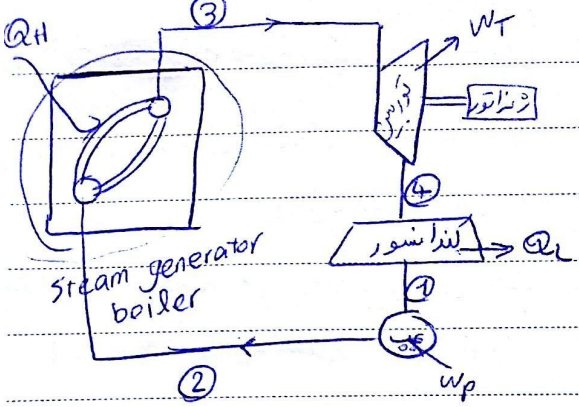
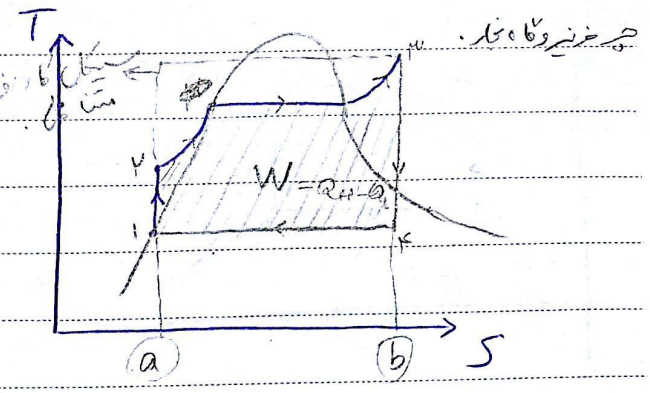
Subject:
Date

ترمودینامیک II . جلسه اول :





چرخه نیروگاه بخار.

قانون اول برای چرخه :

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \Rightarrow W_T - W_p = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{Th} = \frac{W_T - W_P}{Q_H} \simeq \frac{W_T}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

1 → 2 : تراکم آدیاباتیک و برگشت پذیر — adiabatic reversible compression

2 → 3 : تبادل حرارت به سیال عامل به صورت برگشت پذیر و فشار ثابت — constant pressure Reversible heat addition

3 → 4 : انبساط آدیاباتیک و برگشت پذیر در توربین — adiabatic reversible expansion.

4 → 1 : تبادل حرارت از سیال عامل به صورت برگشت پذیر و فشار ثابت — constant pressure heat rejection.

power and refrigration cycles with phase change

چرخه های قدرت و تبرید که سیال عامل (working fluid) آن تغییر فاز می دهد.

الف : power cycle : چرخه های قدرت : همان چرخی بالا : چرخه ی رانکین :

جلسه دوم :

اثر تغییرات فشار و درجه حرارت روی سیکل رانکین effect of temperature and pressure on rankin cycle.

$$\eta_{Th} = \frac{W_T - W_P}{Q_H} = \frac{\text{سطح محاط } 1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}1}{\text{سطح محاط } a\text{-}1\text{-}2\text{-}3\text{-}4\text{-}b\text{-}a}$$

PAPCO

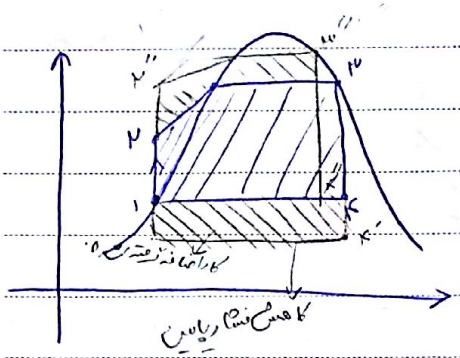
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

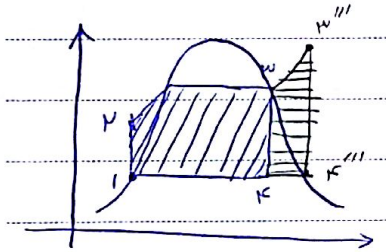
۱- اثر کاهش فشار پایین سیکل:

اثرات: ۱- افزایش راندمان سیکل می‌شود و باعث افزایش رطوبت (کاهش کیفیت در طبقات انتهایی توربین می‌شود) که این خود باعث خوردگی پره‌های توربین می‌شود و بسیار بد است.
و باعث شکست پره‌های توربین می‌شود (به دلیل اختلاف مومنتوم)



۲- اثر افزایش فشار بالای سیکل: راندمان افزایش پیدا می‌کند ولی تا زمانی کاهش کیفیت وجود دارد (کیفیت در طبقات انتهایی توربین کاهش می‌یابد).

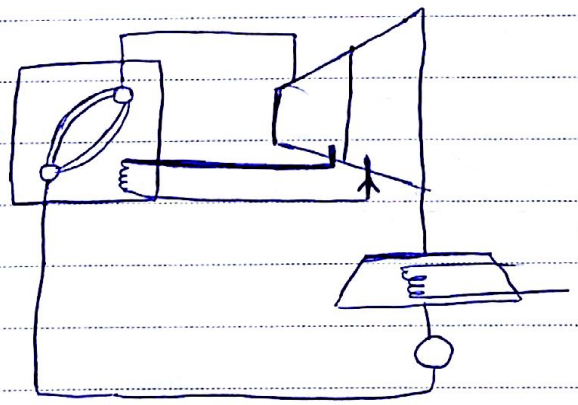
۳- اثر افزایش حداکثر دمای سیکل: باعث افزایش راندمان سیکل می‌شود. (کیفیت هم زیاد می‌شود که مفید است).
اما دماهای زیاد نمی‌توانیم داشته باشیم زیرا ممکن است باعث خرش بشود.

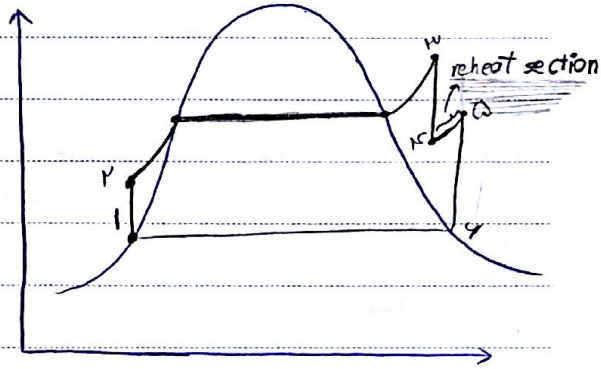


* افزایش فشار یک مخلوط دوفازی سخت است.
* انتقال حرارت در دمای ثابت سخت است.

} به همین دلایل تبدیل یک سیکل به چرخه کارنو سخت است.

سیکل بازتاب (Reheat cycle):





راندمان خیلی تغییر نمی‌کند اما تأثیری که دارد افزایش کیفیت و خروجی توربین است.

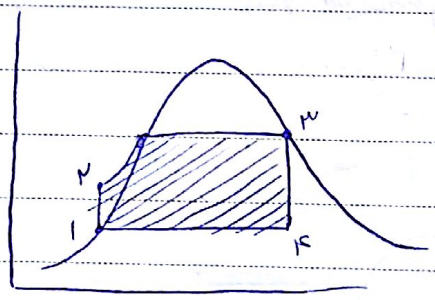
P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

