پذیر دلفی

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{\Delta H_{vap}}{T}$$

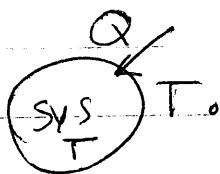
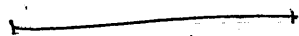


$$\Delta S_{sys} = m_2 s_2 - m_1 s_1$$

$$\Delta S_{surr} = m_e s_e - m_i s_i - \frac{Q}{T_0}$$

$$\Delta S_{surr} = m_e s_e - m_i s_i + \frac{Q}{T_0}$$

$$\Delta S_{sys} = (m_2 s_2 - m_1 s_1) + (m_e s_e - m_i s_i + \frac{Q}{T_0}) \geq 0$$



$$T_0 > T$$

$$\begin{cases} \Delta S_{surr} = -\frac{Q}{T_0} \\ \Delta S_{sys} \geq \frac{Q}{T} \end{cases}$$

چون دما و فشار تغییر نمی‌کند
فرض می‌کنیم که یک فراآیند برگشت پذیر وجود دارد
(بین حالت اول و دوم) باز که همین مقدار را می‌گیرد

$$\Rightarrow \Delta S_{sys} + \Delta S_{surr} \geq Q \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

لحد افزایش آنتروپی

$$\Delta S_{sys} + \Delta S_{surr} \geq 0.0$$

$$\Delta S_{tot} \geq 0.0 : \text{جمع تغییرات آنتروپی سیستم}$$

یک فراآیند همواره در حالتی شکل می‌گیرد که مجموع تغییرات آنتروپی سیستم و محیط بزرگتر از صفر باشد.
فراآیندی قابل انجام است که مجموع تغییرات آنتروپی سیستم و محیط بزرگتر یا مساوی صفر باشد.
لحد افزایش آنتروپی سیستم و محیط

مساوی: $\Delta S_t \geq 0.0$ برگشت پذیر و نامساوی برای خوانند برگشت ناپذیر.

اگر سیستم ^{ایزوله} عایق (عایق): $\Delta S_{surr} = 0$ (خوانند آدیباتیک).

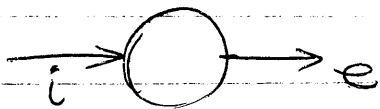
اگر سیستم عایق باشد: $\Delta S_{sys} \geq 0.0$ یعنی سیستم خوانند آدیباتیک و برگشت ناپذیر. همواره آنتروپی سیستم افزایش می یابد.

$$\Delta S_{sys} \geq 0.0 \rightarrow \Delta S_{sys} > 0$$

آدیباتیک رورسبل $\Delta S_{sys} = 0$ (ایزنتروپیک)

$$(m_e S_e - m_i S_i \pm \frac{Q}{T_0}) + (m_2 S_2 - m_1 S_1) \geq 0.0$$

$$\Delta S_{surr} + \Delta S_{sys} \geq 0.0$$



* اگر حالت پایدار باشد $\Delta S_{sys} = 0$: Steady state

$$m_e S_e - m_i S_i \pm \frac{Q}{T_0} \geq 0$$

اگر آدیباتیک هم باشد:

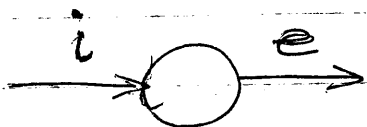
$$m_e S_e - m_i S_i \geq 0$$

$$S_e \geq S_i$$

در خواننده های جریان در حالت پایدار: $S_e \geq S_i$ که اگر برگشت ناپذیر باشد $S_e > S_i$ و اگر برگشت پذیر باشد $S_e = S_i$

۳۱

(۴۶) محاسبه کار در فرآیندهای جویان دار :



(۴۷) ۱) آبیاب تک سوری و ریزید
(ایزوتروپیک)

$$Q + h_i = h_e + w + \overset{\text{steady state}}{u_2 - u_1}$$

$$\boxed{w = h_i - h_e}$$

$$dh = T ds + v dp$$

$$h_i - h_e = 0 + \int_e^i v dp$$

$$\boxed{w = - \int_i^e v dp}$$

(۲) ایزوتروپیک، ریزید :

$$w = h_i - h_e + Q$$

$$w = h_i - h_e + T(s_e - s_i)$$

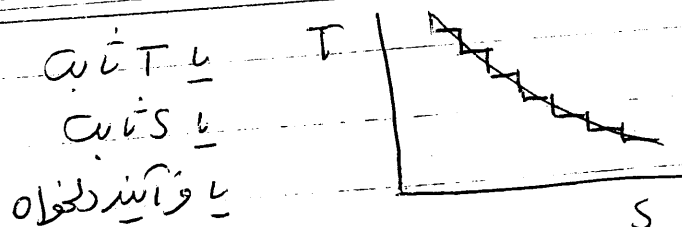
$$dh = T ds + v dp$$

$$h_i - h_e - T(s_i - s_e) = \int_e^i v dp$$

$$\boxed{w = - \int_i^e v dp}$$

این روابط برای فرآیندهای برگشت پذیر هم استفاده کرد چون تمام توابعی که در اثبات به کار بردیم توابع نقطه ای هستند و برای تمام فرآیندها نه فقط این یعنی $dh = T ds + v dp$ برای هم برگشت پذیر و نابرجه صدق است. (دو مورد کاربرد دارد)

توجه : در یک فرآیند آبیاب تک سوری $w = \Delta u$ ولی می توان نیمه گشت برای فرآیند w تابع نقطه ای است.



