Subject
Date

۱/

«پیشنام خلا»

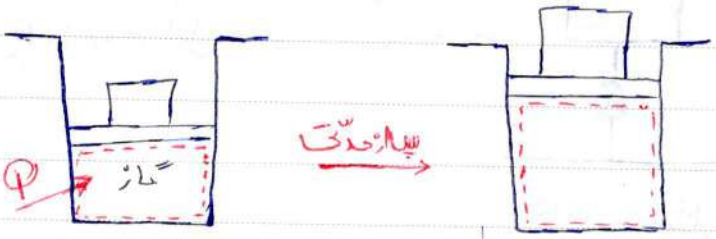
«ترمودینامیک»

قانون اول ترمودینامیک $Q - W = \Delta E$

سیستم (سیستم بسته): یک جرم مشخص یا یک مرز مشخص که در طول فرآیند از مرز

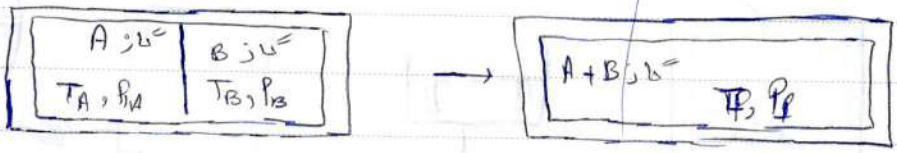
تعریف شده جرمی عبور نکند.

مثال ۱:



گاز به عنوان سیستم انتخاب شد.

مثال ۲:



گاز A را می توان در نظر گرفت (به عنوان سیستم) زیرا پس از مدتی جرمی

از مرز تعیین شده عبور کرده است و به همین دلیل B را می توان به عنوان سیستم در نظر گرفت.

پس گاز A و B را به عنوان سیستم در نظر می گیریم.

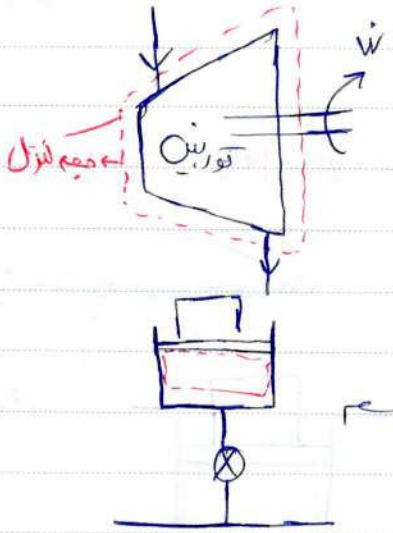
حجم کنترل: هر آنچه که خارج از مرز تعریف شده برای سیستم باشد

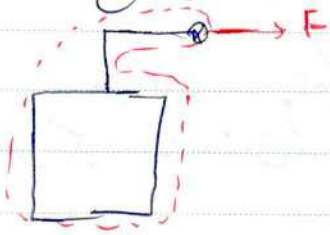
مواقعی که جریان جاری جرم را داریم ما تحلیل حجم کنترل انجام می دهیم. حجم کنترل

~~که جرم ثابت که حول زمان مورد تحلیل تعریف می شود~~

Subject
Date

و ورود و خروج جرم به حجم کنترل بلامانع است.



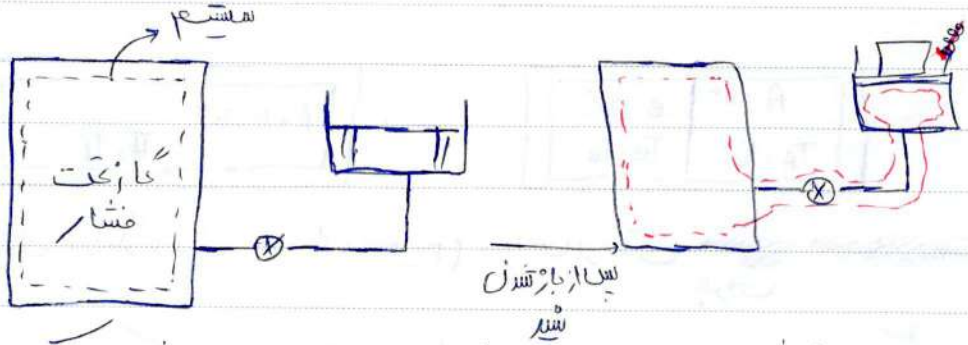


✓ سیستم با پیرامون فقط تأمل حرارتی و کاری دارد

امّا حجم کنترل با پیرامون هم تأمل حرارتی و کاری و هم جرمی دارد

خط لوله پرفشار

✓ پیرامون هر سیستم یک سیستم و پیرامون هر حجم کنترل یا حجم کنترل است.



شیر باز شدن باز هم سیستم است زیرا از ابتدا چیزی عبور نکرده است و فقط مرز تغییر شکل داده است.

وقتی در مثالی سیستم تحلیل می‌کنیم معادلات مربوط به سیستم و وقتی در مثالی حجم کنترل تحلیل می‌کنیم معادلات حجم کنترل را می‌نویسیم.

PqPCO

Subject
Date

۲

حالت ترمودینامیکی و خواص ترمودینامیکی :

حالت ترمودینامیکی در واقع وضعیت ترمودینامیکی ماده است با خصلتهایی به خواص ترمودینامیکی نامیده می‌شوند مشخص می‌کردد.

تقسیم‌بندی خواص ترمودینامیکی از نظر وابستگی به جرم:

- متغیر
- گسترده

یک خاصیت گسترده روی اجزای سیستم جمع پذیر است.

U انرژی کل = انرژی A + انرژی B

حجم، جرم، انتالپی، انتروپی S

یک خاصیت متمرکز جمع پذیر روی اجزا سیستم نیست

مانند دما، فشار، چگالی، حجم مخصوص

این دیگر مقداری نیست!

$v = \frac{V}{m}$ انرژی درونی مخصوص $\left[\frac{kJ}{kg}\right]$

$\bar{v} = \frac{V}{n}$ $\frac{kJ}{mol}$.

تقسیم‌بندی خواص ترمودینامیکی از نظر قابلیت اندازه‌گیری:

۱- قابل اندازه‌گیری به طور مستقیم: وسایل اندازه‌گیری مانند دماسنج، فشارسنج

T, P, V, m, ρ

وزن مخصوص $\rho = \frac{m}{V}$

۲- غیرقابل اندازه‌گیری به طور مستقیم: U, S, H ← وسایل اندازه‌گیری غیرمستقیم

P4PCO

Subject
Date

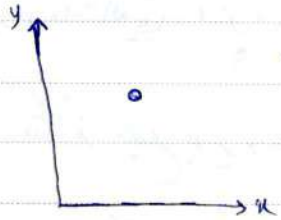
برای شناسایی حالت ترمودینامیکی ماده لازم است دو خاصیت ترمودینامیکی متمرکز مستقل از هم مشخص شود.

دو خاصیت ترمودینامیکی متمرکز از هم مستقل → حالت ترمودینامیکی → دیگر خواص مشخص می‌شود → $Z = Z(x, y)$

خواص وابسته

خواص وابسته: چگالی، انرژی درونی به هم وابسته هستند ← حالت را نمی‌توان تغییر کرد.

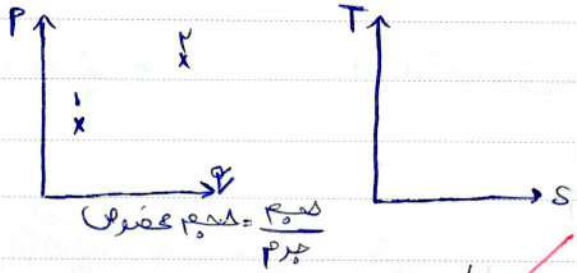
خواص ها ی دیاگرام:



هر نقطه نشان دهنده یک حالت ترمودینامیکی است.

x, y ← دو خاصیت متمرکز هستند

خط مثال دیگر:



تعادل ترمودینامیکی: یک سیستم در شرایط تعادل ترمودینامیکی است در صورتی که با ایزوله شدن (قطع تعامل کاری و حرارتی با پیرامون) هیچ گونه تغییراتی در خواص ترمودینامیکی قابل اندازه گیری نقاط درونی سیستم به وقوع نپیوندد.

شامده نشوده

سه شرط برای تعادل سیستم باید برقرار باشد:

۱- تعادل گرمایی ۲- تعادل مکانیکی ۳- تعادل شیمیایی

۱- برای تعادل گرمایی باید گرادیان دما در سیستم وجود نداشته باشد (یعنی پس از ایزوله شدن دما سیستم تغییر نکند) ← هم دما سیستم دمای یکنواختی داشته باشد

۲- برای تعادل مکانیکی باید گرادیان فشار وجود نداشته باشد ← یعنی پس از ایزوله شدن تغییرات فشار نداشته باشیم

۳- تعادل شیمیایی یعنی عدم وجود گرادیان غلظت (مثلاً غلوط داریم که اکسیژن بیشتر و نیتروژن کمتر دارد)

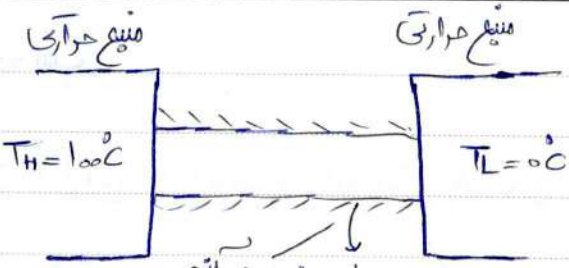
✓ تعادل پایا تفاوت داره

پایا (Steady): عدم تغییر خواص ترمودینامیکی با گذشت زمان

مثال) شمع حرارتی: جرم بزرگی که با در حالت گرما یا از دست دادن گرما دمای آن تغییر قابل ملاحظه ای نمی‌کند

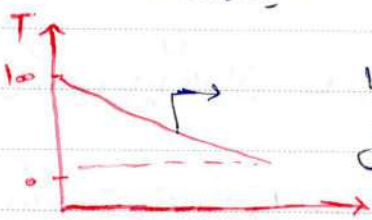
PqPCO

Subject
Date



پایا ← دما در یک نقطه با زمان به ... تغییر نکند

یکنواخت ← دمای تمام نقاط یکسان



توزیع دمای پایا (steady) در داخل میله

تعادلی ← یکنواختی روی مکان

پایا ← یکنواختی روی زمان

یک سیستم می تواند تعادلی باشد ولی پایا نباشد و همینطور برعکس

مثلاً دمای نقاط یک سیستم به طور یکنواخت تغییر کند مثلاً دمای هم نقاط 20 تا 40 تا با گذشت زمان

تعادلی است و پایا نیست

فرایندهای ترمودینامیکی: هرگاه حالت ترمودینامیکی ماده یا سیستم عوض شود

یک فرایند ترمودینامیکی است.