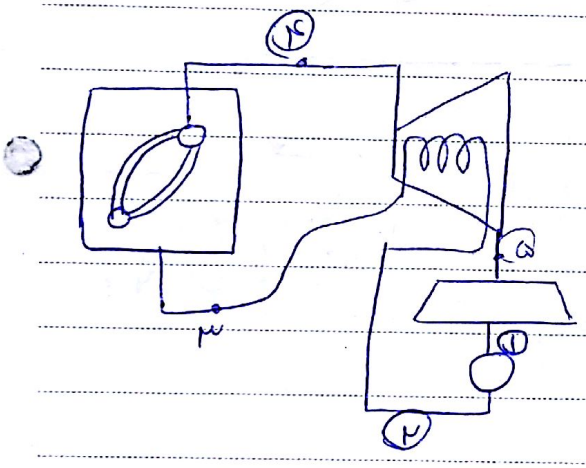
به نام او

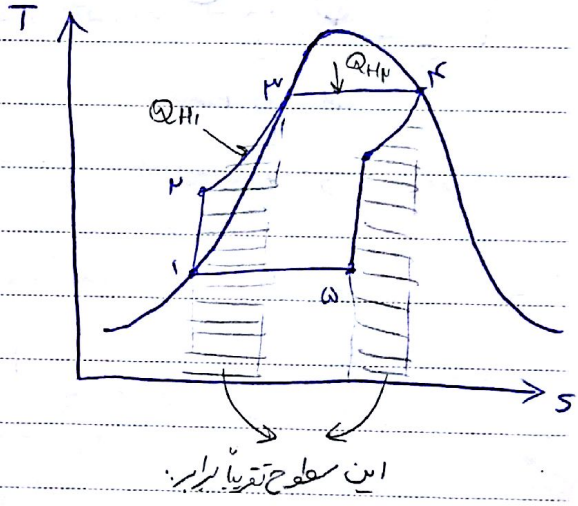
Subject:
Date

سیکل بازیاب: Regenerative cycle: هدف: رساندن بازده حرارتی سیکل رانکین به سیکل کارنو.



میرشه بازیاب ایده آل: Ideal regenerative cycle:





این سطوح تقریباً برابرند.

سیکل بازیاب با استفاده از آبگرمکن های آب تغذیه

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسمه تعالی

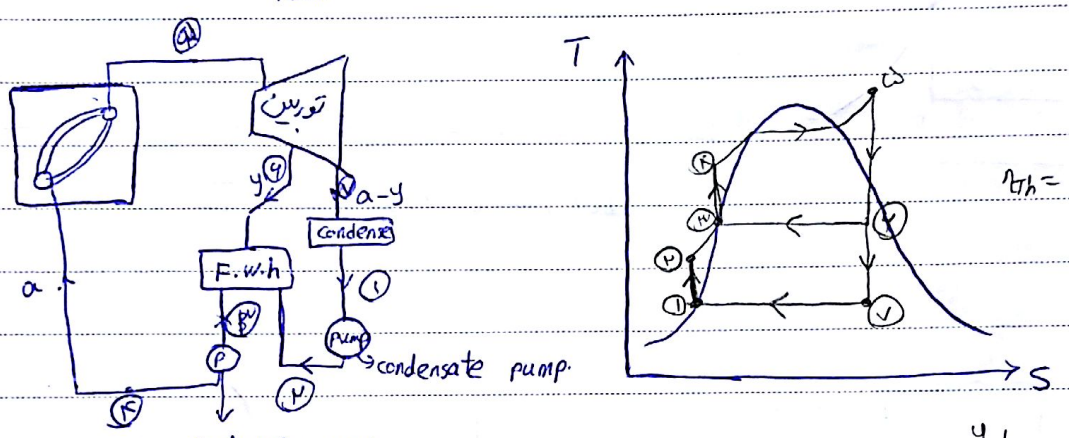
Subject:
Date

جلسه ی سوم.

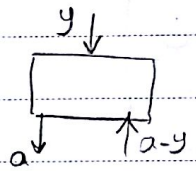
چرخه ی بازتاب reheat cycle

چرخه بازیاب ایده آل: Ideal regeneration cycle.

