«به نام خدا»

ترمودینامیک ۱

جلسه ۱

سید علی آل طه

ایمیل استاد: mathemat_course@yahoo.com

subject of email: ...-سری ۲-سری ۱

مسئله‌های حل‌شده فصل ۱: ۹۱-۸۳-۹۷-۹۶-۹۸-۹۹-۱۰۰-۱۲۹-۱۳۳ تکالیف بصورت pdf فرستاده شود.
۱۰۱ ← ۳۹-۴۱-۴۳-۴۴-۴۸-۵۰-۵۵ (داده اضافی ندارد)

تزریک به ۱۵ یا ۱۶ سری ارائه می‌شود.

① ۶۰٪ نمره برای ۲ تا امتحان ② ۲۰٪ تا نمره (۸ تا کوییز) ③ ۲۰٪ نمره برای تکلیف و پروژه

تابش بیشتر ← رنگ سیاه

سل سوختی ← fuel cell

پایش داخلی یک سطح مورد نظر

controle volume → حجم کنترل →

controle surface _ controle mass

اگر اسم system برده شود و نامی از نوع کنترل برده نشود، منظورمان controle volume است.

اگر حجم ثابت بماند و جرم متغیر، از حجم کنترل و اگر جرم ثابت و حجم متغیر باشد از جرم کنترل استفاده می‌کنیم.

chimney: دودکش ؟gypsum: سنگ گچ ؟flue gas: دود

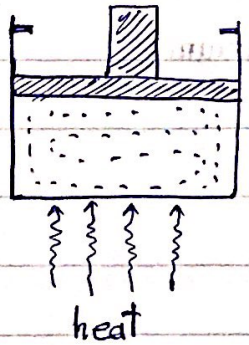
slag: فلز نیم‌شده ash: خاکستر ؟drum: طبل-ظرف استوانه‌ای

grid: تور-شبکه ؟Capillary: مویی-مویرگ tube → pipe

bunsen burner: چراغ بنزن

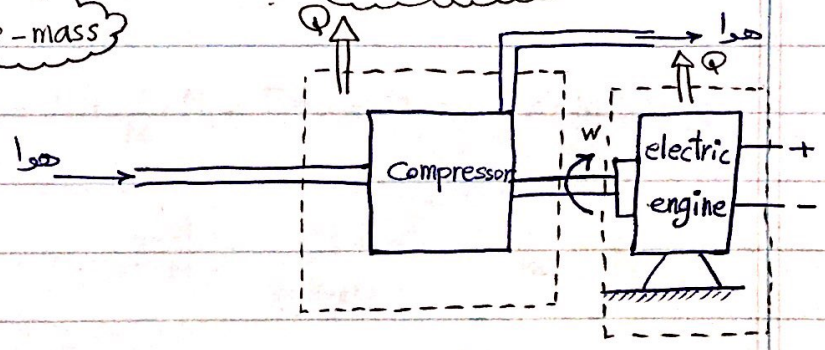
حل تمرین ← شنبه تا یم ناهار

جلسه ۲



controle-mass

controle-volume



ماده عامل ← عامل انجام کار (برای مثال در توربین)

برای دریافت نمونه سوالات، جزوات و کتب بیشتر به ما بپیوندید در:
https://t.me/iust_scientfic

Continuum → مواد پیوسته

متوسط فاصله‌ای را که یک مولکول در حرکت، طول می‌کشد تا برخورد نداشته باشد را پویش آزاد - میانگین می‌گویند. (متوسط فاصله‌ی برخورد مولکول‌ها)

حالت: مجموعه‌ای از خواص ترمودینامیکی - خواص ترمودینامیکی: فشار - دما - حجم - آنتالپی - ...

خواص ← متمرکز (intensive) - مستقل از مقدار ماده ← دما - فشار

خواص ← گسترده (extensive) - وابسته مقدار ماده ← جرم - حجم - انرژی

چگالی $\rho = \frac{\text{جرم}}{\text{حجم}}$: جرم مخصوص حجم مخصوص: $v = \frac{\text{حجم}}{\text{جرم}}$

⊛ Thermal equilibrium (تعادل ترمودینامیکی گرمایی)

⊛ Mechanical equilibrium (تعادل مکانیکی) ← فشارها در سیستم یکسان باشند

⊛ Chemical equilibrium (تعادل شیمیایی)

اگر هر سه در تعادل باشند ← Thermodynamic equilibrium

معادله حالت سیستم → $PV = nRT = M \times \frac{n}{M} RT = \frac{m}{M} RT$

$\xrightarrow{\frac{V}{m} = v} P\left(\frac{V}{m}\right) = \frac{R}{M}T \Rightarrow P\bar{v} = \frac{R}{M}T$ (حجم مخصوص)

quasi - equilibrium → شبه تعادلی

Scanned by CamScanner

statistical: آماری	?approximately: تقریباً	relatively: نسبتاً ـ بطور نسبی	
??perceive: درک کردن	?gross: درشت	imply: مفهوم را رساندن	
assumption: فرض	gauge: وسیله اندازه‌گیری	collide: به هم خوردن	
continuum: زنجیره	?significant: قابل توجه	supplementary: مکمل	پیوسته
?through out: سراسر	?consistent: استوار	?concept: مفهوم	
extensive: گسترده ـ وسیع		#conversely: برعکس	

1.3 P3 to end: left unread
1.4 تا آخر

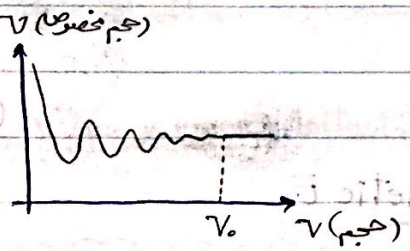
* نکته: خواص گستره‌ای که بر واحد جرم مطرح می‌شوند، خواص متمرکز به حساب می‌آیند.

مباحث جلسه‌ی بعد: Energy - some examples + pressure - specific volume

جلسه ۳

⊛ حجم مخصوص:

$$v = \frac{\Delta V}{\Delta m}$$ حجم مخصوص:



از هر حجم کمتر از v_0 ممکن است حجم مخصوص کم یا زیاد باشد و به محیط ناپیوسته گوییم و اگر از v_0 بیشتر شود، گوییم محیط پیوسته است.

ایریدیم (Ir) ← چگال‌ترین فلز

$\rho_{Cu} = ۸۳۰۰ \quad kg/m^3$

$\rho_{St} = ۷۸۲۰ \quad kg/m^3$

$\rho_{air} = ۱,۴۹ \quad kg/m^3$

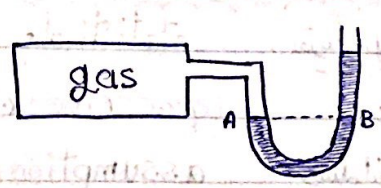
⊛ فشار:

اغلب فشارسنج‌ها guage هستند و برخی فشارسنج‌ها absolute هستند که فشار را از صفر حساب می‌کند و به P_0 (فشار هوا) ربطی ندارند.

فشارسنج‌های guage، ΔP را نشان می‌دهند.

Scanned by CamScanner

⊛ مسائل فشار:



$P_A = P_B$

$P_A = P_0 + \rho gh$

$P_{guage} = P_A - P_0 \rightarrow P_{guage} = \rho gh$

⊛ انرژی:

؟ درجه‌بندی سانتی گراد دمای بین انجماد و جوش آب را به ۱۰۰ قسمت و در فارنهایت این اختلاف دما را به ۱۸۰ قسمت تقسیم می‌کند.

$K = C + 273.15$ ← Kelvin ← سانتی گراد

$R = F + 459.67$ ← Rankin ← فارنهایت

نمایش واحدها: °C, F, K, R

$T = (F-32) * \frac{5}{9}$

$K = \frac{R}{1.8}$

$E = U + PE + \text{kinetic } E.$ ← Potential Energy

internal Energy ← U

Mechanical Energy ← $PE + \text{kinetic } E.$

$U = U_{ext,mol.} + U_{Translation} + U_{int...mol}$

$U_{int...mol} = U_{Pot} + U_{rot} + U_{atom}$

* تعادل مکانیکی یک سیستم به فشار گاز درون آن بستگی دارد.

quasi: شبه	infinitesimal: بی‌نهایت کوچک	overall: سراسر
deviation: انحراف	constant: ثابت	oven: اجاق
isobaric: هم‌فشار	isothermal: هم‌دما	iso choric: هم‌حجم
four-stroke-cycle: چرخه ۴ زمانه	revolution: دور کامل ـ دوران کامل	انقلاب
Working fluid: سیال عامل ؟	designate: تعیین کردن	

* سؤال: فرق بین چرخه ترمودینامیکی و چرخه‌ی مکانیکی چیست؟

چرخه ترمودینامیکی: رفتن از حالتی و بازگشت به حالت ترمودینامیکی اولیه

چرخه مکانیکی: حرکت متر و بازگشت به محل اولیه

Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱

سید علی آل طه

*فشار بسیار کم در تایرهای اتومبیل باعث انحراف زیاد چرخ‌ها و گرم شدن زیاد لاستیک‌ها می‌شود.