تیم: اگر بازگشت ناپذیر باشد شرایط شایع مانند شرط دلیک تا نویص صحت برشت پذیرگی نور
هر فرآیند را می توان بصورت مجموع ۵۵ از این ویرمان ریورسین و آنتیپاتیک
ریورسین نوشت. ~~م~~ پشت سرهم و چون رابطه δ :

$$\omega = \int_1^2 v dp$$

برای فرآیندهای آنتیپاتیک ریورسین و این ویرمان ریورسین برقرار است
بنابراین برای تمام فرآیندها برقرار است

چه شدت پذیر و هم برشت ناپذیر چون δ و δ با حالت هستند

مثال: یک کیلومتر آب را از فشار 100 kPa به فشار 1 MPa
می رسانند اگر راندمان این ویر و یک این کی 80% باشد توان
مصرفی این کی چقدر است kW چقدر خواهد بود.

$$\omega = - \int_1^2 v dp$$

$$\omega = -v (P_e - P_i)$$

که برای حالت ثابت

$$\omega = -0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} (1000 - 100) \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\omega = -0.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

چون کی کار مصرف می کند

فقیر بدست آمده

$$\omega = -0.9 \times \frac{1000 \text{ kg}}{60 \text{ s}} = \frac{900}{60}$$

$$\boxed{\omega = -15 \text{ kW}}$$

۳۱'

یک مپ آب را از فشار ۰.۱ Mpa تا ۱ Mpa متر اکم می‌نند اگر رانندگی این نیروی ۵۰٪ و یک در هر ثانیه ۱ m³ آب را منتقل کنند طول معبر می‌باشد و مقدار رانندگی؟

$$w = - \int_i^e v dp = -v (P_e - P_i) \rightarrow W = -0.001 \frac{m^3}{kg} \times 1000 \frac{kN}{m^2} =$$

لحجم ویژه ثابت در نظر گرفته شده

$$= -1 \frac{kJ}{kg}$$

آهن متغیر کار مصرف می‌نند.

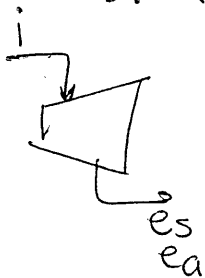
$$W = -1 \frac{kJ}{kg} \times 1000 \frac{kg}{Sec}$$

$$W = -1 MW = -1000 kW$$

$$\eta = \frac{W_s}{W_a} \rightarrow 0.5 = \frac{-1000 kW}{W_a} \rightarrow W_a = -2000 kW$$

مثال: یک کپرسور هوا را در دمای 300 K و ۱ Mpa دریافت کرده و فشار 3 Mpa می‌کند اگر رانندگی این نیروی یک کپرسور ۷۵٪ باشد دمای هوای خروجی از کپرسور در حالت واقعی با فرض گاز ایده‌آل برابر است با: $k_{hوا} = 1.4$

490 K (4) 480 K (3) 458 K (2) 410 K (1)



$$\eta = \frac{W_s}{W_a}$$

$$Q + h_i = h_e + W$$

* توجه: در حالت بازگشت ناپدید بار هم
آبیاییک هست. و در بازگشت ناپدید
است. (این نیروی است).

$$W_s = h_i - h_{es}$$

$$W_a = h_i - h_e$$

حالت واقعی

$$0.75 = \frac{h_i - h_{es}}{h_i - h_{ea}} = \frac{T_i - T_{es}}{T_i - T_{ea}}$$

$$\frac{T_e}{T_i} = \left(\frac{P_e}{P_i} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} = (3)^{\frac{0.4}{1.4}} \rightarrow T_{es} = 410.11 K$$

$$0.75 = \frac{300 - 410.11}{300 - T_{ea}} \rightarrow T_{ea} = 458 K$$

۱۰۱

یک کره فلزی به جرم 100 kg و ظرفیت گرمایی $4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ در درون یک محفظه 600 K قرار دارد در داخل محفظه بزرگ آب انداخته می شود تغییر آنتروپی سیستم و تغییر آنتروپی محفظه را می بیند. محفظه در دمای 27°C می باشد.

$$\Delta S = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S = 100 \times 4 \times \ln \frac{300}{600}$$

T_e دمای محفظه است چون محفظه بزرگ است.

$$\Delta S_{\text{sys}} = 400 \times (-0.69) = -276 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{\text{محیط}} = \frac{Q_{\text{گرمایی که از محفظه خارج می شود}}}{T_{\text{محیط}}} = \frac{100 \times 4 \times (300)}{300} \rightarrow (600 - 300)$$

$$= +400 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

جریان باشد $2 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ و با آنتروپی $2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ با جریان باشد $5 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$ و آنتروپی $4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ در داخل یک ظرف مخلوط می گردد. اگر انتقال حرارت از سیستم به محیط $30 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$ در هر ثانیه باشد آنتروپی جریان خروجی به محض $\frac{\text{kJ}}{\text{K}}$ چه در خواهد بود. (دما 27°C * اگر دمای محیط را ندانند: 25°C در نظر بگیرند).

فرآیند را برگشت پذیر فرض می کنیم. ΔS_{Steady}

$$\Delta S_{\text{sys}} + \Delta S_{\text{surr}} = 0$$

$$m_e s_e - m_i s_i + \frac{Q}{T} = 0$$

$$7 s_e - [(2 \times 2) + (5 \times 4)] + \frac{30}{300 \text{ K}} = 0$$

$$7 s_e = 23.9 \rightarrow s_e = \frac{23.9}{4} \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

۳۲

۱۸۱ پمپ، کمپرسور و مصرف کننده ها :

$$\eta = \frac{W_s}{W_a}$$

یعنی در حالت واقعی بیشتر مصرف می کنند در مخزن می تولیدیم تا کمتر از یک شود.