چرخه ی بازیاب با استفاده از آبگرمکن آب تغذیه: regeneration cycle using Feed water heater



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



$a \times h_3 = y \times h_4 + (a-y) \times h_2 \longrightarrow$ F.w.h در

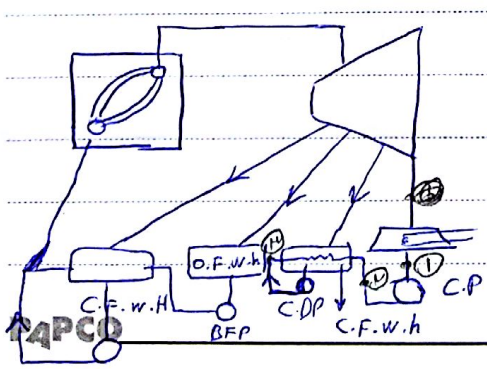
$a=1 \longrightarrow h_3 = y \times h_4 + (1-y) h_2 \Rightarrow h_3 - h_2 = y(h_4 - h_2) \Rightarrow$

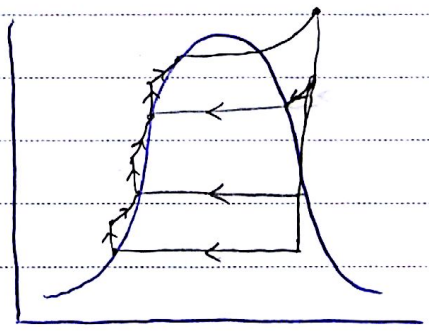
$$\Rightarrow y = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_2}$$

آبگرمکن آب تغذیه برای دو هدف قرار می دهیم: ۱- برای گرم کردن ۲- هوازدایی (با استفاده از بازگذاشتن شیر آب)

آبگرمکن های آب تغذیه: ۱- آبگرمکن آب تغذیه بسته closed Feed water heater. ۲- آبگرمکن آب تغذیه باز
آب و بخار با یکدیگر مخلوط نمی شوند.

مثال) یک نیروگاه بخار با ۳ آبگرمکن آب تغذیه (دو آبگرمکن بسته + یک آبگرمکن باز)





در نیروگاه های بخار حداقل یک آبگرمکن باز می گذارند:

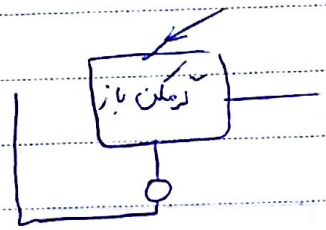
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

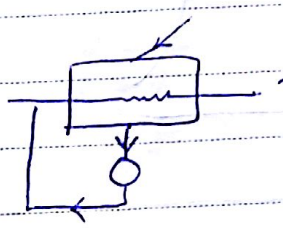
به نام او

Subject:
Date

گرمکن باز: open feal water heat De aerator : دی اریتر گرمکن هوازدا.

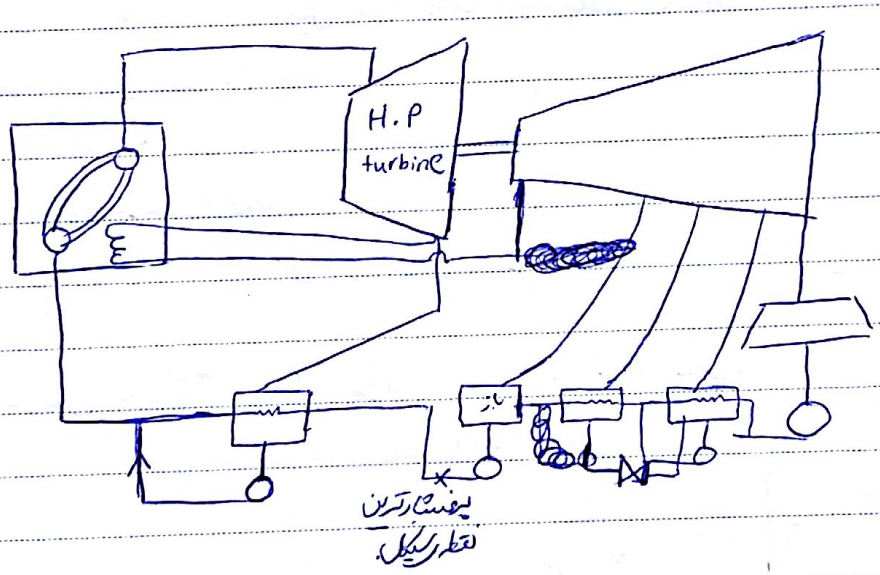
در نیروگاه به دلیل لوله کشی ها عقلاً قطعاً نشتی داریم و باعث می شود هوا وارد آب شود که باعث خوردگی می شود.