هم‌چنین فشار بسیار زیاد در تایرهای اتومبیل باعث فرسودن بیش از حد آن می‌شود.

کلاهک: cap انحراف: deflection

بیش از حد: excessive صفحه‌ی دریچه‌ی گاز: throttle plate

سیستم‌های بادی: pneumatic systems

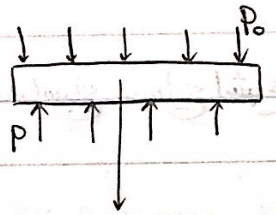
*سؤال: درمورد سازوکار بارومتر توضیح اجمالی داده شود لطفاً! ← حلّ

جلسه ۴

دماسنج ← روش سنجش دما ← انبساط مایعات

ساعت‌های پیزوالکتریک: (کوارتز موادی است که با شرودادن به آن بار (کولن) تولید می‌کند)

حل مسئله‌ی ۸۱:

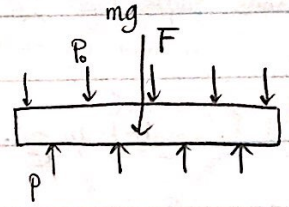


$mg + P_0 A - PA = 0$

$\Rightarrow P \rightarrow$ بدست میاد

فشار در دو طرف بخاطر اینکه گاز داریم، برابر است.

حل مسئله‌ی ۸۲:



$F_A + P_0 S_A = P S_A$

$1\ Pa = 1\ N/m^2$ $1\ bar = 100\ kPa$

$1\ \frac{kg}{cm^2} \equiv 10^5\ \frac{N}{m^2} = 100\ kPa = 1\ bar$

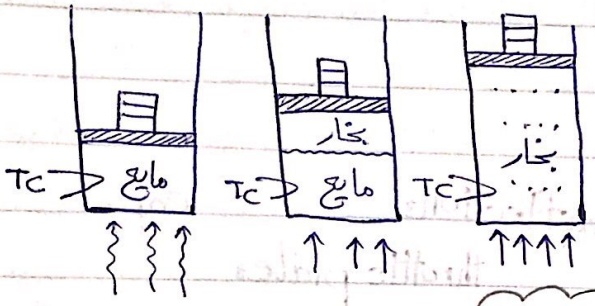
مسئله‌ی ۱۰۱ ← تقریباً سخت‌ترین مسئله‌ی ###فصل ۱ کتاب

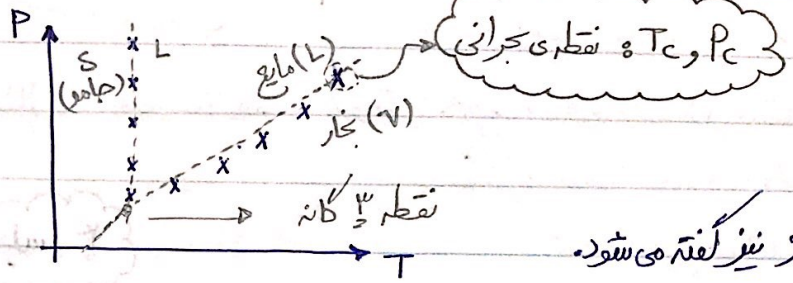
احتمالاً شنبه هفته‌ی بعد، اولین کوییز ترم می‌باشد.

Scanned by CamScanner

جلسه ۵

ترمودینامیک: ← TC





به نمودار P-T ، دیاگرام فاز نیز گفته می‌شود.

۷ نوع یخ طبق نمودار دیاگرام فاز آب داریم که از لحاظ کریستالی (ساختار) متفاوت هستند.

فرق بخار و گاز ← بخار در حوالی حالتی است که از مایع تبخیر شده، اما گاز از این حالت دور است

بخار اشباع - مایع اشباع - مایع فشرده یا مادون سرد - super cool

اگر گاز super heat داشته باشیم با در مای بالای نقطه‌ی بحرانی و فشار بالا، نمی‌توانیم بخار را به مایع تبدیل کنیم مگر اینکه فشار را کم کنیم.

*حل مسئله‌ی ۷۸ فصل ۱:

$P = 106060,979$ Pa

(راه ۱)

← وقتی پیستون به کف سیلندر چسبیده، فنر نیرویی وارد نمی‌کند!

ambient: (مثلاً فشار) محیط - محدود - محاصره شده

membrane: پوسته - غشاء - پوسته

pour: ریختن - افشاندن

concrete: بتن

expose: در معرض گذاشتن - نمایش دادن

Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱

جلسه ۶

B.1.1 : آب اشباع + ورودی

B.1.2 : آب اشباع + ورودی

B.1.3 : بخار سوپرهیت

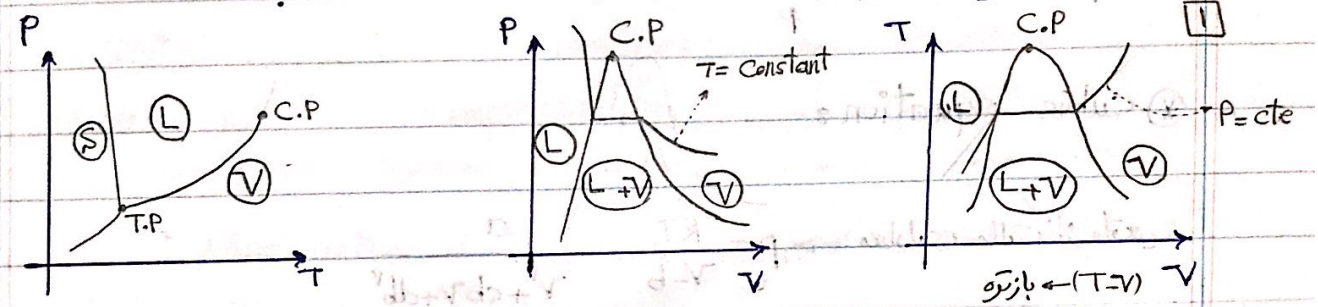
B.1.4 : مایع فشرده

compressed liquid = sub cooled liquid

* حجم مخصوص یک مقدار مایع اشباع تقریباً برابر با حجم مخصوص مایع غیراشباع هم‌دما با آن برابر است.

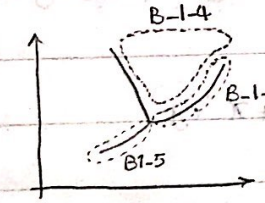
saturation : اشباع vessel : ظرف ـ آوند کشتی ـ رگ

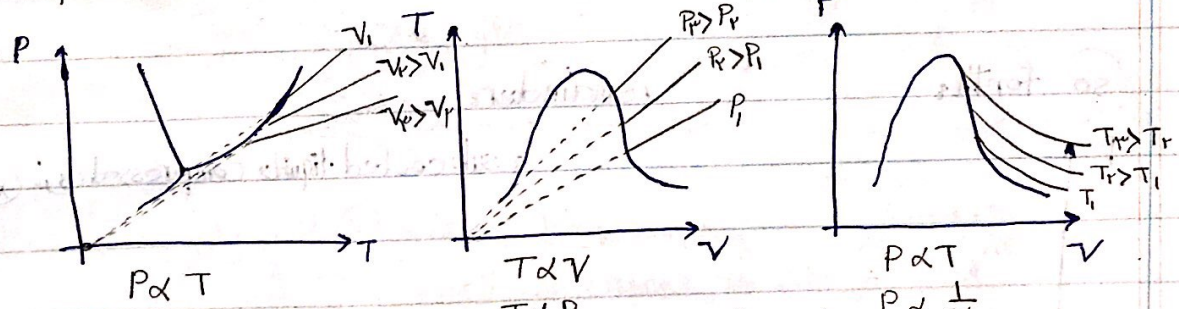
* نمای شماتیک نمودارهای (P-T) ، (P-V) ، (T-V) آب :



جلسه ۷

شنبه‌ی دوهفته‌ی بعد ← کوییز ۲





* این مشاهدات در حالت گاز سوپرهیت ثبت شده است.