توربین و یا تولید کننده بزرگ :

$$\eta = \frac{W_a}{W_s}$$

$$0.8 = \eta = \frac{15}{W_a}$$

در این مثال :

$$W_a = \frac{150}{0.8} = 18.75 \text{ kw}$$

$$W = \int_0^L v dp$$

له حجم و شش

$$v^{(a)} < v^{(e)}$$

$$W_{\text{توربین و کمپرسور}} < W_{\text{پمپ}}$$

له چون با گازها سر و کار دارند

$$W_{\text{توربین}} < W_{\text{کمپرسور}}$$

توربین کار را تولید می کند و مقداری در سیکل به کمپرسور می دهد. و اقتصاد کار خاص سیکل را بدست می دهد.

$$W_{\text{پمپ}} > W_{\text{کمپرسور}} > W_{\text{توربین}}$$

نت (کازی دیک پروسور قتر اکم می شود و ایند تراکم به خوبی صند
فکر رک

$$PV^n = cte$$

کار فاینده حساب کنید:

شرط
۱: ورودی و خروجی در شرایط ضریبی می باشد.

$$\frac{n}{n-1} (P_e V_e - P_i V_i) \quad (2) \quad - \frac{n}{n-1} (P_e V_e - P_i V_i) \quad (1)$$

$$\frac{P_e V_e - P_i V_i}{n-1} \quad (4)$$

$$\frac{P_e V_e - P_i V_i}{1-n} \quad (3)$$

(*) 4 که مساوی است.

$$PV^n = C$$

$$W = - \int_i^e v dp$$

$$P = C v^{-n}$$

$$dp = -n C v^{-n-1} dv$$

$$W = - \int_i^e (-n) C v^{-n-1} \cdot v \cdot dv$$

$$W = n C \int_i^e v^{-n} dv$$

$$W = \frac{n C}{-n+1} [v_e^{1-n} - v_i^{1-n}]$$

$$C = P_e v_e^n = P_i v_i^n$$

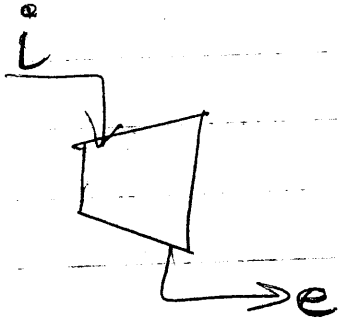
$$W = \frac{n}{-n+1} [P_e v_e - P_i v_i]$$

$$W = \frac{-n}{n-1} (P_e v_e - P_i v_i)$$

۳۳

یک کمپرسور هوا دارد ۱ MPa و 300 K رفته و با 3 MPa و 75٪ بازگشت
 به کمک فن کند اگر رانندگی این کمپرسور یک کیلو وات باشد
 هوای فویل از کمپرسور به سبب کترین به برآید:

$$\begin{array}{ll} 411 & (1) \\ 457 & (3) \\ 350 & (2) \\ 487 & (4) \end{array}$$



$$\eta = \frac{W_s}{W_a}$$

$$\textcircled{\times} + h_i = h_{es} + W_s$$

آسانترین

$$W_s = h_i - h_{es}$$

در واقع: آسانترین

$$W_a = h_i - h_{ea}$$

ریورید

$$\eta = \frac{W_s}{W_a} = \frac{C_p(T_i - T_{es})}{C_p(T_i - T_{ea})}$$

$$0.75 = \frac{300 - T_{es}}{300 - T_{ea}}$$

$$\frac{T_{es}}{300} = \left(\frac{3}{1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \gamma = 1.4$$

$$T_{es} = 411 \text{ K}$$

$$\rightarrow T_{ea} = 458 \text{ K}$$

یک گاز ایده آل طی یک فرایند از فشار P_1 تا فشار P_2 متغیر در یک
به نحوی بسک که دمای آن تغییر نکند

$$PV^{1.2} = \text{cte}$$

اگر $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1.4$ باشد کدامیک از فرمولهای زیر در مورد این گاز
صحیح است:

- (۱) آنتروپی این گاز افزایش می یابد.
- (۲) ✓ کاهش می یابد.
- (۳) تغییر آنتروپی گاز صفر است.
- (۴) نیاز به اطلاعات بیشتری داریم.

$$\Delta S = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

$$\Delta S = C_p \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

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

$$\Delta S = \left[\left(\frac{R\gamma}{\gamma-1} \right) \left(\frac{n-1}{n} \right) - R \right] \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\Delta S = \left[R \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \right] \left[\frac{\gamma(n-1) - n(\gamma-1)}{n(\gamma-1)} \right]$$

$$\Delta S = \frac{R[n-\gamma]}{n(\gamma-1)} \ln \left(\frac{P_2}{P_1} \right)$$

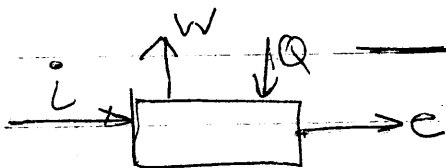
$$\ln \frac{P_2}{P_1} > 0 \quad \text{و} \quad R > 0 \quad \text{و} \quad \gamma - 1 > 0$$

$$n > \gamma \rightarrow \Delta S > 0$$

$$n < \gamma \rightarrow \Delta S < 0$$

۳۴

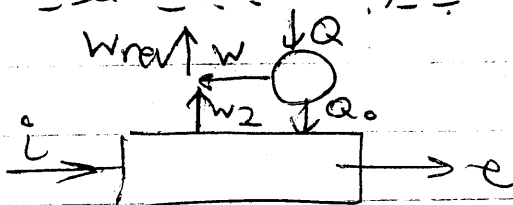
قابلیت کاردهی و بازگشت ناپذیری :



$$Q + m_i (h_i + u) = w_{c.v.} + m_e (h_e + u) + m_2 (u_2 + u) - m_1 (u_1 + u)$$

$$\Rightarrow w_{c.v.} = Q + m_i (h_i + u) - m_e (h_e + u) - m_2 (u_2 + u) + m_1 (u_1 + u)$$