PdPCO

۱- فرایندهای تعادلی یا شبه تعادلی
۲- فرایندهای غیرتعادلی

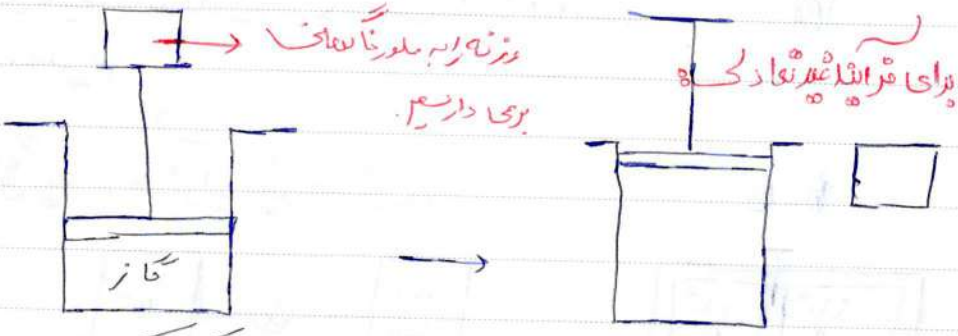
تقسیم بندی فرایندها

در مورد سیستم

هر لحظه در طول فرایند سیستم وضعیت تعادلی دارد یعنی چنین فرایندی فرایند تعادلی است.

در غیر این صورت فرایند غیرتعادلی است.

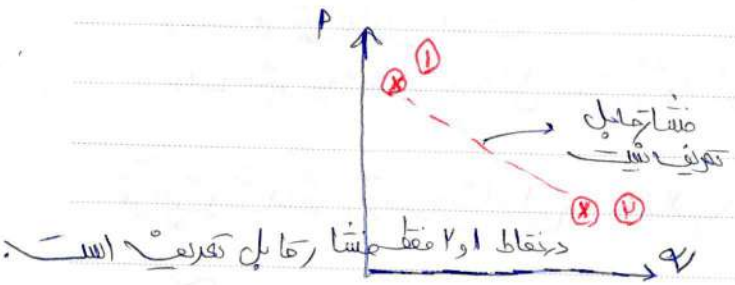
مثال هایی برای فرایند غیرتعادلی



نیرو داریم ← نیروها متعادل نیستند

فرایند غیرتعادلی است ← نیروها متعادل نیستند ← عدم تعادل مکانیکی

نمایش فرایند روی نمودار P-V



وقتی تعادلی مکانیکی در داخل سیستم وجود نداشته باشد فشار قابل تعریف نیست

شبه
مثال برای فرایند تعادلی

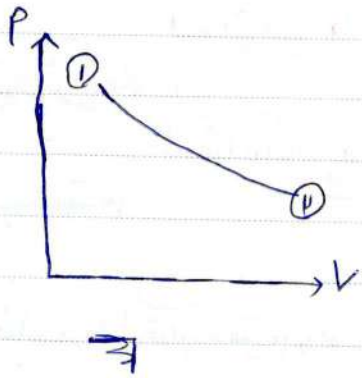
برای یک فرایند شبه تعادلی می توان یک مسیر ترمودینامیکی تعریف کرد

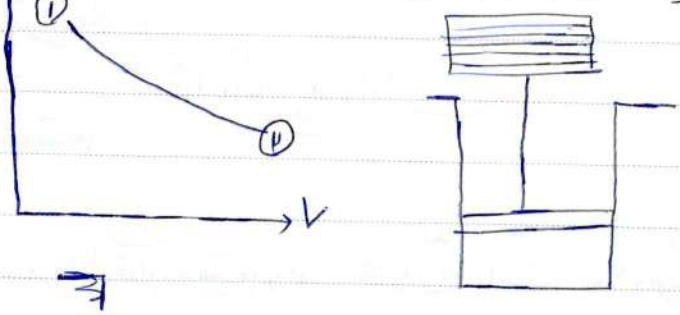
✓ فرآیند تعادلی و غیر تعادلی در حجم کنترل بررسی نمی شود

Subject
Date

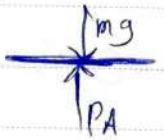
ترمودینامیک:

مجموعه ای حالت ترمودینامیکی سیستم در حلول فرایند





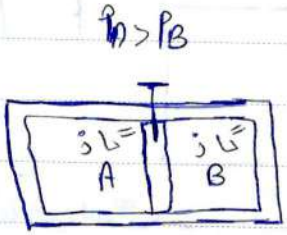
تجربه کرده است.



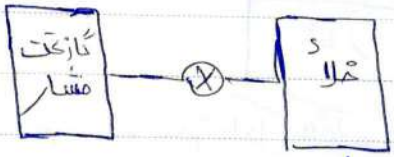
$\Rightarrow P = \frac{mg}{A}$

از حجم ها را کم کم برداریم و صبر می کنیم تا به تعادل برسد و همینطور را ادامه می دهیم.

مثال دیگر از فرآیند غیر تعادلی:



است

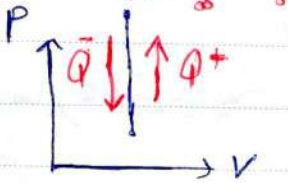


در حالت کلی سیستم تحلیل می شود زیرا مرز قابل رسم است و سیستم غیر تعادلی است

اگر پیستون را بیرون بکشیم سیستم غیر تعادلی می شود.

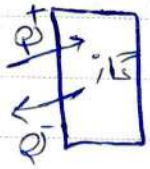
زیرا تا شیر باز شود در داخل سیستم نوسانات فشار ایجاد می شود

فرآیند شبه تعادل ترمودینامیکی: (قالب سیستم)



- فرآیند حجم ثابت

مثال:



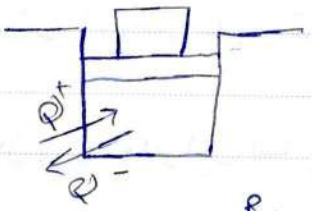
گاز تغییر حالت پیدا می کند ولی حجم ثابت است

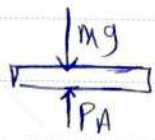
P4PCO

برای بررسی کمیت‌های پیوستار مشارکت کنید

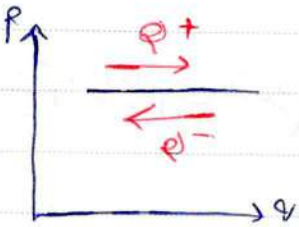
- فرایند همدما: ۱- مشار قابل تغییر است

۲- در طول فرایند ثابت است





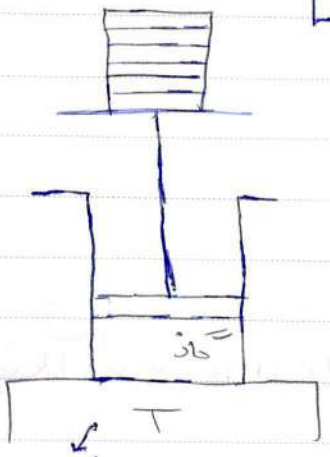
$$\Rightarrow P = \frac{mg}{A}$$



- فرایند دما ثابت:

فرآیندی که در طی آن دمای سیستم تغییر نکند

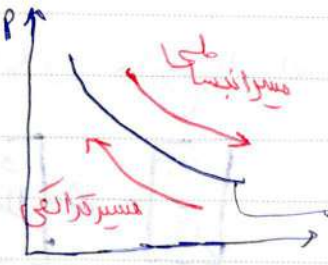
مثلا وزنه برداریم صبر می‌کنیم تا حرارت



برابر شود - زیرا سیستم کار انجام می‌دهد در نتیجه

منبع حرارتی تغییر دما را می‌گیرد.

انرژی آن کم می‌شود در نتیجه دمای آن کاهش می‌یابد.

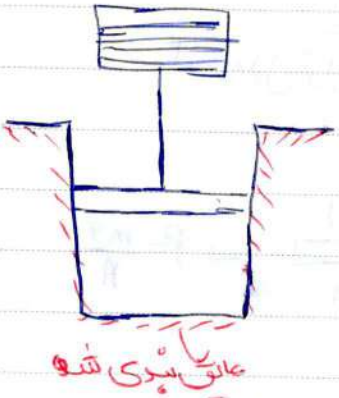


تمام نقاط روی این منحنی دمای یکسانی دارند

P4PCO

Subject
Date

فرایند آدیاباتیک شبه تعادلی: آدیاباتیک برگشت پذیر درونی (ایزنتروپیک)

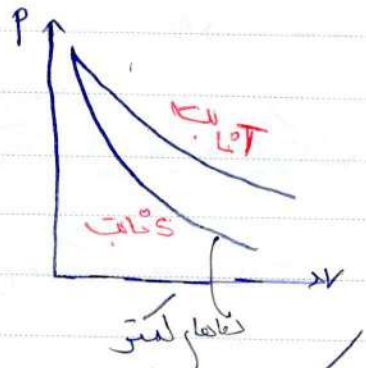


وقتی وزنه برداریم مشاهده حجم زیاد

و دما کم می‌شود (زیرا کار انجام می‌شود)

اضافه کردن وزنه: افزایش فشار و حجم کم

و دما زیاد می‌شود (زیرا روی سیستم کار انجام می‌شود)



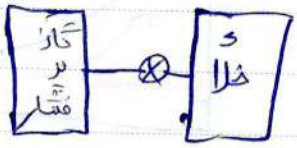
فرایند انبساط آزاد: کار انبساط پیدا می‌کند و هیچ مقاومتی در برابر آن وجود ندارد پیستون

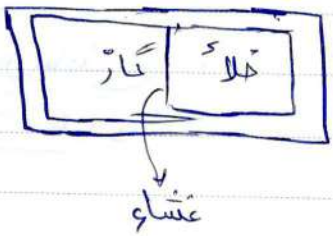
نیروی (فشار مقاومی)

است باید می‌گوییم انبساط

آزاد یا انبساط بی‌مقاوم داده است.