$\bar{R} = 8.314 \ \frac{kJ}{kmol.K}$ → ثابت جهانی گاز

$PV = n\bar{R}T$

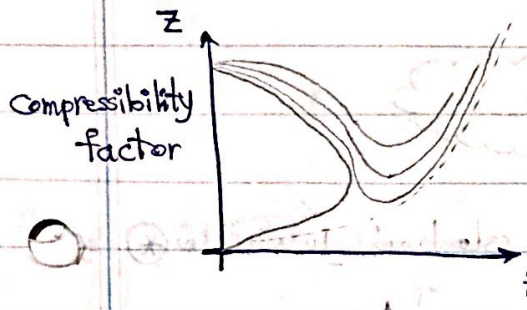
$R = \frac{\bar{R}}{M}$ → برای هر گاز متغیر → ثابت گاز

V

$$PV = nRT = \frac{m}{M}RT = mRT \Rightarrow \frac{m}{V} = \frac{P}{RT} \Rightarrow \rho = \frac{P}{RT}$$

(بستگی به گازش دارد)

در فشار و دمای ثابت، نسبت به زمان: $P\dot{V} = \dot{m}RT$; $\frac{dV}{dt} = \dot{V}$ & $\frac{dm}{dt} = \dot{m}$

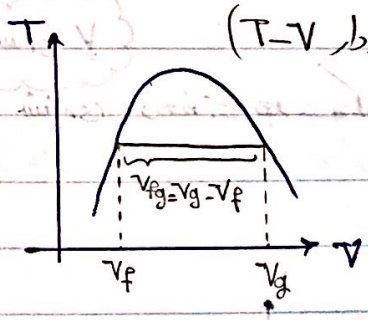


$$PV = ZRT$$

✱ cubic equation:

معادله‌ی حالت گاز واقعی $\Rightarrow P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2 + cbV + db^2}$

✱ مسائل مربوط به تعیین حجم مخصوص مخلوط مایع و بخار: (نمودار T-V)

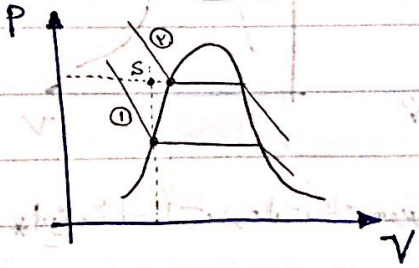


$$V = \frac{V}{m} = (1-x)V_f + xV_g$$

$$V = V_f + xV_{fg}$$

so forth: غیره remainder: باقی‌مانده

✱ فرق compressed liquid و sub cooled liquid:



اگر در حالت مایع اشباع نمودار ① ، فشار را زیاد کنیم، حالت S ، نسبت به نمودار ① ، compressed liquid و نسبت به نمودار ② که مایع اشباع آن هم فشار حالت S است ، Sub cooled liquid نامیده می‌شود.

اما در ادامه‌ی مبحث از هر دو اصطلاح با عنوان compressed liquid یاد می‌کنیم.

Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱

سید علی آل طه

⊛ وقتی دو ویژگی یک ماده را می‌دهد و ویژگی سوم را می‌خواهد:
مثلاً v و T را می‌دهد P را می‌خواهد. [۳] 2.5

۱- بررسی حالت یا state ماده ← مایع subcooled یا compressed ـ مایع اشباع ـ بخار اشباع ـ بخار superheat
۲- طبق ۱ یه جدول مورد نظر رفته و موقعیت دقیق و یا به احتمال زیاد، موقعیت تقریبی ماده را به دست می‌آوریم.
۳- طبق اعداد بدست آمده از جدول مورد ۲، نمودار مربوط را (در اینجا v-T و خطهای P ثابت) می‌کشیم.
۴- نمودار (در اینجا P-v) اغلب P-v را در دماهای خاص داده شده می‌کشیم (فرآیند هم‌دما را خطی فرض می‌کنیم)
۵- طبق مورد ۴ و خطی فرض کردن نمودار، نسبت و تناسب می‌نویسیم و P خواسته شده را می‌یابیم.

convenient: راحت — extend: توسعه دادن، گسترش دادن
approximation: تقریب — deviate: منحرف شدن — response: پاسخ گو بودن
constitute: تشکیل دادن — compressibility: تراکم پذیری — quantitative: کمّی، جواب دادن
severe: شدید

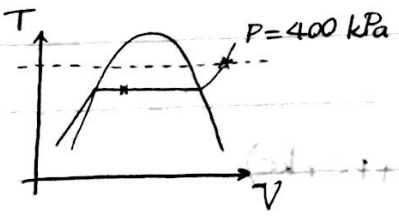
⊛ شرایط گاز کامل: ۱- از حجم ذرات صرف نظر کنیم ۲- از نیروهای درون مولکولی صرف نظر کنیم.

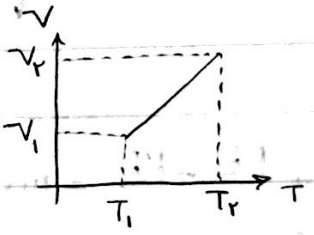
جلسه ۸

مایع متراکم ← dense fluid ← بالای نقطه‌ی c.P

2.47

quality: $\frac{\text{جرم گاز}}{\text{جرم کل}}$

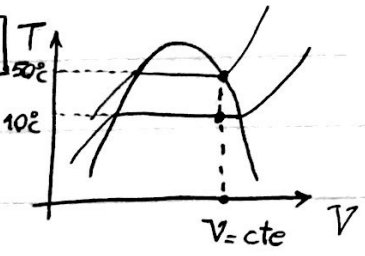




w. quality = ۱

$$y = y_0 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}(x - x_0)$$

2.57



حجم مخصوص
P: بدست میاد $\Rightarrow v_2 = \bar{v}_g$ ← جدول

توی صورت مسئله داده $v_2 = v_1$

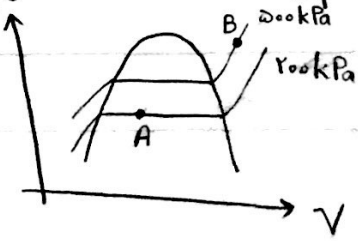
$\Rightarrow m_T = \frac{V}{v}$ $\Rightarrow m_T$: بدست میاد

$v_1 = \bar{v}_2 = \bar{v}_f + x\bar{v}_{fg} \Rightarrow x$ ✓ $\Rightarrow x = \frac{m_g}{m_T}$ ✓ $\Rightarrow$ ۲

2.52

A: $v = 1\ m^3$, $v = 0.5\ m^3/kg$, $P = 200\ kPa$

B: $m = 15\ kg$, $P = 0.5\ MPa$, $T = 600\ °C$



Scanned by CamScanner

$$v_T = \frac{V_T}{m_T} = \frac{V_A + V_B}{m_A + m_B}$$

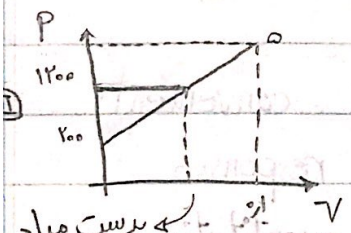
2.62

دمای بحرانی آب: $374^\circ C$

① $P = 5\ MPa$, $T = 400\ ^\circ C$, $V = 0.1\ m^3$

② $P = 1200\ kPa$, $T_2 = ?$, $V_2 = ?$

جدول ① $\rightarrow v = 0.05781\ m^3/kg \xrightarrow{v_{fg}} m = 1.7297\ kg$

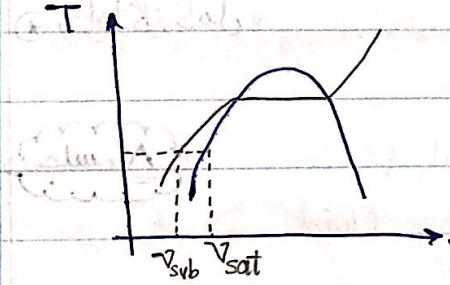


$$P = \frac{F_S}{A} + P_0$$

بدست میاد ← از

③ بعد نگاه می‌کنیم superheat هست یا نه ← که نیست.

④ $x = \checkmark = 0.0473$



جلسه ۹

$v_{sub} \simeq v_{sat}$

اگر مایع subcooled داشته باشیم، P و T را داشته باشیم، v_{sub} (حجم مخصوصش) برابراست با حجم مخصوص همان مایع در همان دما و در حالت اشباع.