می‌خواهیم انتقال Q برگشت پذیر باشد بنابراین داریم موتور حرارتی کارنو :



اگر فرض کنیم تمام خواصی سیستم و انتقال حرارت برگشت پذیر باشد (لازم است این باشد که) باید انتقال حرارت از محیط به سیستم توسط یک سیل کارنوس صورت بگیرد. در این حالت کاری که سیستم تولید می‌کند از حالت قبل بیشتر است حال اگر مقدار کار تولیدی را با w_{rev} نشان دهیم می‌توانیم بنویسیم :

بازگشت ناپذیری $I = W_{rev} - W_{c.v.}$: Irreversibility

اضافه کاردهی واقعی کاردهی سیستم برگشت پذیر

می‌توان ثابت کرد کار برگشت پذیر در رابطه :

T_0 : دمای محیط

$$W_{rev} = m_i (h_i - T_0 S_i + E_{pi} + E_{ki}) - m_e (h_e - T_0 S_e + u) + m_1 (u_1 - T_0 S_1 + u) - m_2 (u_2 - T_0 S_2 + u)$$

همه درجه در $Q = T_0 \Delta S$ معادله ساده می‌شود: چون دمای برگشت پذیر است

نتیجه: کار برگشت پذیر سیستم تابعی از دمای محیط است.

قانون اول

$$W_{c.v.} = m_i(h_i + u_i) - m_e(h_e + u_e) + m_1(u_1 + u_i) - m_2(u_2 + u_i) + Q$$

$$I = W_{rev} - W_{c.v.}$$

$$I = T_0 \left(S_2 - S_1 + S_e - S_i - \frac{Q}{T_0} \right)$$

بقیه آم ها
W_{rev} و W_{c.v.}
با هم ساده و شوند و این
آنها باقی میماند.

$$= T_0 \left(\Delta S_{sys} + \Delta S_{surr} \right)$$

$$I = T_0 \left(m_2 s_2 - m_1 s_1 + m_e s_e - m_i s_i - \frac{Q}{T_0} \right)$$

$$I = T_0 (\Delta S_t) \Rightarrow I \geq 0$$

اگر آنتروپی بازگشت پذیر باشد: $I = 0$

ناپذیر: $I > 0$

توجه: کارگرفته شده خط بازگشت ناپذیر به سیستم است و در I محیط هم دقت دارد.
مثال: یک مخزن به حجم V₁ و دمای T₁ و فشار P₁ در یک مخزن متصل است به یک مخزن خالی و بزرگ به حجم V₂. یک قطعه شیر را با دو مخزن را باز می کنیم تا گاز از مخزن دوم منبسط شود مقدار بازگشت ناپذیری در این فرایند:

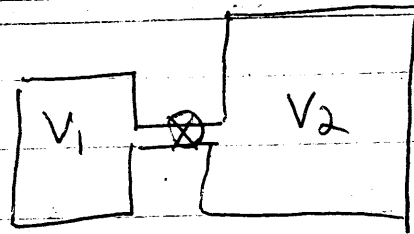
$$\frac{P_1 V_1 T_1}{T_1} \ln \frac{V_2 + V_1}{V_1} \quad (3)$$

$$\frac{P_1 V_1 T_1}{T_0} \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (4)$$

$$\frac{P_1 V_1 T_1}{T_0} \ln \frac{V_2 + V_1}{V_1} \quad (1)$$

$$\frac{P_1 V_1 T_0}{T_1} \ln \frac{V_2}{V_1} \quad (2)$$

۳۵



$$I = T_0 \left[\cancel{S_e} - S_i + S_2 - S_1 - \frac{Q}{T_0} \right]$$

خورد و فرو بردیم.
حرکت دوم بزرگ و فانی ← یعنی کار سریع وارد V_2 شده و فرصت انتقال حرارت ندارد ← آنتروپیک

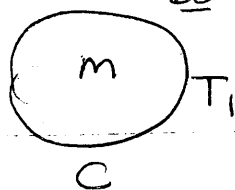
$$I = T_0 (S_2 - S_1) = T_0 \left[C \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right) \right]$$

$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 0 \rightarrow \Delta T = 0$
انبساط آزاد

$$I = T_0 R \ln \frac{V_1 + V_2}{V_1}$$

$$I = \frac{P V_1 T_0}{T_1} \ln \frac{V_2 + V_1}{V_1}$$

یک گره اکونشیر به دمای اولیه T_1 و جرم m و ظرفیت گرمایی C در محیط به دمای T_0 قرار داده می شود تا با محیط به تعادل برسد مقدار بازشت انیترجی را حساب کنید. (برای استواری شود) $T_1 > T_0$



$$I = T_0 [\Delta S_{sys} + \Delta S_{surr}]$$

$$I = T_0 \left[m c \ln \frac{T_0}{T_1} + \frac{m c (T_1 - T_0)}{T} \right]$$

$$I = m c T_0 \left[\ln \frac{T_0}{T_1} + \left(\frac{T_1}{T_0} - 1 \right) \right]$$

$$I = W_{rev} - W_{cv} \quad \text{در این مثال:}$$

بنابر این در حالتی که W_{cv} نداریم $I = W_{rev}$ یعنی حجم بصورت بالقوه توانایی تولید این مقدار کار را دارد.
حسابه دوم نشانی:

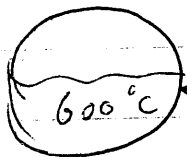
$$W_{rev} = \sum m_i \left(h_i - T_0 s_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) - \sum m_e \left(h_e - T_0 s_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) + m_1 \left(u_1 - T_0 s_1 + \frac{V_1^2}{2} + g z_1 \right) - m_2 \left(u_2 - T_0 s_2 + \frac{V_2^2}{2} + g z_2 \right)$$

حالت اول:

$$W_{rev} = \sum m_i \left(h_i - T_0 s_i + \frac{V_i^2}{2} + g z_i \right) - \sum m_e \left(h_e - T_0 s_e + \frac{V_e^2}{2} + g z_e \right) \quad \text{سیستم باز و پایدار}$$

مدارک گازها که سیستم به دمای محیط برسد

- 1) 500°C
- 2) 400°C
- $\vdots$
- 100°C
- $\vdots$
- 25.000°C



$$\begin{array}{l} W_1 = 100 \text{ kJ} \quad (1) \\ W_2 = 200 \quad (2) \\ W_3 \quad \vdots \end{array}$$

بین سیستم های برگشت پذیر سیستمی وجود دارد که مدارک کارکن را تولید می کند برای اینکه این سیستم مدارک کار را تولید کند باید دما و فشار را تا نویم و نیم (درجه) دما و فشار محیط رسیده باشد همین طور انرژی پتانسیل و جنبشی نیز باید به حداقل مقدار خود برسد یعنی باید سرعت سیال در خروج به صفر برسد و مدلول ممکن که بتواند این چنین حالتی پیش آید کار تولیدی به مدارک می رسد که آنرا کار برگشت پذیر max می نامند.

max کار برگشت پذیر به ازای واحد را قابلیت کار دهنده می نامیم.

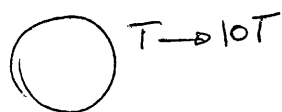
مدارک کار، زمان این کمیت را در سیستم به فشار محیط برسد

$$P = 103 \text{ kPa} \quad \text{لهیرونه}$$

با ازای افت غشای مختلف کارهای مختلف می گیریم

۳۵'

یک که آهنی به دمای T در محیط به دمای $18T$ قرار داده شود، دمای $10T$ گرم شود اگر
ظرفیت که را معلوم آنرا m فرض کنیم T را هم بسازیم :



$$\Delta S_{sys} = mc \ln \frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S_{sys} = mc \ln \frac{10T}{T}$$

$$\Delta S_{sys} = 2.3 mc$$

$$\Delta S_{surr} = \frac{-mc(9T)}{18T}$$

$$\Delta S_{surr} = -0.5 mc$$

$$I = T_0 \Delta S_E$$

$$I = T_0 (2.3 mc - 0.5 mc)$$

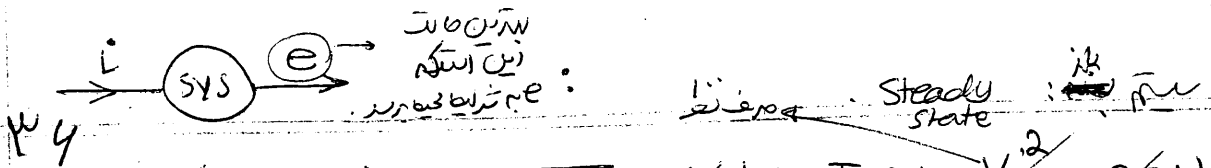
$$I = 1.8 mc T_0$$

$$I = W_{rev} - W_{d,v} = 1.8 mc T_0$$

توانی فایده‌گرفته‌شده

$$\rightarrow W_{rev} = 1.8 mc T_0$$

مداکثره توانی $1.8 mc T_0$ کارتوسیه کنیم ولی فاکاری
از نیمه ندرتیم (لازمه نظریه)



$$(W_{rev})_{max} = \sum m_i (h_i - T_0 S_i) + \frac{V_i^2}{2} + g z_i - \sum m_e (h_e - T_0 S_e + 0 + 0)$$

$$(W_{rev})_{max} = \sum m_i (h_i - T_0 S_i) - \sum m_e (h_e - T_0 S_e)$$

$$\frac{(W_{rev})_{max}}{m_i} = (h_i - T_0 S_i) - \sum m_e (h_e - T_0 S_e)$$

قابلیت کار
جریان ورودی

$$\psi_i = (h_i - h_0) - T_0 (S_i - S_0)$$

قابلیت کار
جریان خروجی

$$\psi_e = (h_e - h_0) - T_0 (S_e - S_0)$$

$$m_e \psi_e = m_e (h_e - h_0) - m_e T_0 (S_e - S_0)$$

$$m_i \psi_i = m_i (h_i - h_0) - m_i T_0 (S_i - S_0)$$

$$m_i \psi_i - m_e \psi_e = m_i (h_i - T_0 S_i) - m_e (h_e - T_0 S_e)$$

$$W_{rev} = m_i \psi_i - m_e \psi_e$$

کار برگشت پذیر

$$W_{rev} = \sum m_i \psi_i - \sum m_e \psi_e$$

توجه: $(W_{rev})_{max}$ با ψ_i و ψ_e ارتباطی ندارد و فقط با توانایی کار برگشت پذیر است و فقط در صورتی که شرایط ورودی و خروجی از شرایط مرزی e و i باشد.