مثال:





P4PCO

یک قانون کلی برای فرایندهای ترمودینامیکی فرایندهای پلی تروپیک است

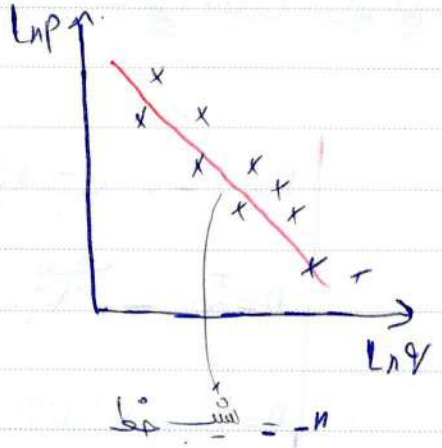
به فرایندهایی گفته می‌شود که طی آن فشار و حجم محفوظ از رابطه زیر پیروی کند

$$PV^n = C \quad \text{یا} \quad P_1V_1^n = P_2V_2^n$$

در رابطه فوق n توان یا نمایی تروپیک نامیده می‌شود که می‌تواند مورد نظر را به بهترین نحو معادل سازی کند.

P	V
x	x
x	x
x	x
x	x

$$\ln P + n \ln V = C$$



معادله حالت: معادله حالت یک رابطه جبری است که ارتباط بین P و V و T را مشخص می‌کند. در این رابطه دو تا مستقل و دیگری وابسته به آن دو است.

نمونه‌هایی از معادل حالت

معادله حالت گاز ایده‌آل $PV = RT$

Subject ثابت عمومی گازها — V S A
Date — S — V → حجم مخصوص

$R = \frac{\bar{R}}{M}$ → ثابت مخصوص گاز

$\bar{R} = 8.3143 \frac{kJ}{kmol \cdot K}$

$M = \frac{kg}{kmol}$ جرم مولکولی برحسب

دما برحسب کلوین

P برحسب kPa

معادله حالت وان در والس؟

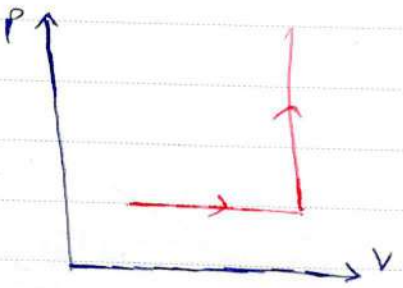
$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2}$

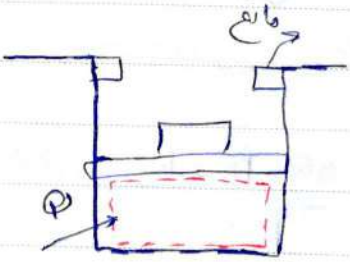
همزمان حجم ثابت، فشار ثابت دما ثابت و ایزنتروپیک هیچ کدام نمی‌توانند هیچ تغییری در نقطه رخ دهند.

- $n = 0$ → فشار ثابت
- $n = \pm\infty$ → حجم ثابت
- $n = 1$ → دما ثابت — معادله حالت گاز کامل یا ایده‌آل
- $n = \frac{c_p}{c_v}$ → آدیاباتیک برگشت‌پذیر — با فرض اینکه اجزا گاز کامل باشد

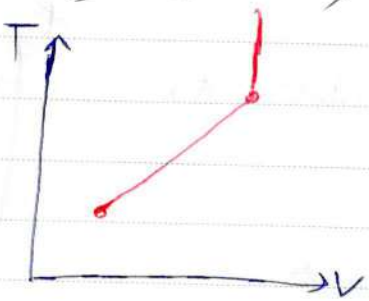
گاز کامل، گاز ایده‌آلی است که توان گرمای ویژه آن را ثابت فرض کرد یعنی گرمای ویژه آن تابع دما نباشد.

مثال ۱ مجموعه سلندر - پیستون نشان داده شده در شکل را در نظر بگیرید. پیستون بدون اصطکاک و جرم روی پیستون ثابت است. مجموعه مراحل ترمودینامیکی رسم شده را در نمودار P-V به نمایش درآورید.





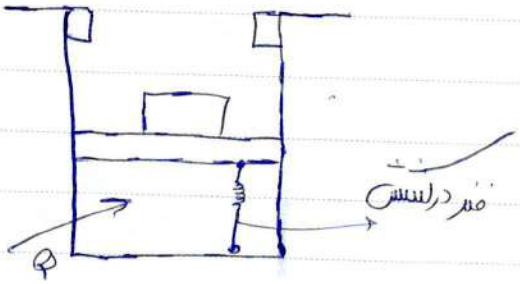
مسیر ترمودینامیکی برای این فرایند را در نمودار T-V نمایش دهید.

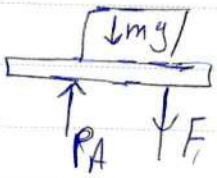


$PV = nRT$

ثابت

پس داخل سرما دما و حجم خطی است.



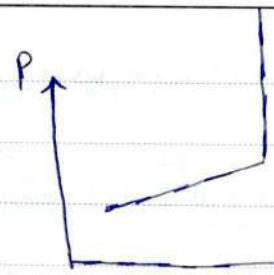


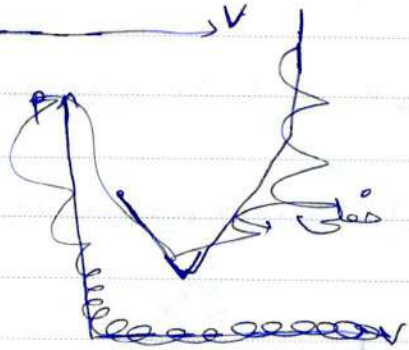
$$P_A = mg + K\Delta x \qquad \frac{\Delta V}{A}$$

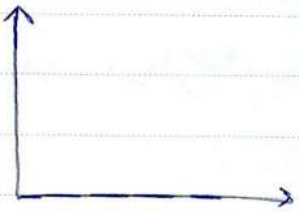
$$P = \frac{mg}{A} + K\frac{V - V_0}{A^2}$$

P4PCO

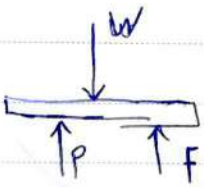
Subject
Date





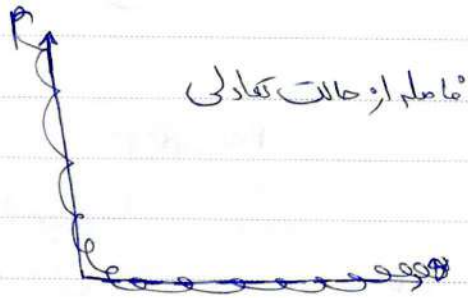


در فنر ابتدا تحت تراکم باشد

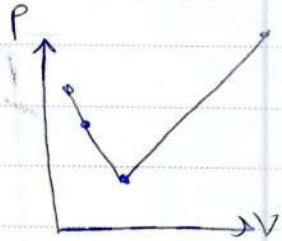


$mg = PA + F_s \Rightarrow PA = mg - F_s \quad K\frac{\Delta V}{A} \searrow \quad V - V_e < 0$

مثال :



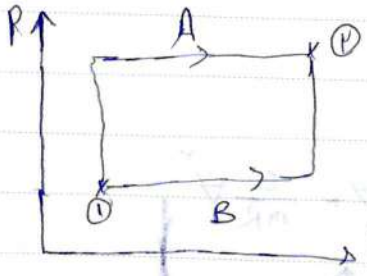
$\Delta x \leftarrow$ فاصله از حالت تعادلی



$$PA = mg - \frac{K}{A}(V - V_e) \Rightarrow P = \frac{mg}{A} - \frac{K}{A^2}V + \frac{K}{A^2}V_e$$

P4PCO

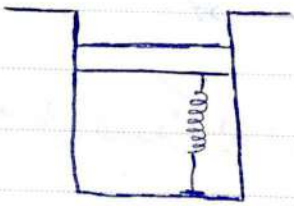
مثال) دو فرایند بین حالت ۱ و ۲ مطابق شکل است.



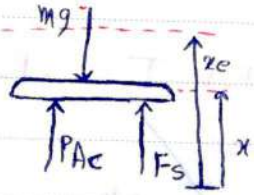
دو حالت ترمودینامیکی مشخص

اختلاف ها تابع مسیر است

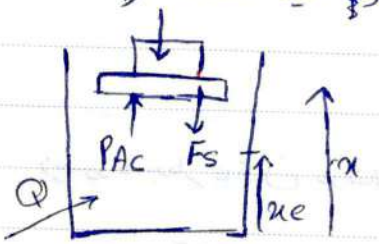
تغییر خاصیت ترمودینامیکی بین دو حالت تابع مسیر نیست



مثال: مخزن شکل:



مخزن کشیده شده



$P_{Ac} = m_p g - F_s$

$P_{Ac} = m_p g - K_s (x_e - x)$

$P_{Ac} = m_p g - K_s \frac{\forall_e - \forall}{A_c}$

$P = \frac{m_p g}{A_c} - \frac{K_s \forall_e}{A_c^2} + \frac{K_s}{A_c^2} \forall$

$P = B + C\forall$

$P_{Ac} = m_p g + F_s$

$= m_p g + K_s (x - x_e)$

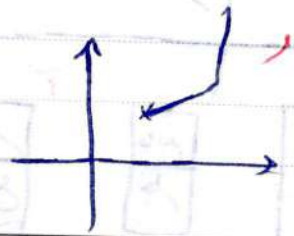
$P_{Ac} = m_p g + K_s \left(\frac{\forall - \forall_e}{A_c} \right)$

$P = \frac{m_p g}{A_c} + \frac{K_s \forall_e}{A_c^2} + \frac{K_s}{A_c^2} \forall$