(۳۷ ـ ۴۴ ـ ۴۷ ـ ۵۷ ـ ۵۹ ـ ۷۲ ـ ۷۹ ـ ۸۱ ـ ۸۳ ـ ۸۸ ـ ۹۲ ـ ۱۰۱ ـ ۱۰۵ ـ ۱۰۷
۱۴۳ ـ ۱۵۵ ـ ۱۴۶ ـ ۱۷۳ ـ ۱۹۴ ـ ۲۰۸ ـ ۲۱۱ ـ ۲۱۳ ـ ۲۱۶ ـ ۲۲۱ ـ ۲۳۶ ـ ۲۴۱)

⑤ فصل ۳ و ۴ ۲۴۶ ـ ۲۲۲ ـ ۱۰۱ ـ ۹۰ ـ ۲۲۰ ـ ۲۱۴ ـ ۲۱۲

$$E = U + PE + KE = m(u + pe + ke)$$ (انرژی داخلی)

$$PE = mgz$$

$$KE = \frac{1}{2} m V^2$$

انرژی داخلی ← گرما ـ کار (وابستگی به:)

$$\int_1^2 dE = \int_1^2 \delta Q - \int_1^2 \delta W$$

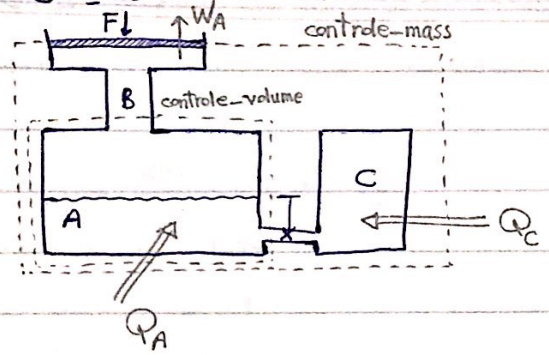
اندازه‌ی کاری که سامانه انجام می‌دهد

$$\Rightarrow E_2 - E_1 = Q_{1\to2} - W_{1\to2}$$

Scanned by CamScanner

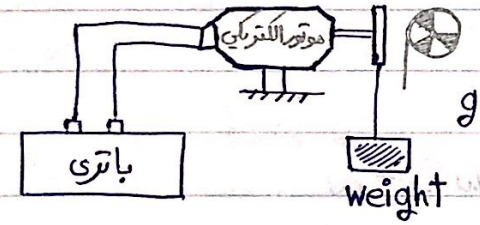
ترمودینامیک ۱

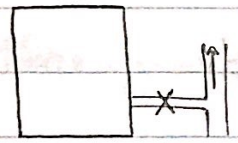
تأکید بر مسئله‌ی آخر طرح



in a cycle:

$$\oint dE = \oint \delta Q - \oint \delta W$$





(2.82)

(حفظ هوا)

حل مثال:

① حالت: $V = \frac{1}{2}\ m^3$, $P_1 = \frac{1}{2}\ MPa$, $T = 400\ ^\circ K$

② حالت: $T = 400\ K$, $P_2 = \frac{3}{2}\ MPa$

$PV = mRT$ (چون دما بیشتر از دمای بحرانی خیلی)

$R = \frac{\bar{R}}{M}$ → جدول A.5

$\Rightarrow m_1$ ✓ (پیدا میشه!)

$\Rightarrow m_2$ به همین روش که m_1 بدست آمد محاسبه می‌شود $\Rightarrow P_2 V_2 = m_2 R T_2$

(2.101) → حل شود

جلسه ۱۰

$$dE = dU + d(PE) + d(KE) = \delta Q - \delta W$$

$$\delta W = -Fdz = -d(KE)$$

$$\Rightarrow d(KE) = Fdz = ma\,dz = m\frac{dv}{dt} \times dz = mv\,dv$$

$$\Rightarrow \int_1^2 d(KE) = \int_1^2 mv\,dv = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2)$$

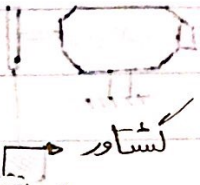
Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱ — سیّد علی آل طه

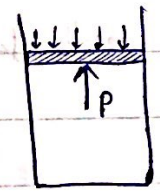
$\dot{W} \longrightarrow (J/s)$ یا $(\frac{N.m}{s})$ یا (W)

$1\,hP = 550\ \frac{lbm.lbf}{sec}$

$1\,hP = 745.5\ W$



$$\frac{\delta W}{dt} = F\frac{ds}{dt} = Fr\frac{d\theta}{dt} = Fr\omega = T\omega$$



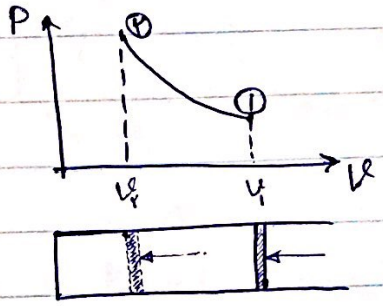
$$\delta W = F.dz = PA\,dz = p\,dV$$

$$\Rightarrow \delta W = PdV$$

$$\Rightarrow W = \int_1^2 \delta W = \int_1^2 P\Delta V = \int_1^2 PdV$$

برای شبه تعادلی و حرکت آرام پیستون

quasi – eq.



P-V : فیت کردن نمودار بر poly Tropic ← از چم ریشه‌ای آمده

poly Tropic

$$\boxed{PV^n = C} \Longrightarrow P_1V_1^n = P_2V_2^n \quad , \quad P = \frac{C}{V^n}$$

$$\Rightarrow W_{1\to 2} = \int_1^2 pdV = \int_1^2 \frac{C}{V^n}dV = \frac{C}{1-n}V^{-n+1}\Big|_1^2 = \frac{C}{1-n}\left(V_2^{1-n} - V_1^{1-n}\right)$$

$$PV^n = C \quad \Longrightarrow \quad \frac{P_2V_2^n \cdot V_2^{1-n} - P_1V_1^n \cdot V_1^{1-n}}{1-n} = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} \quad ;\ \text{if } n=1 \Rightarrow W_{1\to 2} = P_1V_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$$

Scanned by CamScanner

$Q = -AK\frac{dT}{dx}$ ⟵ انتقال گرما

K فلزات $\xrightarrow{\text{order از}}$ 100 $\frac{W}{m.K}$

جامدات غیرفلزی ~ ۱-۱۰۰

مایعات ~ ۰.۱-۱

مواد عایق ~ ۰.۱

گاز ~ ۰.۰۱

برای تابش ⟹ $A\varepsilon\sigma(T_A^4 - T_B^4)$

convection: $Q = Ah(T_{\text{جسم}} - T_{\text{محیط}})$

3.47 V_1: ✓ , P_1, P_2: ✓ → Ideal gas law → U_2 ✓

جلسه ۱۱

$W = \int P dV = P_{\text{خارجی}} \int dV = P_2 \Delta V$ ✓

$E = U + PE + kE$

↳ امروز

امروز می‌خواهیم درباره‌ی انرژی درونی صحبت کنیم:

$U = U_f + x U_{fg}$

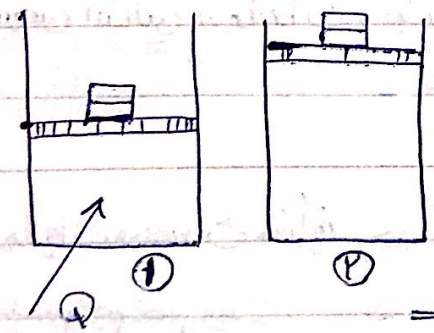
مانند رابطه‌ی V : V_{fg} ، V_f :

۱ lbm آب

۷۰،۵ F →

British Thermal Unit

BTU



$E_2 - E_1 = Q_{1\to 2} - W_{1\to 2} = U_2 - U_1 = H_2 - H_1$

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

$\Rightarrow Q = U_2 - U_1 + W_{1\to 2} = (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) = H_2 - H_1$

Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱

H: Enthalpy

$h = h_f + x h_{fg}$ → گرمای نهان تبخیر

(گرمایی که لازم است تا یک مایع را به بخار تبدیل کنیم.)

* آنتالپی مایع تقریباً برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود.

⊛ میزان گرما برای افزایش $1^\circ C$ یا $1K$:

① انتقال گرما در حجم ثابت:

$$\delta Q = du + \delta W \Rightarrow \delta Q = du + p dv$$

$$\xrightarrow{dv=0} \delta Q = du \Rightarrow \frac{\delta Q}{\delta T} = \frac{\delta u}{\delta T} \Rightarrow \frac{\delta Q}{\delta T} = \frac{\partial u}{\partial T}$$

$$\Rightarrow C_v = \frac{\delta Q}{m \delta T} = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v$$ ← حجم ثابت

② انتقال گرما در فشار ثابت:

$$\delta Q = du + p dv \qquad d(PV)$$

$$\xrightarrow{P=cte} \delta Q = du + p dv + v dp - v dp$$

$$\xrightarrow{dP=0} \delta Q = du + d(PV) - v\cancel{dP} \Rightarrow \delta Q = d(u + PV)$$

$$\Rightarrow \delta Q = d\underbrace{(u + PV)}_{H} = dH$$

$$\Rightarrow C_p = \frac{1}{m}\cdot\left(\frac{\delta Q}{\delta T}\right)_p = \frac{1}{m}\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p$$ ← فشار ثابت

⊛ بررسی آنتالپی در مایعات و جامدات: (مواد چگال: dense)

$$dh = d(u + pv) = du + p dv + v dp$$

$$\xrightarrow[v: \text{خیلی کم} \Rightarrow v dp \simeq 0]{dv \simeq 0} dh \simeq du \longrightarrow C_p \simeq C_v$$

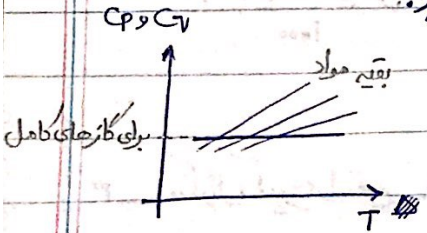
مایعات و جامدات

پس در مایعات و جامدات، فرآیند هم فشار یا هم حجم مهم نیست.