کارگزارانِ نیکو سیرتِ بیدار

$$W_{rev} = m_1 (u_1 - T_0 s_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g) - m_2 (u_2 - T_0 s_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g)$$

زمان که سیستم به شرایط محیط برسد و $\frac{V_a^2}{2}$ و g منفی شود

$$W_{\text{rex}} = m_1(u_1 - T_0 S_1) - m_2(u_2 - T_0 S_2)$$

$$(W_{\text{rex}})_{\text{max}} = m_1(u_1 - T_0 S_1) - m_2(u_0 - T_0 S_0)$$

قابلیت کار در سیستم
مطالعت اولیه
(کار در سیستم باید کسر رود)

$$\frac{(W_{rev})_{max}}{m_1} = \Phi_1$$

(تسلسلگی در
مطالعه)

$$\Phi_1 = (u_1 - u_c) - T_0(s_1 - s_0)$$

این ص با دکنک به همراه کار و کوشش است و در بر زمین خورد یعنی جزو قابلیت کار در زمین
یعنی کار حاصل از این ص استم را با بدکم کرد.

کارناشی از این طوﺯهای یک سیم که مفید محسوب نمی رود بنا بر این در مجامع قابلیت کوهی سیم های این کار را از قابلیت کوهی کسر کنیم.

$$W = \int P_0 dv$$

$$W = P_0 (V_0 - V)$$

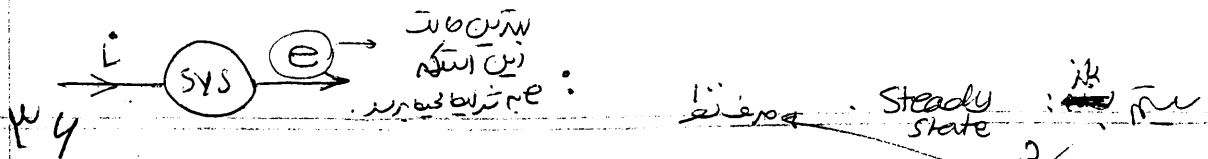
له فشا رحمت

$$\Phi_I = (u_1 - u_0) - T_0 (S_1 - S_0) - P_0 (V_0 - V_1)$$

لهم من نورهم $\bigcirc$ دلفن خزن در شریط صفا

$$z = (u_1 - u_0) - T_0 (S_1 - S_0) + P_0 (V_1 - V_0)$$

$$\Phi_L = (u_1 - u_c) + P_0 (V_1 - V_0) - T_0 (S_1 - S_0)$$



$$(W_{rev})_{max} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) + \frac{V_i^2}{2} + g z_i - \sum m_e (h_e - T_0 s_e + 0 + 0)$$

$$(W_{rev})_{max} = \sum m_i (h_i - T_0 s_i) - \sum m_e (h_e - T_0 s_e)$$

$$\frac{(W_{rev})_{max}}{\dot{m}_i} = (h_i - T_0 s_i) - \sum m_e (h_e - T_0 s_e)$$

قابلیت کار
جریان ورودی

$$\psi_i = (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0)$$

قابلیت کار
جریان خروجی

$$\psi_e = (h_e - h_0) - T_0 (s_e - s_0)$$

$$m_e \psi_e = m_e (h_e - h_0) - m_e T_0 (s_e - s_0)$$

$$m_i \psi_i = m_i (h_i - h_0) - m_i T_0 (s_i - s_0)$$

$$m_i \psi_i - m_e \psi_e = m_i (h_i - T_0 s_i) - m_e (h_e - T_0 s_e)$$

$$W_{rev} = m_i \psi_i - m_e \psi_e$$

کار برگشت پذیر

$$W_{rev} = \sum m_i \psi_i - \sum m_e \psi_e$$

توجه: $(W_{rev})_{max}$ با ψ_i و ψ_e ارتباطی ندارد زیرا اینها قابلیت کار برگشت پذیر را نشان می‌دهند و $(W_{rev})_{max}$ از شرایط فرعی e بر می آید.

کارایی ندر سیستم بسته :

$$W_{rev} = m_1 (u_1 - T_0 S_1 + \frac{V_1^2}{2} + Z_1 g) - m_2 (u_2 - T_0 S_2 + \frac{V_2^2}{2} + Z_2 g)$$

زمان که سیستم به شرایط محیطی برسد
 $(W_{rev})_{max} =$ و $\frac{V_2^2}{2}$ و Z_2 صفر باشد.

$$W_{rev} = m_1 (u_1 - T_0 S_1) - m_2 (u_2 - T_0 S_2)$$

$$(W_{rev})_{max} = m_1 (u_1 - T_0 S_1) - m_2 (u_0 - T_0 S_0)$$

قابلیت کار در سیستم
 معادله اولی
 (کار در سیستم باید کسر شود)
 $\frac{(W_{rev})_{max}}{m_1} = \Phi_1$

$$\Phi_1 = (u_1 - u_0) - T_0 (S_1 - S_0)$$

این ط با دقت به همراه کار در سیستم است و در بردار می شود یعنی جزء قابلیت کار در سیستم
 یعنی کار حاصل از این ط سیستم را باید کسر کرد.