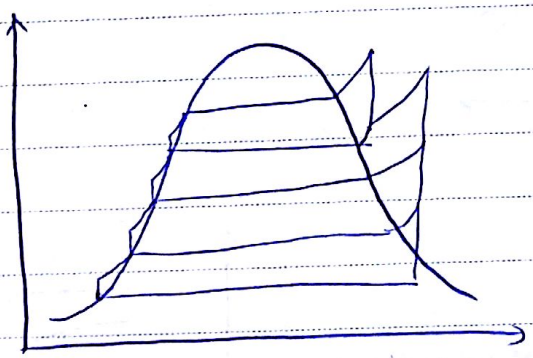




چرخه ی نیروگاه بخار با بازیابی و باز تابی تو أم:

reheat regenerative cycle.

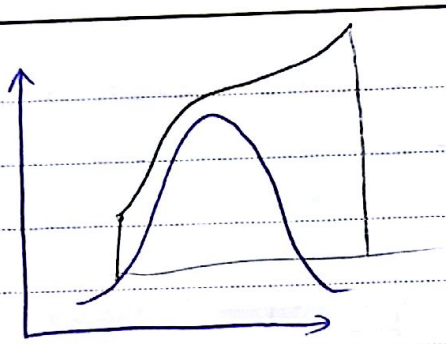




LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

۱۱ به تمام توربین‌ها، فوق گرمایی:



جلسه‌ی چهارم:

۱- گرمکن های آب تغذیه مختلف: different feed water heaters

۲- انحراف سیکل ایده‌آل به سیکل واقعی deviations of actual cycles from Ideal cycle

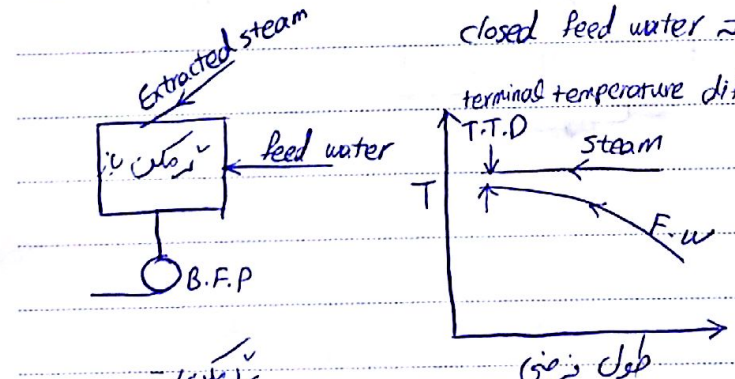
۳- تولید همزمان (دوگانه)