Scanned by CamScanner

مایعات معمولاً ظرفیت های حرارتی بیشتری نسبت به جامدات دارند.

میزان ظرفیت های حرارتی با افزایش دما، افزایش می یابند.



کوئیز ۲: ۸/۱ شنبه
کوئیز ۳: ۸/۱۵ شنبه
کوئیز ۴: ۸/۲۲ شنبه
(کوئیزها بعد از میان ترم)
میان ترم ۸/۲۷ پنج‌شنبه

جلسه ۱۲

طبق مشاهدات $\begin{cases} u = f(t) \text{ یا } f(T) \\ h = g(T) \end{cases}$ (t: دما)

$$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v \Rightarrow du = C_{v_0}\, dT$$
(C_{v_0}: گاز کامل دما)

$$C_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p \Rightarrow dh = C_{p_0}\, dT$$
(C_{p_0}: گاز کامل دما)

* ظرفیت های حرارتی، تابعی از دما هستند.

$h = u + pv$ (h: آنتالپی واحد جرم، u: انرژی درونی واحد جرم)

گازهای کامل $\Rightarrow h = u + RT \Rightarrow dh = du + R\,dT$

$\Rightarrow C_{p_0} dT = C_{v_0} dT + R\,dT \Rightarrow C_{p_0} = C_{v_0} + R \Rightarrow \boxed{C_{p_0} - C_{v_0} = R}$

$$\circledast\ dh = C_{p_0} dT \Rightarrow \int_1^2 dh = \int_1^2 C_{p_0} dT \Rightarrow h_2 - h_1 = \int_1^2 C_{p_0} dT$$

۱- فرض می کنیم که C_{p_0} ثابت است.

$$\Rightarrow h_2 - h_1 = C_{p_0}(T_2 - T_1)$$

Scanned by CamScanner

۲- فرض می‌کنیم C_{p_0} ثابت نیست.

$C_{p_0} = g(T)$

(فیت کردن نمودار)

$\Rightarrow C_{p_0}(\theta) = C_0 + C_1\theta + C_2\theta^2 + C_3\theta^3 \quad ; \quad \theta = \frac{T(\text{کلوین})}{1000}$

جدول A.6

۳- انتگرال گیری واقعی C_{p_0}:

$$h_2 - h_1 = \int_{T_0}^{T_2} C_{p_0}\,dT - \int_{T_0}^{T_1} C_{p_0}\,dT =$$

$= h_{T_2} - h_{T_1}$ ← از جدول

3.55

① $P = 120\ kPa$, $T = 320\ K$ ② $P = 500\ kPa$, $T = 400\ K$

polytropic exponent? $(n = ?)$

$$P_1V_1^n = P_2V_2^n \Rightarrow \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n = \frac{P_1}{P_2} \xrightarrow{Ln} n\,Ln\frac{V_2}{V_1} = Ln\frac{P_1}{P_2}$$

$$\Rightarrow n = \frac{Ln\frac{P_1}{P_2}}{Ln\frac{V_2}{V_1}} \Rightarrow P_1, P_2: \checkmark \quad V_1, V_2: \times \qquad V_1 = \frac{RT}{P_1} \checkmark$$

3.164 isothermal

$n = 1 \Rightarrow$

① $P_1 = 1\ MPa$, $V_1 = 1\ cm^3$, $T = 300\ K$ $\xrightarrow{P_1V_1 = P_2V_2}$ ② $P_2 = 0.1$, $V_2 = ?$ $\Rightarrow V_2$ ✓

گاز کامل تر دیلتون

$$m_{air} = \frac{P_1V_1}{RT} = \frac{P_2V_2}{RT} \quad m: \checkmark$$

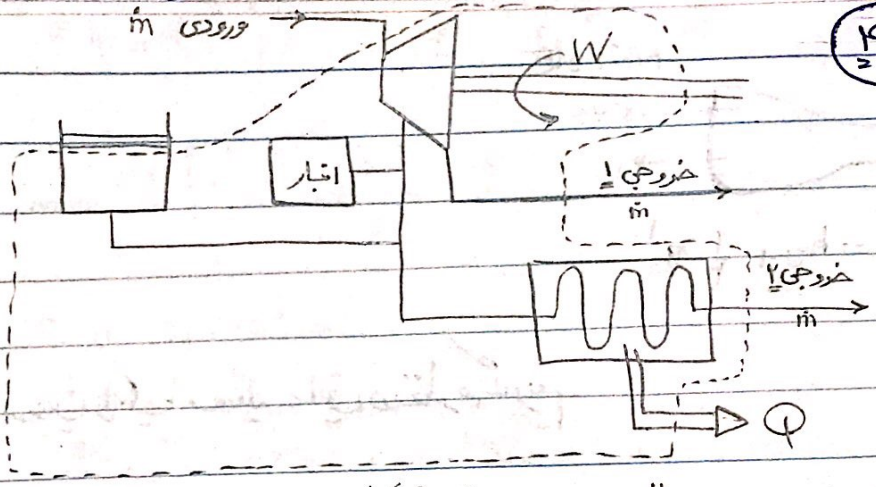
$$W = \int_{n=1} p\,dV = P_1V_1 \int \frac{dV}{V} = \dots = Ln1 \text{ ✓ فکلم}$$

$W_{\text{هوا از سرود}} = P_0\Delta V$

Scanned by CamScanner

ترمودینامیک ۱

جلسه ۱۳ | فصل ۴



$$\dot{m} = \frac{d(\rho V)}{dt} = \frac{d(\rho A h)}{dt} = \rho A \frac{dh}{dt} = \rho A(\bar{V}) \longrightarrow \text{سرعت}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \underbrace{\left[\sum \dot{m}_i \left(h_i + gz_i + \tfrac{1}{2}V_i^2\right)\right]}_{\text{جریان ورودی}} - \underbrace{\left[\sum \dot{m}_e \left(h_e + gz_e + \tfrac{1}{2}V_e^2\right)\right]}_{\text{جریان خروجی}}$$

$$e = u + \tfrac{1}{2}V^2 + gz \longrightarrow \text{خاصیت ترمودینامیکی}$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_i h_i - \sum \dot{m}_e h_e$$

حالت دائمی (با زمان تغییر نمی‌کند) ـ حالت گذرا (با زمان تغییر می‌کند.)

steady state ← | translate state ←

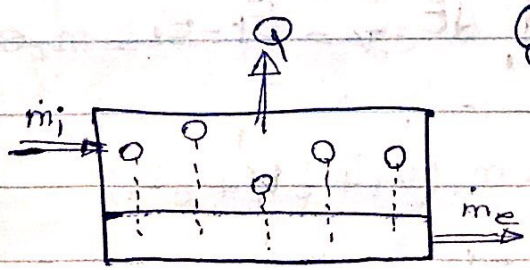
حالت دائمی:

$$\sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i = \dot{Q} - \dot{W}$$

⊛ در Controle Vol. ورود ماده همراه با آنتالپی است.

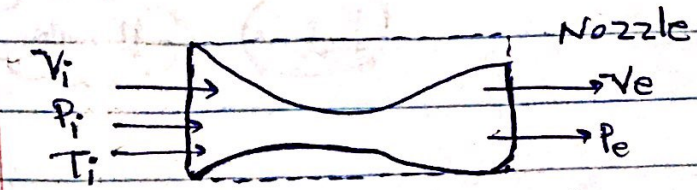
جلسه ۱۴

$$h_{t,i} + q = \dot{W}_{\text{specific}} + h_{\text{total}}$$



$$\dot{m} h_i + \dot{Q} = \dot{m} h_e$$

Scanned by CamScanner

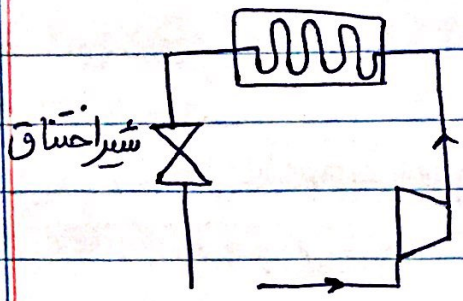


$$h_i + \frac{1}{2}V_i^2 = h_e + \frac{1}{2}V_e^2$$

توربین را یک وسیله عایق در نظر می‌گیریم.

$$h_i = w + h_e$$

جلسه ۱۵



در شیر اختناق فرآیند آنتالپی ثابت انجام می‌شود.