B C

$P = B + C\forall$

نمودار برای هردو



Subject
Date

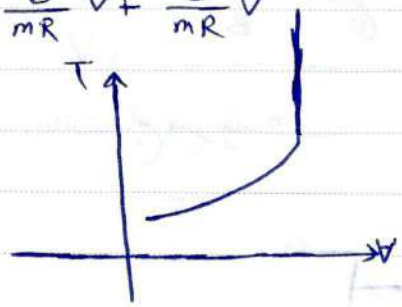
ایزوترم ی بین دما و حجم با لگاریتم یا معادله حالت بدست می آید برای نمونه معادله حالت

گاز ایده آل:

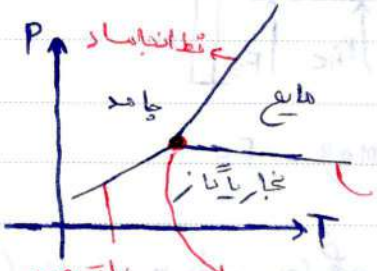
$$PV = mRT \Rightarrow P = \frac{mRT}{V}$$

$$\frac{mRT}{V} = B + CV \rightarrow T = \frac{B}{mR}V + \frac{C}{mR}V^2$$

$$T = B'V + C'V^2$$

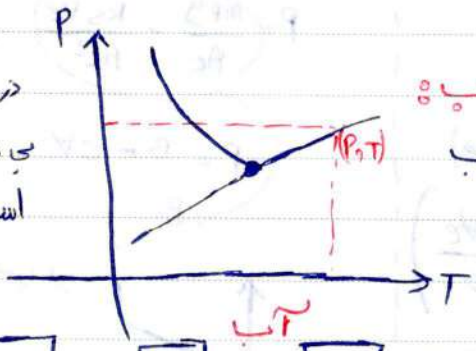


حالت های ترمودینامیکی در نمودارهای P-V ، T-V ، P-T



در نمودار می توان دو شاخه را در کنار هم داشت

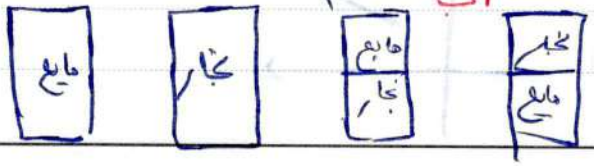
در نقطه سه تایی هر سه فاز می توانند کنار هم باشند.



نمودار P-T برای آب:

شیب خط انجماد آب منفی است

در روی مرز دما و فشار مشخص کننده بی نهایت حالت ترمودینامیکی است.



PdPCO

در منطقه دوفازی دما و فشار تعیین کننده‌ی حالت تعادل هستند پس به هم وابسته اند

در منطقه تک فازی دما و فشار از هم مستقل هستند

هر مواد در روی خود اشباع دارند | بخار اشباع / جامد اشباع

در منطقه دوفازی یک خاصیت ترمودینامیکی که به صورت زیر نام کیفیت x تعریف شود :

$$x = \frac{m_g}{m}$$

(معمولاً مایع + بخار)

کاربرد خواصی دارد.

$$\forall_{g'} = \forall_g + V_f \qquad m v = m_f V_f + m_g \forall_g$$

حجم مخصوص

برای مخلوط دوفازی است

$$\xrightarrow{\div m} v = (1-x)V_f + xV_g \longrightarrow v = V_f + xV_{fg}$$

$$V_{fg} = (V_g - V_f)$$

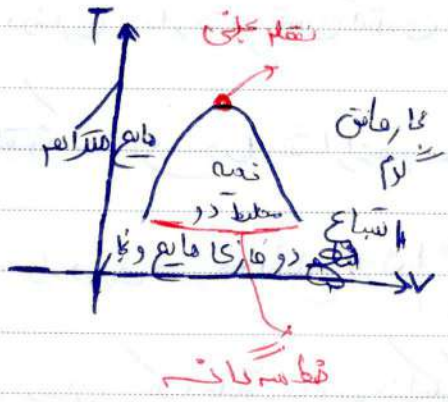
$$U = U_f + U_g \longrightarrow u = u_f + x(u_g - u_f) \quad (u_{fg})$$

$$S = S_f + S_g \longrightarrow S = S_f + x S_{fg}$$

H

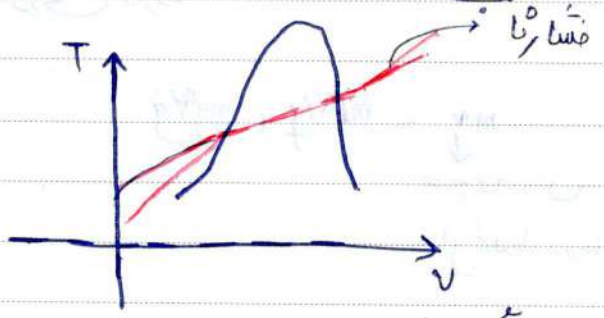
Subject
Date

فازها مایع و بخار در نمودار T-V:



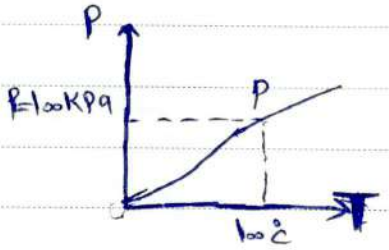
مسیر فشار ثابت در نمودار T-V

$PV = RT \rightarrow T = \frac{P}{R}V$



در منطقه دوفازی فشار ثابت دما ثابت است زیرا دما و فشار با هم وابسته هستند

شکل شکلی در مسیر P ثابت در نمودار P-T مثال نفع است جز این منطقه دوفازی

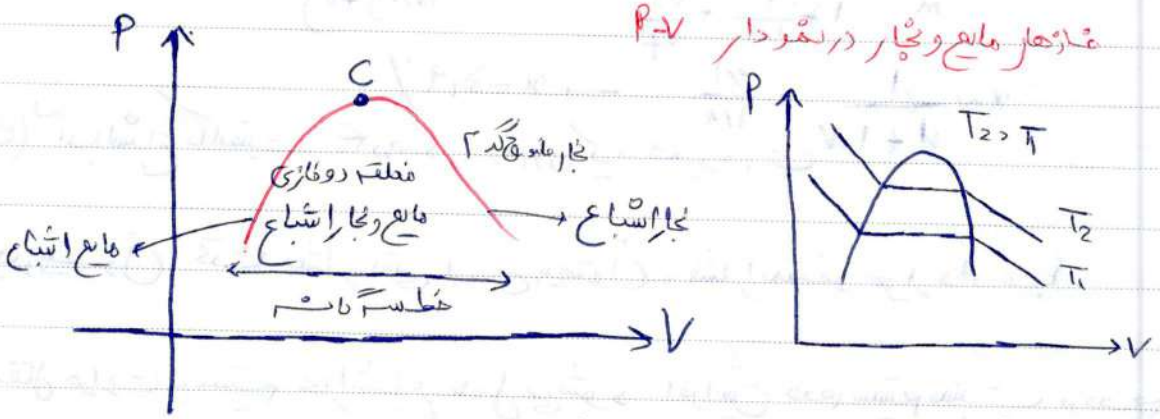


PAPCO

- در نواحی بالاتر از فشار بحرانی سیال تک فاز فوق بحرانی $P > P_c$

کیفیت افزایش می‌یابد.

غازهای مایع و بخار در نمودار P-V



یک لیتر زودپز حاوی مایع و بخار اشباع آب در دمای ۱۵۰°C است. نسبت حجم مایع به بخار

۰/۱ است کیفیت بخار موجود در ظرف کدام گزینه است؟

۱) ۱۹/۵ درصد ۲) ۲۸/۵ درصد ۳) ۴۹ درصد ۴) ۵/۹ درصد

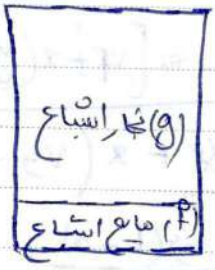
$v_f = 0.001043 \frac{m^3}{kg}$

$v_g = 1.6729$ "

$x = \frac{m_{بخار}}{m_{کل}}$

$V_g = 100 V_f$

$m_g = \frac{150 \times V_f}{v_g}$



Subject
Date

$$m_f = \frac{1}{100} m_g \frac{V_g}{V_f}$$

$$m = m_g + m_f = m_g + \frac{1}{100} m_g \frac{V_f}{V_g} \times m_g \Rightarrow m = m_g \left(1 + \frac{1}{100} \frac{V_g}{V_f}\right)$$

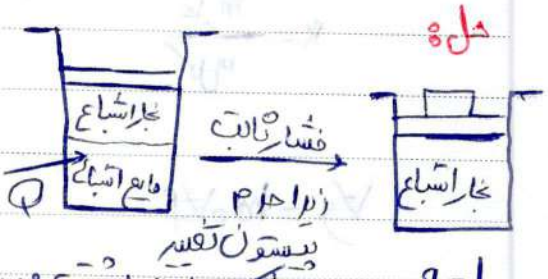
$$x = \frac{m_g}{m} = \frac{1}{1 + \frac{1}{100} + \frac{V_g}{V_f}} \Rightarrow x = \frac{100 V_f}{100 V_g + V_g}$$

$$x \sim \frac{1}{1 + 100} = \frac{0.1}{1.1} \rightarrow x = 9.1\%$$

ex) آب اشباع با کیفیت ۴۰ درصد در درون یک محفظه ی سیلندر پیستون تحت فشار ثابتی از وزن پیستون و فشار اتمسفر قرار دارد با انتقال حرارت به سیستم بخار اشباع حاصل می‌شود افزایش حجم سیستم نسبت به حجم اولیه تقریباً چند درصد است؟ (از حجم مخصوص مایع اشباع در مقایسه با حجم مخصوص بخار اشباع صرف نظر کنید)

۱) ۱۵ درصد ۲) ۳۵ درصد ۳) ۱۵۰ درصد ۴) ۸۵ درصد

حل:



$x = 0.4$

$x = 1$

زیرا بخار اشباع شده است

$$\text{درصد افزایش حجم} = \frac{V_2 - V_1}{V_1} \times 100$$

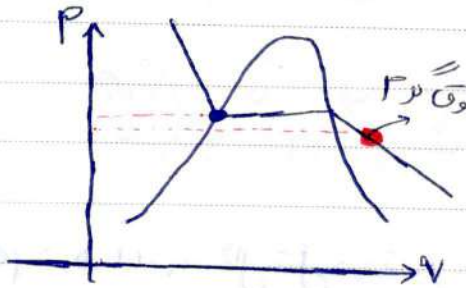
$$\frac{mV_g - m\left[V_f + x(V_g - V_f)\right]}{m\left[V_f + x(V_g - V_f)\right]} = \frac{V_g(1-x)}{x V_g} = \frac{1 - 0.4}{0.4} \times 100 = \text{درصد } 150$$

P4PCO

ex) مایع اشباع آب در داخل مجموعه سیلندر پیستون در شرایط تعادلی موجود می باشد پیستون با سیلندر بدون اصطکاک است و فشار ایجاد شده در مایع به وسیله مقداری ماسه که روی پیستون ریخته شده تأمین می شود یک دانه ماسه را برمی داریم و جا دادن حرارت به اندازه کافی دما را به دمای اولیه جا زمی گردانیم در خصوص حالت ترمودینامیکی آب داخل سیلندر کدام گزینه درست است؟

۱) مایع اشباع ۲) مایع متراکم ۳) بخار اشباع ۴) بخار فوق گرم

۵) مخلوط دوفاز با کیفیت نزدیک به صفر



$x \approx 0$

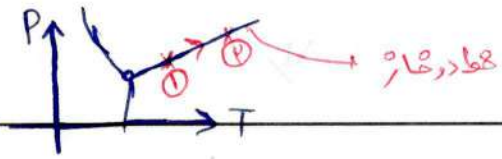
مایع اشباع — بخار اشباع

فشار از فشار اولیه کمتر است زیرا ماسه برداشته ایم احتمالا دما کمی پایین است.

ex) حجم مخصوص نقطه بحرانی برای یک ماده بخصوص $v_c = 0.001 \frac{m^3}{kg}$ است مخلوط دوفاز این ماده در داخل ظرف صلبی به حجم 1 lit در یک دما بخصوص موجود می باشد جرم ماده داخل ظرف 1.5kg است

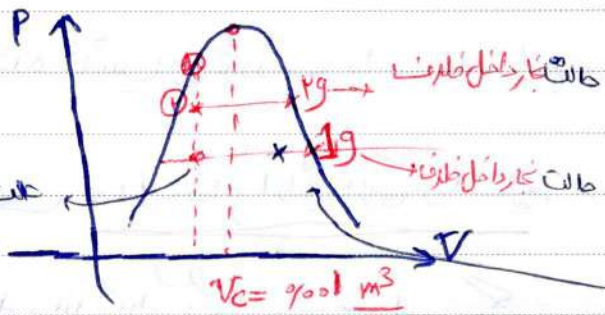
~~به ظرف حرارت می دهیم بدیهی است حرارت از سطح مایع~~

Subject
Date



داخل ظرف چه می شود که

۱) بالا می رود ۲) پایین می رود ۳) تغییری نمی کند ۴) نمی توان اظهار نظر کرد



کود

$v_1 = \frac{V}{m} = \frac{0.001}{1.8} = 0.0005\frac{m^3}{kg}$

$1m^3 = 1000lit$

m^3 بخار 1.82g ، 0.8kg بود سطح مایع پایین می رفت

جرم بخار در حال کاهش است

حجم بخار هم در حال کم شدن است

ex) در ادامه سؤال قبل در خصوص حجم مخصوص بخار داخل ظرف چه می توان گفت که

کم می شود

ex) مخلوط مایع و بخار آب در داخل یک مجموعه سیلندر - پیستون در شرایط تعادلی قرار دارد

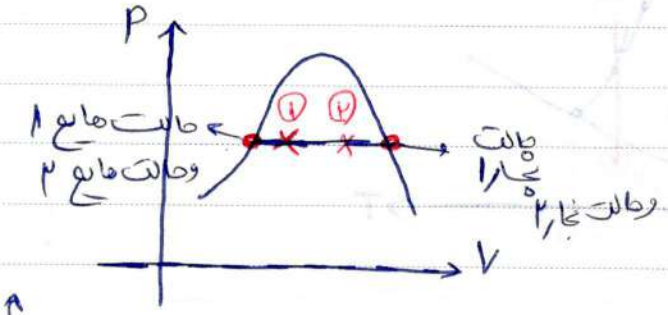
جرم پیستون ثابت و پیستون بدون اصطکاک است به مجموعه حرارت می دهیم

در خصوص تغییرات حجم مخصوص محتویات سیلندر کدام گزینه درست است؟

P4PCO

۱) بالا می‌رود ۲) پایین می‌رود ۳) تغییری نمی‌کند ۴) اطلاعات کافی نیست

نمی‌توان گفت:



حجم زیاد می‌شود.

$v = \frac{V}{m}$ ← جرم ثابت است

$Q \uparrow \longrightarrow V \uparrow \Rightarrow v \downarrow$

دمای مجموعه چه تغییری می‌کند؟ دما ثابت است زیرا در منطقه دوفازه فشار ثابت نگه داشته‌ایم.

حجم مخصوص مایع داخل ظرف چه تغییری می‌کند؟ تغییری نمی‌کند

حجم مخصوص بخار چه تغییری پیدا می‌کند؟ تغییری نمی‌کند

ex دمای نقطه سه‌گانه‌ی آب ۰٫۰۱ درجه است فشار آب در دمای ۲°C

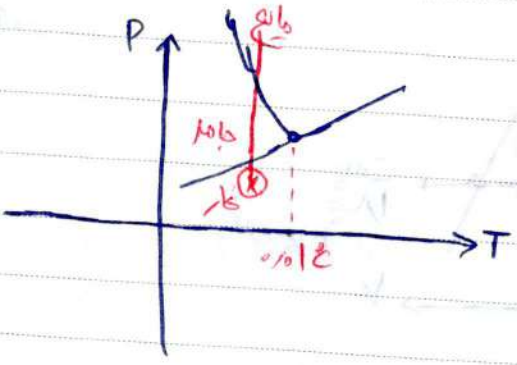
در مجموعه سیلندر - پیستونی مربوط فرایند دما ثابت تراکمی را اجرا می‌نماید

در طی این فرایند نحوه‌ی تغییر فاز آب داخل ظرف با کدام گزینه مطابقت دارد؟

۱) ابتدا بخار سپس مایع سپس جامد ۲) ابتدا بخار سپس جامد و سپس باز بخار مایع

Subject
Date

۳) ابتدا بخار سپس جامد ۴) ابتدا بخار سپس از مایع



کار و حرارت ، انرژی و قانون اول ترمودینامیک :

$$Q_{1\to2} - W_{1\to2} = \Delta U$$

- انرژی : توانایی انجام کار یا دادن حرارت

- حرارت : انتقال انرژی به سیستم یا از سیستم به دلیل اختلاف دمای سیستم با پیرامونش

- کار : سازوکار یا مکانیزم دیگر انتقال انرژی به سیستم یا از سیستم که حرارت نباشد

(دریافت مثبت انرژی سیستم را افزایش می دهد)

کار مثبت انرژی سیستم را کاهش می دهد کار انجام شده توسط سیستم = کار مثبت

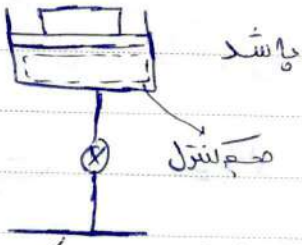
کار انجام شده روی سیستم = کار منفی

انواع کار

- کار انبساطی - تراکمی : کار ناشی از تغییر حجم سیستم در مقابل یک نیرو یا فشار خارجی

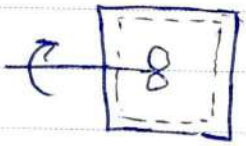
P4PCO

حجم کنترل نیز می تواند کار انبساطی - تراکمی داشته باشد

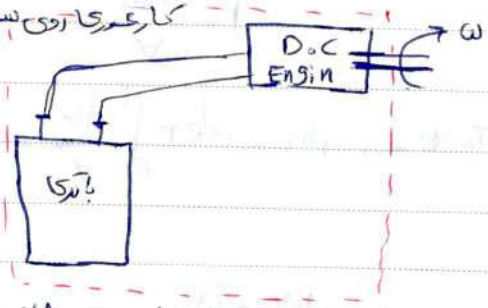


- کار محوری: انرژی منتقل شده به سیستم یا حجم کنترل یا گرفته شده از یک سیستم

توسط یک محور و پروانه متصل به آن

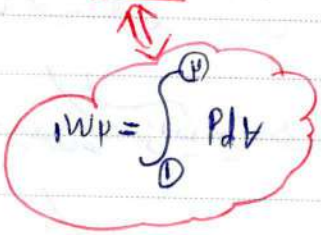


کار محوری روی سیستم انجام می شود.



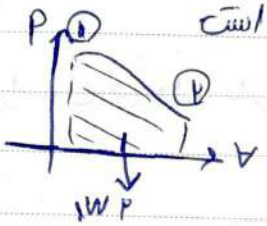
کار محوری توسط سیستم انجام می شود.