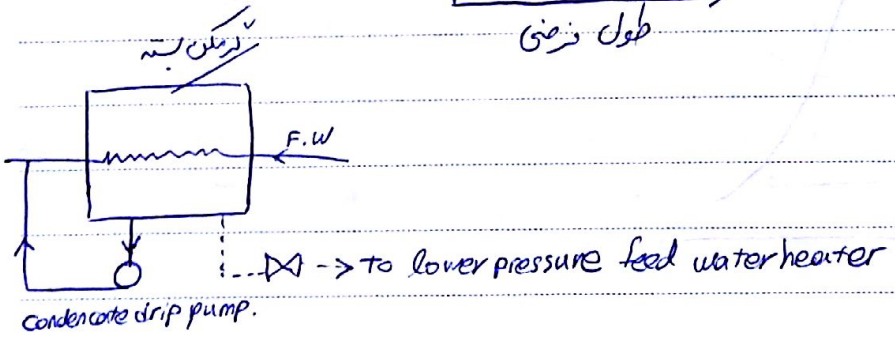
۴- چرخه‌ی تبرید

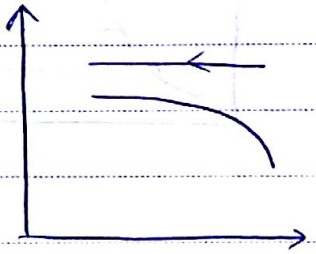
۵- چرخه‌ی تبرید تراکمی بخاری

۶- سیال عامل (مبرد) برای سیکل تبرید تراکمی بخاری

۱- گرمکن باز open feed - گرمکن بسته closed feed water





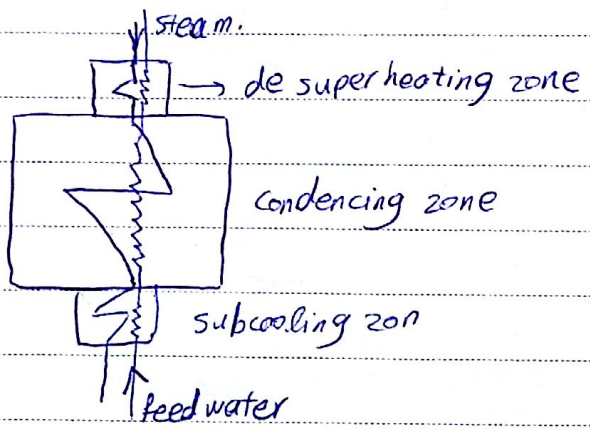


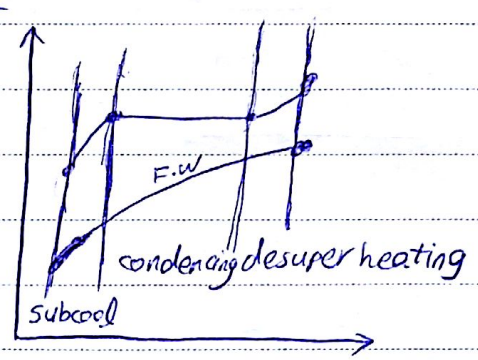
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

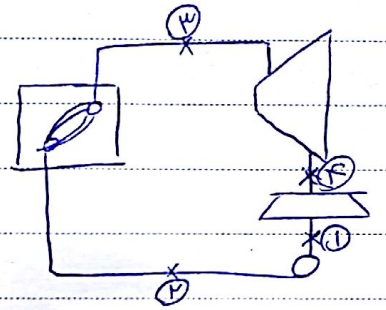
Subject:
Date

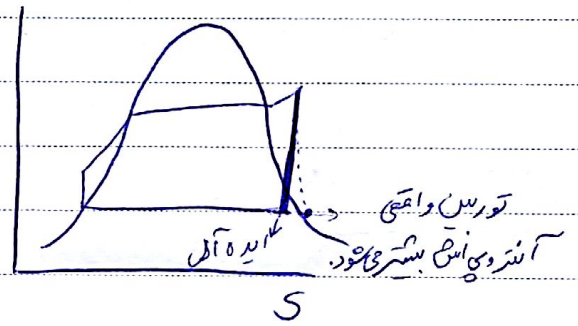
۳- گرمکن آب تغذیه سه مرحله‌ای : 3 zone . F.W.H





۲. انحراف سیکل ایده آل در واقعی :