F,۱۱۸:

$$\dot{m} = \dot{m}_5 = \rho_5 . V_5 A_5$$

$$V_5 = \frac{\dot{m}_5}{\rho_5 . A_5}$$

$v_5 = 0,0414 \frac{m^3}{kg}$ $\Rightarrow$ $V_5 = 49,021 \frac{m}{s}$

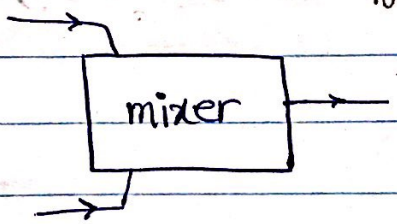
$\rho_5 = \frac{1}{v_5} \rightarrow T_5 \rightarrow P_5$

$h_i = w + h_e \rightarrow \dot{W} = \dot{m} w \rightarrow \dot{W}$:✓

$h_7 = h_f + x h_{fg} \rightarrow h_7$ ✓ ، $w = h_8 + \frac{1}{2}\frac{V_8^2}{1000} - (h_7 + \frac{1}{2}\frac{V_7^2}{1000})$

استاد سوال d_7 ؟ پرسید.

F,۲۰۶ حل شود



$$\frac{dE_{c.v}}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \Sigma \dot{m}_i h_i - \Sigma \dot{m}_e h_e$$

$$\int_1^2 dE_{c.v} = E_2 - E_1 = m_2 e_2 - m_1 e_1 = m_2 \left(u_2 + \frac{1}{2}V_2^2 + g z_2\right) -$$

$$- m_1 \left(u_1 + \frac{1}{2}V_1^2 + g z_1\right)$$

Scanned by CamScanner

if $h_i = cte$ $\rightarrow \int \dot{m}_i h_i \, dt = h_i \int \dot{m}_i \, dt = h_i (m_2 - m_1)$

$\Rightarrow \Sigma \int \dot{m} h_i^{\equiv} \, dt = \Sigma m_i h_i$

معادله‌ی انرژی برای حالت transient

$$E_2 - E_1 = m_2\left(u_2 + \frac{1}{2}V_2^2 + gz_2\right) - m_1\left(u_1 + \frac{1}{2}V_1^2 + gz_1\right) +$$

$$+ \underset{1\to2}{Q} - \underset{1\to2}{W} + \Sigma m_i h_{t+i} - \Sigma m_e h_{te}$$

(F 1.29) $E_2 - E_1 = \underset{1\to2}{Q} + m_i h_i$

$\Rightarrow m_2 u_2 - m_1 u_1 = \underset{1\to2}{Q} + m_i h_i$

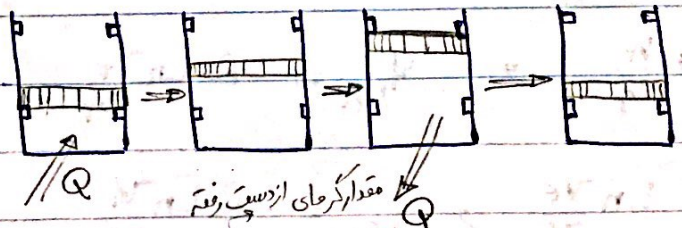
$m_2 - m_1 = m_i$

$m_1 = \frac{PV}{RT_1} \Rightarrow m_1$: ✓ $\rightarrow m_2$: ✓ $\begin{cases} m_1 = 1.1214 \text{ kg} \\ m_2 = 1.4144 \text{ kg} \end{cases}$

$\Rightarrow Q$: ✓

جلسه ۱۲ چرخه داشتیم یا $\oint \delta Q = \oint \delta W$ و قانون اول ترمو if $\Delta E = 0$

قانون دوم ترمو: موتور گرمایی



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

گرمای گرفته شده توسط چرخه

Scanned by CamScanner

به ازای هر مگاوات، $1\ m^3/s$ سیال عامل در چرخه حرکت می‌کند.

بازده یخچال β ضریب عملکرد $cop = \frac{Q_L}{W}$ ← compressor ، $Cop = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$

قانون دوم ترمودینامیک در دو بیان Kelvin-plank و clausius

جلسه ۱۲

- نمی‌توان دستگاهی ساخت که در یک سیکل کار کند و در آن گرما را از جسم سرد بگیرد و به جسم گرم دهد (کلازیوس) اثری بغیر از این داشته باشد که

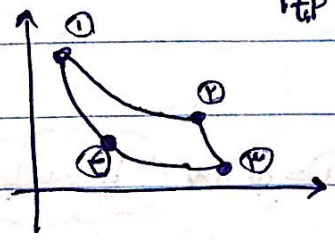
- نمی‌توان دستگاهی ساخت و اثری به جز بلند کردن یک وزنه و تبادل گرما با یک منبع داشته باشد؛ (کلوین - پلانک)

⊛ سیکل کارنو - CIC

جلسه ۱۳

ماسنج حجم ثابت:

$T = 273{,}16 \times \frac{P}{P_{t.p}}$



گرمای موجود در فرآیندها در یک چرخه کارنو:

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

$q_H = q_{1\to 2} = RT_H \ln\frac{V_2}{V_1}$ و $q_{2\to 3} = -R \ln\frac{V_3}{V_2}$

$q_L = q_{3\to 4} = RT_L \ln\frac{V_4}{V_3}$ ، $q_{4\to 1} = -R \ln\frac{V_1}{V_4}$

$\Rightarrow \frac{q_L}{q_H} = \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \overset{\text{کارنو}}{=} 1 - \frac{T_L}{T_H}$

Scanned by CamScanner

جلسه ۱۹

$\frac{Q_L}{Q_H} = \frac{T_L}{T_H}$: درگازهای کامل تساوی مقابل کاملاً درست است

clc: Chemical looping Combustion

cryogenic : زم استیک → مباحثی مربوط به دمای زیر ۱۵۰°c-

جلسه ۲۰

$\oint \delta Q = Q_H - Q_L > 0$ حالت برگشت پذیر

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

نابرابری کلازیوس Clasus

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

حالت برگشت ناپذیر

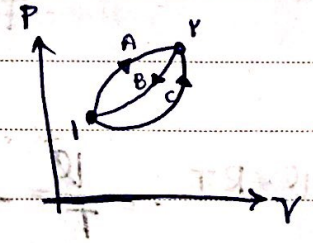
$\oint \delta Q = Q_H - Q_L > 0$

$W_{irr} < W_{rev}$

$Q_H - Q_{L\,irev} < Q_H - Q_{L\,rev} \Rightarrow \boxed{Q_{L\,irr} > Q_{L\,rev}}$

$\Rightarrow \left(\oint \frac{\delta Q}{T}\right)_H + \left(\oint \frac{\delta Q}{T}\right)_L$

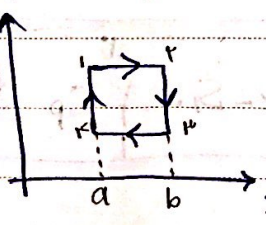
$\Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_{L\,irr}}{T_L} < 0$ ✓



$\Rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C$ → تابع مسیر نیست. (کمیت ترمودینامیکی)

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

isentropic: آدیاباتیک و برگشت پذیر



(بازده) $\eta = \frac{W}{Q_H} = \frac{\text{Area}(1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}1)}{\text{area}(1\text{-}2\text{-}b\text{-}a\text{-}1)}$

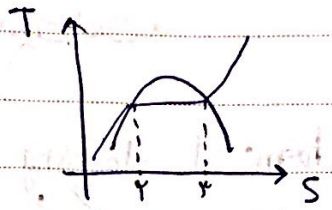
PAPCO
Scanned by CamScanner

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$s_2 - s_1 = \frac{Q_{1,2}}{T}$$

$$s_2 - s_1 = \frac{q_{1,2}}{T} \quad T = \frac{h_{fg}}{T} = s_{fg}$$



روابط گیبس

$$Tds = du + pdv$$

$$Tds = dh - vdp$$

Gibbs equations

جلسه ۲۱

مواد جگال:

$$h = u + pv$$

$$\Rightarrow dh = du + d(pv) = du + pdv + vdp$$

v و dv خیلی کم است.

$$dh \simeq du = cdT$$

$$Tds = du + \underbrace{pdv}_{\text{خیلی کم}} \simeq du = cdT$$

$$\Rightarrow ds = c\frac{dT}{T} \Rightarrow \boxed{s_2 - s_1 = C \ln \frac{T_2}{T_1}} \quad (C_p = C_v = C)$$

برای گاز کامل:

$$Pv = RT \Rightarrow \frac{v}{T} = \frac{R}{P}$$

طرفین $\Rightarrow ds = \frac{dh}{T} - \frac{vdP}{T} = C_p\frac{dT}{T} - \frac{RdP}{P}$

$$\Rightarrow \boxed{s_2 - s_1 = \int_1^2 C_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}}$$