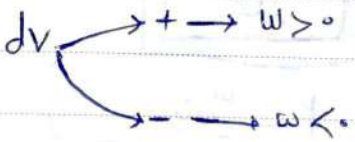
کار انبساطی - تراکمی: اگر فرایند اجرا شده توسط سیستم یا حجم کنترل شبه تعادلی باشد



کار انبساطی تراکمی را می توان از رابطه کار زیر بدست آورد

زیرا در فرایند شبه تعادلی فشار قابل تعریف است





Subject
Date

کار انبساطی - تراکمی در فرآیندهای شناخته شده:

- حجم ثابت $_1W_2 = 0$

- فشار ثابت $_1W_2 = \int_1^2 P\,dV = P_2V_2 - P_1V_1 \quad (P_2 = P_1 = P)$

- دما ثابت

*برای گاز ایده آل $\longleftrightarrow P = \frac{mRT}{\forall}$

$mRT = P_2V_2 = P_1V_1 \quad T=cte \longrightarrow {}_1W_2 = mRT\int_1^2 \frac{d\forall}{\forall} = mRT\ln\frac{\forall_2}{\forall_1}$

- پلی تروپیک

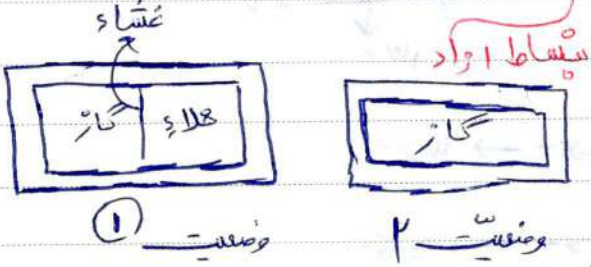
$PV^n = cte \quad \int_1^2 P\,d\forall = {}_1W_2 = \frac{P_2\forall_2 - P_1\forall_1}{1-n} \quad (n \neq 1)$

کار انبساطی - تراکمی در فرآیند غیرتعادلی:

در طول یک فرآیند غیرتعادلی فشار قابل تعریف نیست

از انرژی که سیستم روی پیرامون می گذارد کار محاسبه می شود (W_{ext} : کار خارجی)

مثال: فرآیند انبساط آزاد

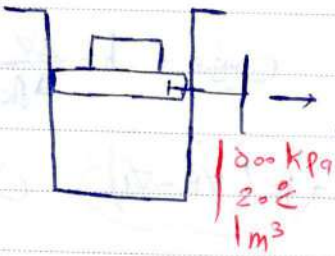


کار فرآیند انبساط آزاد علی رغم تغییر حجم $_1W_2 = 0$

صفر است.

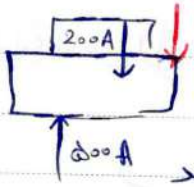
PdPCO

انبساط غیرتعادلی :



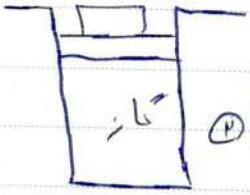
با بیرون کشیدن خار
یک وضعیت غیرتعادلی
ایجاد می شود.

گاز ایده آل در فشار 500 kPa و دمای $T=20^\circ C$ و حجم $1\,m^3$ در یک وضعیت تعادلی در داخل مجموعه سیلندر - پیستون بدون اصطکاک موجود است پیستون وجرم روی آن می تواند تنها فشاری معادل 200 kPa به گاز اعمال نماید خار را بیرون کشیده



و اجازه داده می شود که پیستون در یک وضعیت تعادلی جدید قرار گیرد دمای گاز در این وضعیت جدید به $20^\circ C$ می رسد

کار انجام شده توسط گاز در این فرایند را محاسبه کنید.



فرایند فشار ثابت نیست زیرا در فرایند فشار ثابت افزایش حجم ناشی از گرما نیست و همچنین فرایند دما ثابت نیز نیست

Subject
Date

$$_1W_2 = W_{ext} = mgh$$

از طرفی: $mg = P_2 A$ ، همچنین: $h = \frac{\Delta V}{A_C}$

$$\Rightarrow {}_1W_2 = P_2 A_C \frac{\Delta V}{\Delta C} = P_2 (V_2 - V_1)$$

به شرطی که وزنه روی پیستون ثابت باشد

$$= P_2 V_1 \left(\frac{V_2}{V_1} - 1 \right)$$

چون $T_1 = T_2 \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{P_2}$

و طبق قانون ایده‌آل

$$\Rightarrow {}_1W_2 = P_2 V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} - 1 \right) = 200 \text{kJ} \left(\frac{500}{200} - 1 \right)$$

$$= 300 \text{kJ}$$

قانون اول ترمودینامیک:

شکل اولیه قانون اول: در هر سیکل ترمودینامیکی کار خالص سیکل برابر است با انتقال حرارت خالص

$$W_{net} = Q_{net}$$

سیکل: مجموعه از فرایندها که پس از انجام آن‌ها سیستم به حالت اولیه باز گردد

$$W_{net} = \sum W_i \quad \text{(جمع جبری کارها یا گرماها)}$$

علامت

$$Q_{net} = \sum Q_i$$

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

قانون اول ترمودینامیک برای فرایند:

$$\oint (\delta Q - \delta W) = 0$$

کمیت خاصیت

هر خاصیت ترمودینامیکی

$$\oint dZ = 0$$

از طرف دیگه

$\oint_1^2 dz = z_2 - z_1$ به مسیر وابسته نیست

با توجه به اینکه $\delta Q - \delta W = 0$ و از طرف دیگر $\oint dz = 0$ و z یک خاصیت

ترمودینامیکی می‌توان نتیجه گرفت

$\delta Q - \delta W = dE$

E یک خاصیت ترمودینامیکی به نام انرژی است. قانون فوق برای یک فرایند

ایزوله و توسط یک فرایند با انتقال گرما بدست می‌آید:

$$1Q_2 - 1W_2 = E_2 - E_1$$

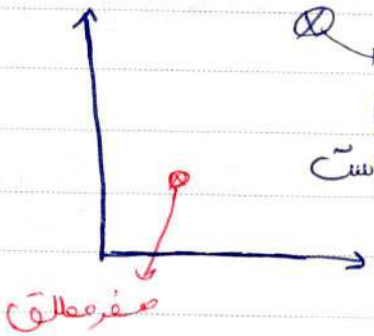
$$E = \frac{1}{2}mV^2 + mgz + U$$

U: انرژی درونی

بر حسب kJ

اندازه‌گیری انرژی درونی برای یک ماده در یک حالت ترمودینامیکی بخصوص:

در دما ی صفر مطلق $U = U_0 = 0$



با اندازه‌گیری Q و W در یک فرایند دلخواه

بین صفر مطلق و نقطه مورد نظر

در اکثر مسائل متداول ترمودینامیک قانون اول به صورت زیر درمی‌آید:

$$1Q_2 - 1W_2 = U_2 - U_1$$

Subject
Date

قانون اول برای فرایندها شامل:

- حجم ثابت $_1W_2 = 0$ $\quad {}_1Q_2 = U_2 - U_1$

- فشار ثابت $\quad {}_1Q_2 - {}_1W_2 = U_2 - U_1$

$$\rightarrow {}_1Q_2 - (P_2V_2 - P_1V_1) = U_2 - U_1$$

$$\rightarrow {}_1Q_2 = (U + PV)_2 - (U + PV)_1$$

$U + PV$ یک خاصیت ترمودینامیکی به نام انتالپی است.

$${}_1Q_2 = H_2 - H_1$$

انرژی درونی مخصوص:

$$u = \frac{U}{m} \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

انتالپی مخصوص:

$$h = \frac{H}{m} \left(\frac{kJ}{kg}\right)$$

- گرماهای ویژه: ضرایبی که تغییر انتالپی و تغییر انرژی درونی را با تغییر دما مرتبط می‌سازند.

- گرمای ویژه در حجم ثابت:

$$C_v = \left.\frac{\partial u}{\partial T}\right)_{v=cte}$$

- گرمای ویژه در فشار ثابت:

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

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

PAPCO

- برای گازهای ایده آل انرژی درونی تنها تابعی از دما است.

$h = u(T)$

- انرژی درونی و دما به هم وابسته اند

$h = u + pv = u + RT = h(T)$ - آنتالپی و دما هم به هم وابسته اند

آنتالپی نیز تنها تابعی از دماست.

- گرما ویژه گاز ایده آل:

حجم ثابت: $C_v = \left.\frac{\partial u}{\partial T}\right|_v$

برای گاز ایده آل: $C_{v0} = \frac{du}{dT}$

$du = C_{v0}\, dT$ ⟸ بعنوان C_{v0} ثابت: $u_2 - u_1 = C_{v0}(T_2 - T_1)$

همچنین $C_p = \left.\frac{dh}{dT}\right|_p$ برای گاز ایده آل: $C_{p0} = \frac{dh}{dT}$

همچنین با عنوان C_{p0} ثابت $\Rightarrow h_2 - h_1 = C_{p0}(T_2 - T_1)$

همچنین: طبق تعریف: $h = u + pv$

برای گاز ایده آل: $h = u + RT$

$$\Rightarrow dh = du + R\,dT \Rightarrow C_{p0}\,dT = C_{v0}\,dT + R\,dT$$

$$\Rightarrow C_{p0} - C_{v0} = R$$

P4PCO

= گاز کامل گاز ایده آلی است که بتوان گرمای ویژه آن را ثابت فرض کرد.

Subject
Date

$\bar{C}_{P_0} - \bar{C}_{V_0} = \bar{R} = ۸,۳۱۴۳$

$\bar{C}_{P_0} = M C_{P_0}$

$\bar{C}_{V_0} = M C_{V_0}$

در گاز ایده آل: $PV = RT$

مثال) به مقدار ۱,۷kg از یک مایع اشباع در دمای $۸۵^\circ C$ در یک ظرف تحت فشار ثابت حرارت داده می‌شود تا اینکه ۱۳۰۰kJ حرارت به مایع داده شود. کیفیت مخلوط حاصل ۳۵٪ می‌شود. گرمای نهان تبخیر مایع (h_{fg}) در فشار ظرف برحسب $\frac{kJ}{kg}$ برابر است با؟

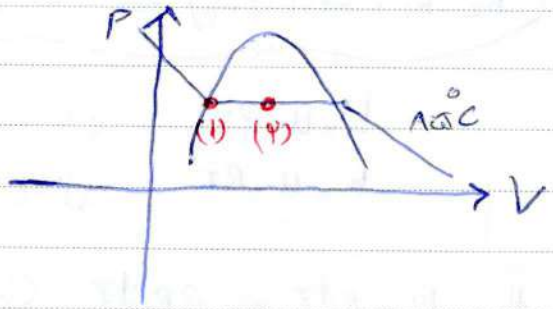
۱) ۷۷۵ ۲) ۳۷۱۴ ۳) ۴۳۱۴ ۴) ۲۱۸۵

قانون اول ترمودینامیک برای سیستم بسته در فشار ثابت ⇐ $Q = \Delta H = m(h_2 - h_1) =$