کار ناشی از این ط انرژی های یک سیستم کار مفید محسوب نمی رود بنابراین در محاسبه
 قابلیت کار در سیستم های بسته این کار را از قابلیت کار در سیستم کسر کنیم.

$$W = \int P_0 dv$$

$$W = P_0 (V_0 - V_1)$$

لغو فشار محیط

$$\Phi_1 = (u_1 - u_0) - T_0 (S_1 - S_0) - P_0 (V_0 - V_1)$$

لغو حجم و دما و فشار محیط

$$= (u_1 - u_0) - T_0 (S_1 - S_0) + P_0 (V_1 - V_0)$$

$$\Phi_1 = (u_1 - u_0) + P_0 (V_1 - V_0) - T_0 (S_1 - S_0)$$

۳۹'

$$w_{rev} = (h_i - T_0 s_i) - (h_e - T_0 s_e) \\ + (u_1 - T_0 s_1) - (u_2 - T_0 s_2)$$

$$w_{rev} = m_i (h_i - T_0 s_i) - m_e \left(\underset{h_0}{h_e} - T_0 \underset{s_0}{s_e} \right)$$

$$(w_{rev})_{max} = m_i [h_i - T_0 s_i] - m_e [h_0 - T_0 s_0]$$

$$\frac{(w_{rev})_{max}}{m_i} = (h_i - T_0 s_i) - (h_0 - T_0 s_0)$$

در این کار، برگشت پذیری کمترین می شود به ازای ولد هم، (قابلیت کار هم می نامیم).

$$\psi_i = (h_i - T_0 s_i) - (h_0 - T_0 s_0)$$

$$\psi_e = (h_e - T_0 s_e) - (h_0 - T_0 s_0) \quad \text{برای جریان خروجی}$$

۳۷

اگر $T_0 = T_1$ باشد:

$$(W_{rev})_{max} = m_1(u_1 - T_0 s_1) - m_2(u_0 - T_0 s_0)$$

$$(W_{rev})_{max} = m_1(u_1 - T_1 s_1) - m_2(u_0 - T_0 s_0)$$

$$(W_{rev})_{max} = A_1 - A_2$$

در سیم به شرطی که

دما ی محیط برابر دمای

لوله سیم باشد

انرژی آزاد هولهوتز.

$$(W_{rev})_{max} = m_i(h_i - T_0 s_i) - m_e(h_0 - T_0 s_0)$$

اگر $T_i = T_0$

$$(W_{rev})_{max} = m_i(h_i - T_i s_i) - m_e(h_0 - T_0 s_0)$$

$$(W_{rev})_{max} = m_i g_i - m_e g_e = G_i - G_0$$

در سیم جریان دار به شرطی که $T_i = T_0$ باشد.

مثال: هوا با فشار 2 atm و دمای 600 K وارد یک سیم می شود
قابلیت کار در این جریان بر حسب $\frac{kJ}{kg}$ چقدر است؟ (دما ی محیط: 300 K)

$$\frac{(W_{rev})_{max}}{m_i} = (h_i - T_0 s_i) - (h_0 - T_0 s_0)$$

$$= (h_i - h_0) - T_0 (s_i - s_0)$$

$$= C_p (T_i - T_0) - T_0 [C_p \ln \frac{T_i}{T_0} - R \ln \frac{P_i}{P_0}]$$

$$u_i = 1.004 \frac{kJ}{kg \cdot K} (300) - 300 [1.004 \ln 2 - 0.286 \ln 2]$$

$$u_i = 300 - 300 (0.724 \ln 2)$$

که R دمای هوا

$\eta_i = \dots$ یعنی درجه حرارتی که از طریق کار تولید شود و Q_H هوای ورودی این مقدار

* توجه: C_p ، R و ... هم در این مدل در تعریف بازای و لغو جرم است.

سیکل ها:

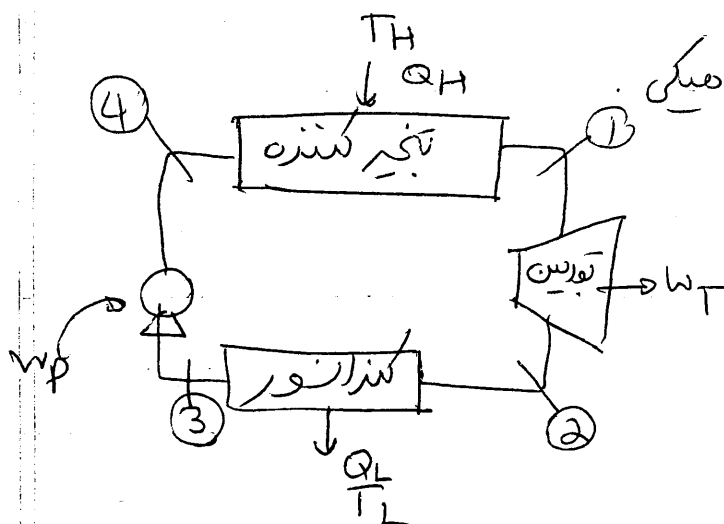
سیکل ها به دو دسته ترمودینامیکی و مکانیکی تقسیم می شوند.

سیکل ترمودینامیکی: سیکل که در آن سیال فعال فقط تغییر فیزیکی پیدا می کند
مثال: سیکل کارنو، رانکین

سیکل مکانیکی: سیکل که در آن سیال فعال علاوه بر تغییرات فیزیکی تغییرات شیمیایی هم پیدا می کند.
مثال: موتورهای احتراق داخلی، سیکل توربین گاز.