Scanned by CamScanner

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

Isentropic $\longrightarrow S_2 = S_1 \Longrightarrow 0 = C_p^\circ \ln\frac{T_2}{T_1} - R \ln\frac{P_2}{P_1}$

$$\Longrightarrow \cdots \Longrightarrow \boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{R}{C_p}}}$$

$\frac{R}{C_p} = ?$ $\Longrightarrow C_p - C_v = R$

حدبالاعیاین k ← درامتحان می‌آید.

$$1 - \frac{C_v}{C_p} = \frac{R}{C_p} \Longrightarrow \frac{C_p}{C_v} = k \Longrightarrow 1 - \frac{1}{k} = \frac{R}{C_p}$$

$$\Longrightarrow \frac{R}{C_p} = 1 - \frac{1}{k} = \frac{k-1}{k}$$

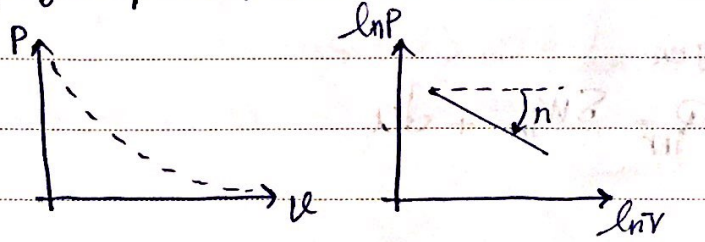
$$\Longrightarrow \boxed{\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}}$$

برای گازهای کامل: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{T_2}{T_1} \times \frac{v_1}{v_2} \Longrightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \cdot \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{\frac{k-1}{k}}$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1}$$

فرایند isentropic می‌شود.

poly tropic: $PV^n = C \quad ; \quad n = k \Longrightarrow \cdots$



جلسه ۲۲

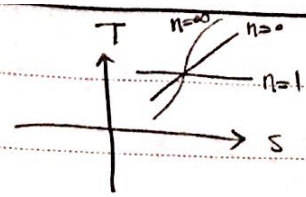
$$\frac{d\ln P}{d\ln V} = -n$$

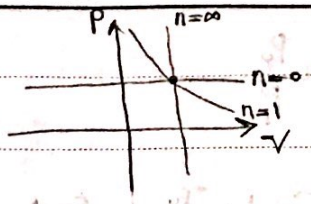
$\Longrightarrow PV^n = cte \Longrightarrow W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1-n}$ ، برای گازهای کامل

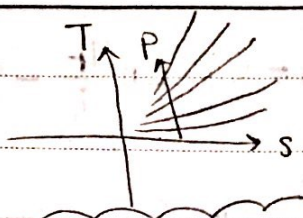
$\xrightarrow{n=1} W = mRT \ln\frac{V_2}{V_1} = mRT \ln\frac{P_1}{P_2}$ برای گازهای کامل

PAPCO

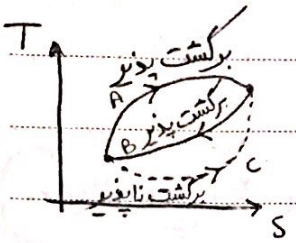
Scanned by CamScanner







در هر نقطه شیب خطوط حجم ثابت از فشار ثابت در T-S بیشتر هستند.



⊛ فرآیندهای برگشت ناپذیر:

(A و B) $\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B = 0$ (I)

(C و B) $\oint \frac{\delta Q}{T} = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_C + \int_2^1 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_B < 0$ (II)

(I) و (II) $\Rightarrow \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_A > \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{C\ irrev.}$ $\xrightarrow{\text{حالت کلی}}$ $S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$

$S_2 - S_1$

برای فرآیندهای برگشت پذیر و برگشت ناپذیر

$$\begin{cases} S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{rev.} \\ S_2 - S_1 > \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irrev.} \end{cases}$$

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{irrev.} + S_{gen}$$

$$\boxed{\delta S_{gen} \geq 0}$$

برگشت پذیر: $\begin{cases} \delta Q = T ds \\ \delta W = p dV \end{cases}$

برگشت ناپذیر: $\begin{cases} \delta Q = T ds - T \delta S_{gen} \quad (\delta Q_{irr} < \delta Q_{rev}) \\ \delta W = ? \Rightarrow \delta Q_{irr} = \delta W_{irr} + dU \end{cases}$

$\Rightarrow \delta W_{irr} = \delta Q_{irr} - dU$

$\Rightarrow \cdots \Rightarrow$ $\boxed{\delta W_{irr} = p dV - T \delta S_{gen}}$

$T \delta S_{gen}$ → lost work

PARCO

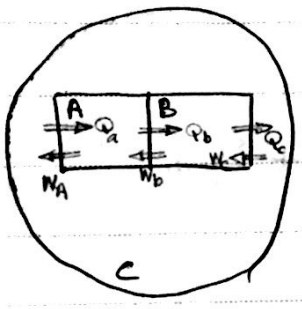
Scanned by CamScanner

Subject:

Year. Month. Date. ( )

جلسه ۲۳

۹٫۵۰



$$E_2 - E_1 = Q_a - Q_b + W_b - W_a \quad (a)$$

$$E_2 - E_1 = Q_b - Q_c + W_c - W_b \quad (b)$$

$$E_2 - E_1 = Q_c - Q_A + W_A - W_c \quad (c)$$

$$\oplus$$

$$(E_2 - E_1)_T = 0$$

$$(S_2 - S_1)_A = \int \frac{\delta Q_a}{T_a} - \int \frac{\delta Q_b}{T_b} + \delta S_{gen A}$$

$$(S_2 - S_1)_B = \int \frac{\delta Q_b}{T_b} - \int \frac{\delta Q_c}{T_c} + \delta S_{gen B}$$

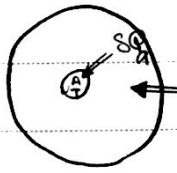
$$(S_2 - S_1)_C = \int \frac{\delta Q_c}{T_c} - \int \frac{\delta Q_a}{T_a} + \delta S_{gen C}$$

$$\oplus$$

$$(S_2 - S_1)_T = \delta S_{gen A} + \delta S_{gen B} + \delta S_{gen C}$$

(اصل افزایش آنتروپی)

اثبات: $\delta S_{gen} \geq 0$



$$\xrightarrow[\text{state}]{\text{steady}} ds = 0 \Rightarrow \frac{\delta Q_0}{T_0} - \frac{\delta Q_a}{T} + \delta S_{gen} = 0$$

$$\Rightarrow \delta S_{gen} = \delta Q \underbrace{\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)}_{\oplus} \Rightarrow \delta S_{gen} > 0$$

$$\begin{cases} \dot{Q}_H - \dot{Q}_L - \dot{W} = 0 \\ \frac{\dot{Q}_H}{T_H} - \frac{\dot{Q}_L}{T_L} + \delta S_{gen} = 0 \end{cases}$$

steady state

$$\Rightarrow \begin{cases} -\dot{Q}_L = \dot{W} - \dot{Q}_H \\ \dot{Q}_L = \dot{Q}_H \cdot \frac{T_L}{T_H} + T_L \delta S_{gen} \end{cases}$$

$$\Rightarrow \dot{W} = \dot{Q}_H \left(1 - \frac{T_L}{T_H}\right) - T_L \cdot \delta S_{gen}$$

$\Rightarrow$ if $T_L \to 0 \Rightarrow$ S_{gen} می‌رود به سمت تأثیر کمتر

تعریف آنتروپی

برای HP نیز بررسی شود.

Scanned by CamScanner

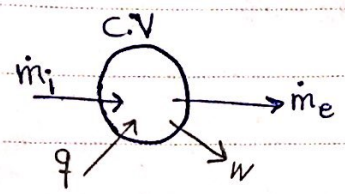
Subject:

Year. Month. Date. ( )

جلسه ۲۴

برگشت پذیری ② - انتقال حرارت ① : دو عامل در تغییر آنتروپی

$$\frac{dS_{c.v}}{dt} = \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \sum \frac{\dot{Q}_{c.v}}{T} + \dot{S}_{gen}$$



$$S_{c.v} = \iiint \rho s \, dv \xrightarrow{\text{if } s=cte} s \int \rho dv = s m_{c.v} = \sum m_j s_j$$

$$\dot{S}_{gen} = \int \rho \dot{s}_{gen} dv \xrightarrow{\text{if } \dot{s}_{gen}=cte} \dot{s}_{gen} \cdot m = \sum m_j \dot{s}_{gen\,j}$$

$$\sum \frac{\dot{Q}_{c.v}}{T} = \int \frac{d\dot{Q}}{T} = \iint \left(\frac{\dot{Q}}{A}\right) \frac{dA}{T}$$

$\dot{m}_i$
$\dot{m}_i h_i$
$\dot{m}_i s_i$

if $\dot{m}_i = \dot{m}_e \Rightarrow \dot{m}(s_e - s_i) = \sum \frac{\dot{Q}_{c.v}}{T} + \dot{S}_{gen}$