جرم ثابت مانده است — فشار ثابت

$m \times [h_f + x h_{fg} - h_f] \Rightarrow h_{fg} = \frac{Q}{x m} = \frac{۱۳۰۰}{٪۳۵ \times ۱,۷} = ۲۱۸۵$

h_f: وارد ثانیه دوم از شدن مایع



PAPCO

سؤال شماره ۳ ص ۶۱

مثال) در فشار ثابت به گاز کاملی ۵/۱۶ kJ حرارت داده می‌شود اگر گرمای ویژه مولی گاز در فشار ثابت $\bar{C}_{P_0} = 29.3 \frac{kJ}{kmol.K}$ باشد افزایش انرژی داخلی گاز در طی این فرایند چند kJ است؟

۱) 2.93 ۲) 1.76 ۳) 5.16 ۴) 3.12

طبق قانون اول:

$$\Delta U = n \bar{C}_{v_0} \Delta T$$

$$\bar{C}_{v_0} = \bar{C}_{P_0} - \bar{R} = 29.3 - 8.3143 \approx 21 \frac{kJ}{kmol.K}$$

فشار ثابت $\Rightarrow Q = \Delta H \Rightarrow Q = n \bar{C}_{P_0} \Delta T \Rightarrow n\Delta T = \frac{Q}{\bar{C}_{P_0}} = \frac{5.16}{29.3}$

$$\Rightarrow \Delta U = 21 \times 5.16 \times \frac{1}{29.3} =$$

۱۵ ص ۶۳

برای گرم کردن هوا (گاز ایده‌آل) در فشار ثابت 100kPa از دمای 20°C به 100°C مقدار 18kJ گرما لازم است. برای گرم کردن هوا از 20°C به 100°C در فشار 500kPa چند kJ حرارت لازم است؟

۱) 11kJ ۲) 400kJ ۳) 18kJ ۴) 190kJ

$Q = \Delta H$ فشار ثابت

از آنجایی که در فرایند فشار ثابت $Q = \Delta h$ و برای گاز ایده‌آل $\Delta h = m C_p \Delta T$ (یعنی به فشار وابسته نیست و فقط به اختلاف دما ابتدا و انتهای مرحله بستگی دارد)

بنابراین انتقال حرارت برای هر دو فرایند یکسان است.

PaPCO

Subject
Date

سؤال ۱۳ ص ۶۳

در شکل یک سیکل ترمودینامیکی نشان داده شده است که توسط مقدار معینی گاز انجام می‌پذیرد فرایندها

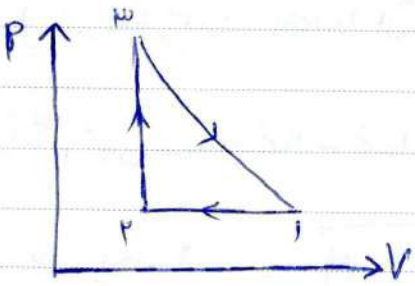
متوالی انجام یافته در سیکل عبارتند از:

۱) تراکم در فشار ثابت که طی آن ۲۵ ژول ۲ ← ۱
گرما از سیستم خارج و ژوله کار به آن وارد می‌شود

۲) گرمایش در حجم ثابت که طی آن ۳ ← ۲
۷۵ ژول گرما جذب سیستم می‌شود

۳) فرایند انبساط آدیاباتیک ۱ ← ۳
کار برحسب ژول طی فرایند ۱ ← ۳ کدام است؟

۱) ۱۰۰ − ۲) ۷۵ ۳) ۱۰۰ ✓ ۴) ۷۵



طبق قانون اول: $Q_{net} = W_{net}$

مثبت / منفی

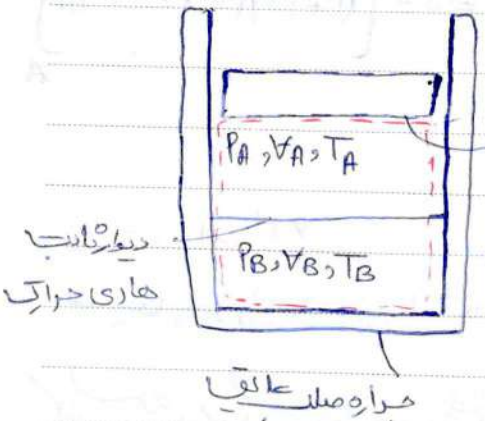
$$Q_1 + Q_2 + Q_3 = W_1 + W_2 + W_3$$

$$-۲۵ + ۷۵ + ۰ = -۵۰ + ۰ + W_{۳,۱}$$

$$W_{۳,۱} = ۱۰۰\,J$$

PqPCO

سوال ۹ ص ۶۲



در هر دو قسمت A و B گاز: همگنی، یکنواختی مساوی داریم
با توجه به اطلاعات داده شده بر روی پیستون عایق
بدون اصطکاک

شکل در مورد شرایط اولیه و دیواره‌ها دمی تعادل نهایی

با فرض گاز کامل از کدام رابطه به دست می‌آید؟

۱) $\frac{C_{P_0} T_A - C_{V_0} T_B}{C_{P_0} - C_{V_0}}$

۲) $\frac{C_{P_0} T_A + C_{V_0} T_B}{C_{P_0} + C_{V_0}}$ ✓

۳) $\frac{T_A + T_B}{2}$ ✗

۴) $\frac{T_A \times T_B}{T_A + T_B}$ ✗

قسمت A سیستم و مانون اول:

ثابت $Q_A = (\Delta H)_A$ فرایند فشار

قسمت B سیستم و مانون اول:

$Q_B = (\Delta U)_B$ فرایند حجم ثابت

$Q_A = -Q_B \Rightarrow (\Delta H)_A = -(\Delta U)_B \Rightarrow mC_{P_0}(T_f - T_A) =$ زیرا مخلوط عایق است و هر چه مکد یکی Q بدهد دیگری می‌گیرد

$-mC_{V_0}(T_f - T_B) \Rightarrow T_f = \frac{C_{P_0} T_A + C_{V_0} T_B}{C_{P_0} + C_{V_0}}$

اول کل مجموعه به عنوان سیستم در نظر گرفته شود:

$Q - W = U_2 - U_1$

$Q - P_A(V_2 - V_1)_A = (U_{2A} + U_{2B}) - (U_{1A} + U_{1B})$

انرژی درونی خاصیت گسترده و جمع‌پذیری است

P4PCO

Subject
Date

$= (U_2 - U_1)_A + (U_2 - U_1)_B = (-P_2V_2 - P_1V_1) \Rightarrow 0 = \underbrace{\left[(U+PV)_2 - (U+PV)_1\right]}_{A}$

$+ (U_2 - U_1)_B \Rightarrow \Delta H_A + \Delta U_B = 0$

تست ۱ ص ۶۲

سیستمی با جرم ثابت منبسط شده ولی آن حجم ۱۰ برابر و فشار $\frac{1}{10}$ برابر می‌شود سیال احیا

کننده فرایند کامل و فرایند شبه تعادلی است. انتقال گرما به سیستم برابر است با:

۱) ΔU ۲) $mC_p\Delta T$ ۳) $mC_v\Delta T$ ۴) $P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$

فرایند دماثابت ← بازگامل

شبه تعادلی

$PV = cte$

$\frac{1}{10}$ یا ۱۰

$PV = mRT$

$Q - W = \Delta U = mC_{v_0}\Delta T$ برای گاز ایده‌آل

دماثابت گاز ایده‌آل

$Q = W = P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$ ($Q=W$ ← قانون اول برای فرایند دماثابت گاز ایده‌آل)

تست ۴ ص ۶۱

یک کپسول هوا در داخل یک مخزن به حجم ۲۸۰ لیتر قرار داده‌ایم دما و فشار و حجم

کپسول هوا به ترتیب ۲۰°C، ۱۴MPa و ۲۳ لیتر است. گاز کپسول را می‌کاهیم

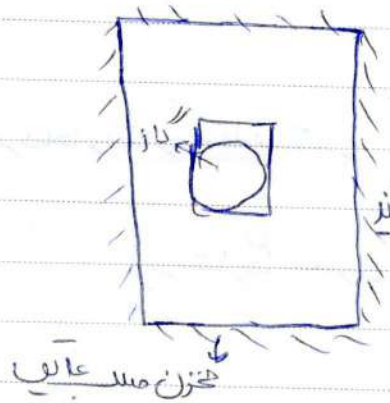
تا هوا را گاز کامل فرض کرده و حجم مخزن عاقق حوادث باشد فشار نهایی

هوا برابر است با:

P4PCO

۱۱) ۰/۹۲ KPa ۱۲) ۱۴MPa ۱۳) ۱۱/۵۱KPa ۱۴) هیچ‌کدام

فرایند انبساط آزاد است



گازها را به عنوان سیستم در نظر می‌گیریم و قانون اول را به فرایند اجرا شده اعمال می‌کنیم با توجه به اینکه فرایند در خلأ است فرایند انبساط آزاد است.

$$Q - W = \Delta U$$

$Q = 0$ ← عایق

$W = 0$ ← انبساط آزاد

$$0 = \Delta U$$

فرایند انبساط آزادی که به صورت آدیاباتیک انجام شده $\Delta U = 0$

دما ابتدا و انتها با هم برابر است (توجه شود فرایند دما ثابت نیست زیرا در فرایندهای ثابت کار مخالف صفر است)

$\Delta U = 0 \xrightarrow{\text{چون گاز ایده‌آل}} \Delta T = 0 \Rightarrow P_2 V_2 = P_1 V_1 \Rightarrow P_2 = P_1 \frac{V_1}{V_2}$ ← گزینه ۳

$$14_{,}000 \times \frac{0.23}{280}$$

فرایند غیر تعادلی ← دما ثابت نیست

Subject
Date

نکته: ΔU و Δh برای مایعات و جامدات (با فرض تراکم ناپذیر بودن)

- برای مایعات و جامدات: $U = U(T)$

$$c_v = \frac{du}{dT} \Rightarrow du = c_v dT$$

- در دماها و فشارهای معمولی:

$h = u + pv \rightarrow h \sim u$ (در فشارهای معمولی و نه خیلی بالا) $(pv << u)$

$dh = du = c_p dT \quad (c_p \simeq c_v \equiv c) \Rightarrow dh = du = c dT$

قانون اول برای هر المان در حال فرایند

$$\dot{Q} - \dot{W} = \frac{dU}{dT}$$

$\dot{Q}$: نرخ انتقال حرارت $\left(\frac{kJ}{sec}\right)$ یا (kW)

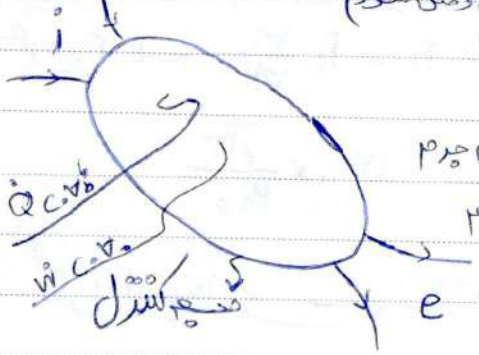
$\dot{W}$: نرخ کار یا توان (kW) یا $\left(\frac{kJ}{sec}\right)$

$\frac{du}{dt}$: نرخ تغییر انرژی درونی بازه‌ای

کاربری انتروپی - کمپرسور

اسباب‌های تراکمی (مثل لوله، کمپرسور، پیستون و ...)