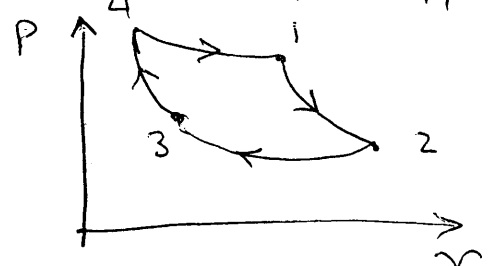
سیکل توانی و سیکل تبریدی:
سیکل توانی: سیکلی که گرما می گیرد و در قبال آن کار تولید می کند.

سیکل تبریدی: کار می گیرند تا گرما را از منبع سرد به منبع گرم منتقل کنند.



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

$$\eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{W_{net}}{Q_H}$$



در سیکل کارنو اشکالات زیر وجود دارد:

۱) ورودی به پمپ بجای مایع (اشباع مخلوط رزنجی رومایع اشباع است).
پمپ ها فقط برای انتقال مایعات بکار می رود.

۲) اشکال دوم به تبخیر کننده بر می گردد: در سیکل کارنو فوآسید تبخیر کننده این دو آرمال و ریورسین است چون دمای T_H همواره ثابت است پس باید دمای میان در داخل تبخیر کننده هم ثابت بماند تا افتداف نیوانسید دما همواره برقرار بوده و انتقال حرارت برگشت پذیر باشد. از طرف دیگر در داخل تبخیر کننده تعادل بخار و مایع هم وجود دارد پس وقتی دما ثابت بماند یعنی فشار داخل تبخیر کننده ثابت می ماند پس باید متناسب با مقدار حرارت دهنی (انتقال حرارت) دیگر بخار هم منبسط شود تا فشار ثابت بماند. عملاً ساخت چنین دستگاهی ممکن نیست.

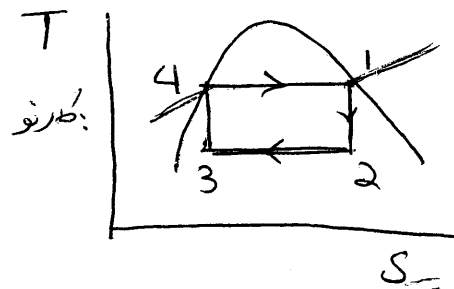
* ۱۳) شکل مشابه با دومی در کندانسور.

۱۴) بنابراین سیکل رانکین که اصلاح سیکل کارنو است و مشکلات سیکل کارنو در آن برطرف شده.

۱۵) سیکل رانکین سیکل ضیائی نیروگاه های بخار است.

در سیکل رانکین ورودی به پمپ مایع اشباع است.

در پمپ تراکم به شکل آدیاباتیک و ریورسین صورت می گیرد.



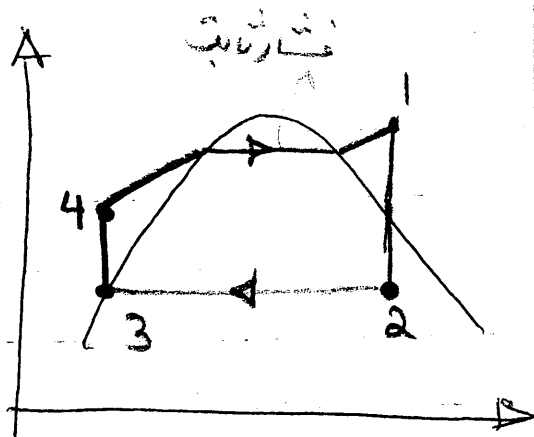
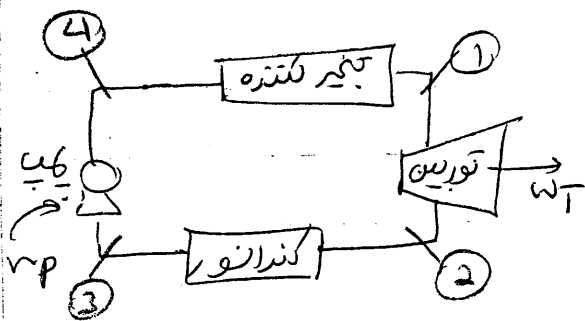
در سیکل رانکین تبخیر کننده در فشار ثابت کاری کننند این مسئله

اجازه می دهد که دمای میان را بتوان در دیگر بخار تمقدر زیاد

افزایش دادر بخار را به شکل Superheat در آورد

در توربین انبساط به شکل ایزنتروپیک صورت می گیرد.

فوآسید دفع حرارت در کندانسور به شکل فشار ثابت است. (که دما ثابت هم هست)



اگر فرآیندهای دما ثابت سیکل کارنو را
به فرآیندهای فشار ثابت تبدیل کنیم سیکل
کارنو به سیکل رانکین تبدیل می شود.

رائسین 2p و 2s

کارنو ۲۵، ۲۷

سیکس دانگین فیڈرلٹڈ عیدر

۴۴: روش های اخلاقی بارز و سبک زندگی:

۱۱ اگر دعای فعلی از ماضی (یا عودری به نتیجه گذشته) اخراش باید
راندمان اخراش ق باشد.

اگر دعای فوہی از تجہر کنندہ (ورودی بہ توربین) اخذ شد باید
رانندہان اخذ شدہ باشد.

الکعبه / فوجی (زمین) (یا وروں بہ تینہ کشتہ)

اگرچه در فروعی از بنی کتبه (و در وی به تفریس) در

(۲) اگر دعا یا غبار فروعی از توریسین (یا بوروری به کنذاغور) کاهش پیدا کند رانده مان سیکل رانگین اعتراض می باید.

اگر دعا یا خیار خرمی از کندنش (یا ورودی به پمپ) کاهش
یابد رانندمان سیکل را کمین افزارش بسلام کند.