, $\frac{dS_{c.v}}{dt} = 0$

steady state $\Rightarrow s_e - s_i = \sum \frac{q_{c.v}}{T} + s_{gen}$ ← همچنین حالت transient هم تدریس شد

از معادله انرژی : $w = q + (h_i - h_e) + \frac{1}{2}(v_i^2 - v_e^2) + g(z_i - z_e)$

اثباتی بسیار مهم

$\delta q = Tds - T\delta s_{gen}$
$Tds = dh - vdp$ $\Rightarrow \delta q = dh - vdp - T\delta s_{gen}$

$$\Rightarrow \int_i^e dq = \int_i^e dh - \int_i^e v dp - \int_i^e T \delta s_{gen}$$

$$\Rightarrow q = (h_e - h_i) - \int_i^e v dp - \int_i^e T \delta s_{gen}$$

جاگذاری در معادله W ... $\Rightarrow W = -\int_i^e v dp + g(z_i - z_e) + \frac{1}{2}(v_i^2 - v_e^2) - \int_i^e T \delta s_{gen}$ ✓

ناشی از شفت ورک

برای پلی تروپیک : $W = \frac{-n}{n-1}(P_e v_e - P_i v_i) = \frac{-nR}{n-1}(T_e - T_i) = -P_i v_i \ln \frac{P_e}{v_e}$

PAPCO

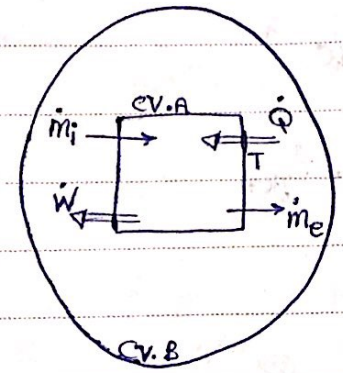
Scanned by CamScanner

Subject:

Year. Month. Date. ( )

جلسه ۲۵

اصل افزایش آنتروپی از دیدگاه Controle volume:



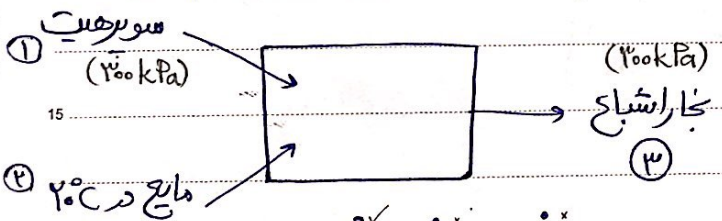
$$\frac{dS_{CVA}}{dt} = \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{m}_i s_i - \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen\,A}$$

$$\frac{dS_{CV.B}}{dt} = -\frac{\dot{Q}}{T} - \dot{m}_i s_i + \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen\,B}$$

$$\Rightarrow \frac{dS_{net}}{dt} = \frac{dS_{CVA}}{dt} + \frac{dS_{CVB}}{dt} = \dot{S}_{gen\,A} + \dot{S}_{gen\,B} \geq 0$$

(افزایش آنتروپی)

بخار	۲ kg/s P = ۳۰۰ kPa T = ۴۰۰ K	بخار ورود → اشباع آب مایع	بخار اشباع P = ۳۰۰ kPa

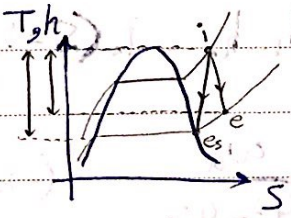


$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$
$$\dot{m}h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

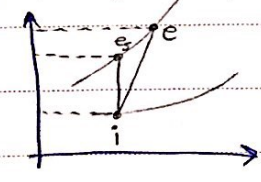
مایع در ۳۰۰kPa و ۲۰°C ⟹ Compressed ⟹ خصوصیات مایع اشباع در همان دما ⟹ ...

بازده در توربین:

$$h_i = h_e + W_a$$
$$\Rightarrow W_a = h_i - h_e = C_p(T_i - T_e)$$
$$\eta_t = \frac{W_a}{W_s} = \frac{h_i - h_e}{(h_i - h_{es})}$$



بازده در کمپرسور:



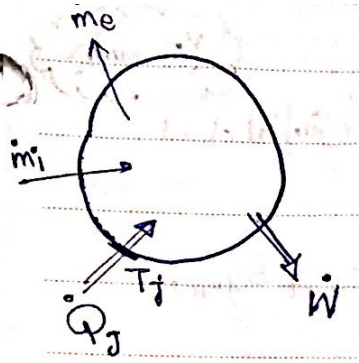
$$\eta_{comp} = \frac{W_s}{W_a}$$

و نازل هم چنین

P4PCO

Scanned by CamScanner

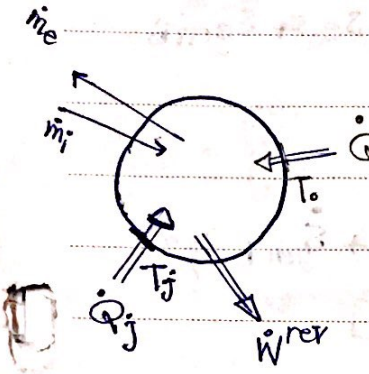
جلسه ۲۶ — فصل ۵ :



$$\frac{dm_{c.v}}{dt} = \dot{m}_i - \dot{m}_e$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_j + \dot{m}_i h_i - \dot{m}_e h_e - \dot{W}_{ac}$$ ← actual

$$\frac{dS_{cv}}{dt} = \frac{\dot{Q}_j}{T_j} + \dot{m}_i s_i - \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{gen}$$



$\dot{S}_{gen} = \frac{\dot{Q}_0^{rev}}{T_0}$ (Q_0 ← گرمای فرضی)

$$\dot{W}^{rev} = \dot{W}_{ac} + \dot{Q}^{rev}$$

$$\rightarrow \dot{W}^{rev} - \underbrace{\dot{W}_{ac}}_{\text{جابجایی از بالای صفحه}} + \underbrace{\dot{Q}^{rev}}_{T_0 \dot{S}_{gen}} = \dots = \underbrace{\sum \left(1 - \frac{T_0}{T_j}\right) \dot{Q}_j}_{\text{availablity}} + \sum \dot{m}_i \underbrace{(h_i - T_0 s_i)}_{h_{ti}} - \underbrace{\sum \dot{m}_e (h_e - T_0 s_e)}_{\text{exergy}} - \left[\frac{dE_{c.v}}{dt} - T_0 \frac{ds_{cv}}{dt}\right]$$

flow availability

$$\underbrace{\dot{I}}_{\text{irreversibility}} = \dot{W}^{rev} - \dot{W}_{ac} = \dot{Q}^{rev} = T_0 \dot{S}_{gen}$$

جلسه ۲۷

$$\psi = \dot{m}\left(h - h_0 - T_0(s - s_0)\right)$$ (s کوچک)

$$\eta_{turbine} = \frac{\omega_a}{\psi_i - \psi_e}$$ (η_{II_t}) (در توربین - بازده -) : بازده درقانون دوم در توربین

$$\eta_{compressor} = \frac{\psi_e - \psi_i}{w_a}$$ (η_{II_c}) (بازده در کمپرسور)

Scanned by CamScanner

جلسه ۲۸

تفاوت بازده قانون اوّل و دوّم ← درامتحان

$$\dot{W}^{rev} = \dot{\phi}_q + \left(\Sigma \dot{m}_i \psi_i - \Sigma \dot{m}_e \psi_e\right) - \dot{\phi}_{cv} + P_0 \dot{V}$$

بازده قانون دوّم: $\eta_{II_{st}} = \dfrac{\omega_a}{\psi_i - \psi_e}$ ، $\eta_{II_{oC}} = \dfrac{\psi_e - \psi_i}{\omega_a}$

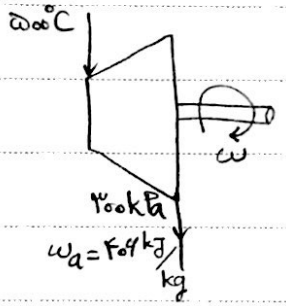
$$\eta_{II} = \frac{\dot{\phi}_{\text{منبع}} - T\dot{S}_{gen}}{\dot{\phi}_{\text{منبع}}} = \frac{\dot{\phi}_{\text{مطلوب}}}{\dot{\phi}_{\text{منبع}}}$$

ورودی توربین بخار: $P = 1200\ kPa$ ، $T = 500\ ^\circ C$

خواسته مسئله: η_I ، $\eta_{II} = ?$

خروجی واقعی: $100\ kPa$

کار واقعی: $404\ kJ/kg$



$$\eta_I = \frac{\omega_a}{h_i - h_{es}}$$

Scanned by CamScanner