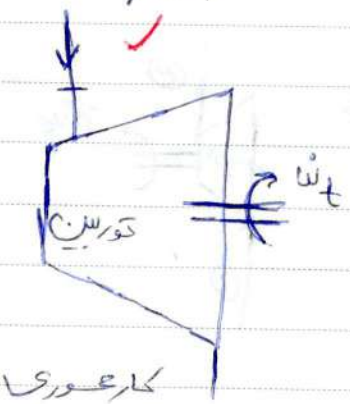
قانون اول ترمودینامیک برای یک حجم کنترل:

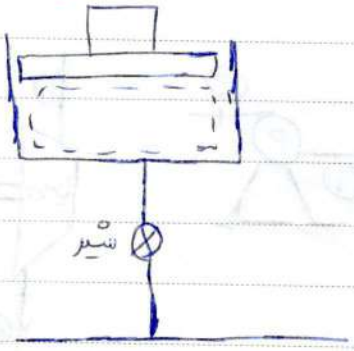


بیان جامع جرم داریم

$$\left.\frac{dE}{dt}\right|_{C.V.} = \dot{Q}_{C.V.} - \dot{W}_{C.V.} + \sum_i \dot{m}_i \left(\frac{v^2}{2} + gz + h\right)_i - \sum_e \dot{m}_e \left(\frac{v^2}{2} + gz + h\right)_e$$

$\dot{W}_{C.V} = \dot{W}_{shaft} + \dot{W}_{exp/comp}$





کار اتساعی ترانعی

$\dot{W}_{Flow} = \sum_e m_e P_e V_e - \sum_i m_i P_i V_i$ ← کاری که برای جاری شدن سیال انجام می شود که در داخل معادله بالا محاسبه شده است

$$\dot{Q}_{C.V} - \dot{W}_{C.V} = \left.\frac{dE}{dt}\right|_{C.V} + \sum_e \dot{m}_e \left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_e - \sum_i \dot{m}_i \left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_i$$

قانون بقای جرم برای حجم کنترل:

$$\left.\frac{dm}{dt}\right|_{C.V.} = \sum_i \dot{m}_i - \sum_e \dot{m}_e$$

یا $\left.\frac{dm}{dt}\right|_{C.V.} + \sum_e \dot{m}_e - \sum \dot{m}_i = 0$

حالت خاص:

شرایط جریان پایا - حالت پایا Steady State - Steady Flow (SSSF)

$\left.\frac{dm}{dt}\right|_{C.V.} = 0 \Rightarrow \sum_e \dot{m}_e = \sum_i \dot{m}_i$: دبی ورودی و دبی خروجی از حجم کنترل با هم برابر است.

$$\left.\frac{dE}{dt}\right|_{C.V.} = 0 \Rightarrow \dot{Q}_{C.V} - \dot{W}_{C.V} = \sum_e \dot{m}_e \left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_e - \sum_i \dot{m}_i \left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_i$$

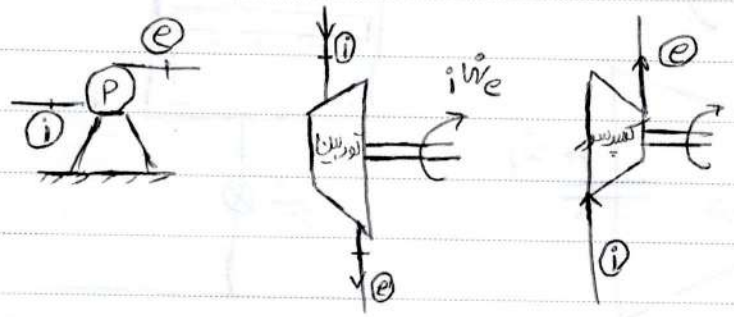
P4PCO

Subject
Date

افزایش دما باعث افزایش انتالپی می‌شود

قانون اول ترمودینامیک برای دستگاه‌های متداول:

۱- توربین، کمپرسور، پمپ



فرضیات:

- $\dot{Q}_{C.V}$ ناچیز
- اثرات انرژی جنبشی و پتانسیل قابل چشم پوشی
- دبی جرم

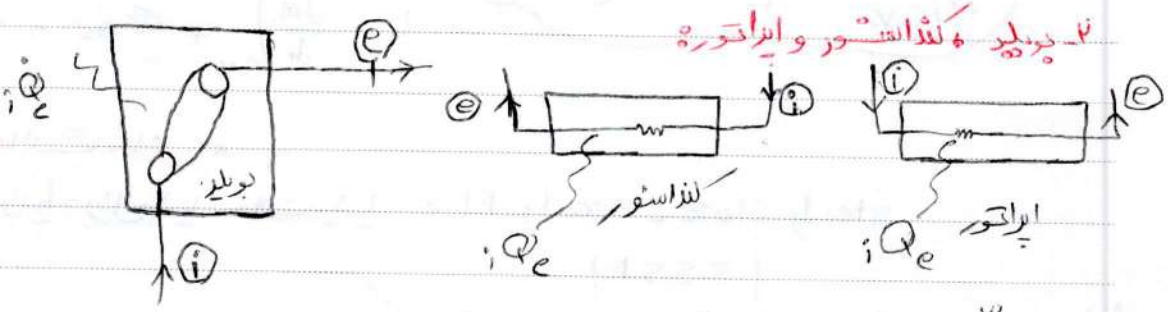
$$\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$$

اول ترمودینامیک: $\dot{W}_e = \dot{m}(h_i - h_e)$ (برای کمپرسور و پمپ $\dot{W}_e < 0$ و برای توربین $\dot{W}_e > 0$)

$$w_e = h_i - h_e$$

w_e کار مخصوص توربین است $\left(\frac{KJ}{Kg}\right)$ $w_e = \frac{\dot{W}_e}{\dot{m}}$ از رابطه

۲- بویلر، کندانسور و اواپراتور:



فرضیات:

- $\dot{W}_e = 0$
- اثرات انرژی جنبشی و پتانسیل ناچیز
- دبی جرم $\dot{m}_i = \dot{m}_e = \dot{m}$

PAPCO

اول ترمو: $\dot{Q}_e = \dot{m}(h_e - h_i)$

برای کنداسور $\dot{Q}_e < 0$

جوبلر

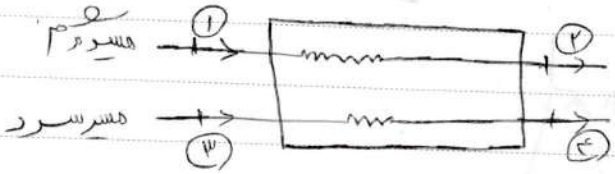
اواپراتور $\dot{Q}_e > 0$

↓

مایع را به بخار تبدیل می‌کنند

$\dot{q}_e = \frac{\dot{Q}_e}{\dot{m}} = h_e - h_i \quad \left(\frac{kJ}{kg}\right)$ انتقال حرارت مخصوص

مبدل‌های حرارتی:



- تماس غیرمستقیم

بین مسیر سرد و گرم تبادل حرارت داریم ولی تبادل حرارت با بیرون حجم کنترل نداریم

فرضیات:

- $\dot{W}_{C.V} = 0$
- $\dot{Q}_{C.V} = 0$
- اثرات انرژی پتانسیل و جنبشی ناچیز

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_h$

$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 = \dot{m}_c$

اول ترمو: $\sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_i h_i$

PAPCO

Subject
Date

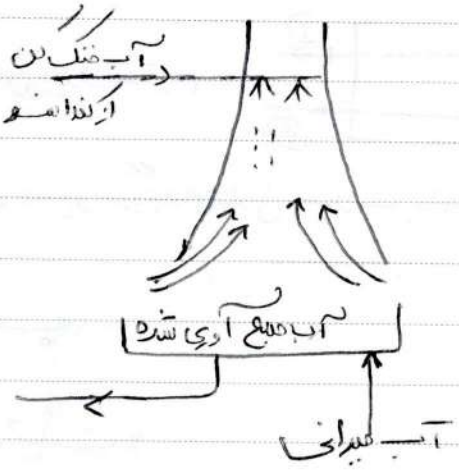
$$\dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4 = \dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3$$

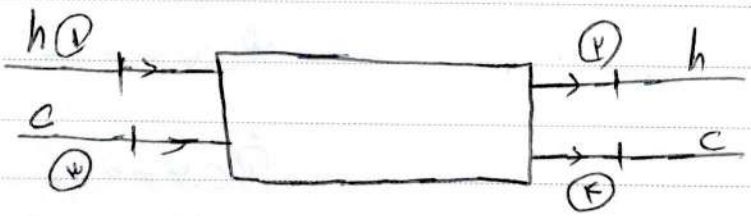
$$\dot{m}_h (h_1 - h_2) = \dot{m}_c (h_4 - h_3)$$

مبدّل حرارتی تماس مستقیم:

اعلاوه بر تبادل حرارت بین دو جسم تبادل جرم نیز انجام می پذیرد.

پرج خنک کن تر نمونه ی این مبدّل برج خنک کن تری باشد





$$\dot{m}_1 + \dot{m}_3 = \dot{m}_2 + \dot{m}_4$$

اول آزمون:

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$