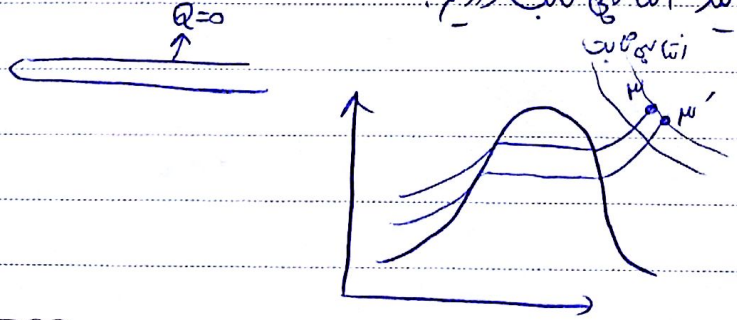




① افت های توربین : turbine losses: $\eta_{is\ turbine} = \frac{W_{act}}{W_{isentropic}}$

$$\eta_{is} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4\,is}}$$

② افت لوله‌ها : piping losses. فرض کنیم که فقط افت فشار داشته باشیم . یعنی افت حرارت نداشته باشیم : یک فنآیند انتالپی ثابت داریم :



P4PCO

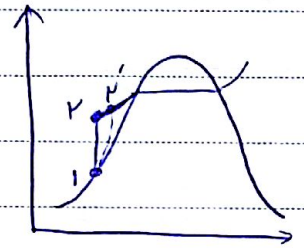
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

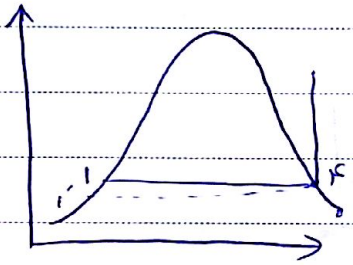
⑦ فرض کنیم فقط انتقال حرارت در لوله داشته باشیم:

۳ افت های پمپ: pump losses

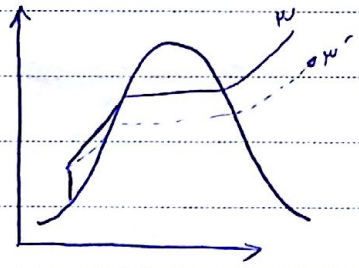


$$\eta_{is\ pump} = \frac{\text{کار ایزنتروپیک}}{\text{کار واقعی}} = \frac{W_{is}}{W_{act}} = \frac{h_{۲s} - h_1}{h_{۲act} - h_1}$$

۴- condencer losses

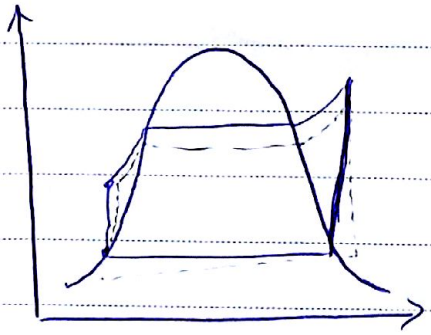


۵ افت بویلر: در آینده واقعی فرایند همراه با افت فشار است:



$$\eta_{\text{Steam boiler}} = \frac{\text{انرژی گرفته شده توسط بخار}}{\text{انرژی داده شده توسط سوخت}} = \frac{\dot{m}_{steam}(h_{۳'} - h_{۲})}{\dot{m}_F(l.h.v)\ \text{lower heating value}}$$

ارزش حرارتی پایین سوخت



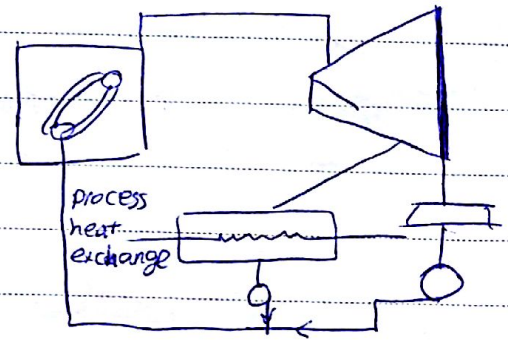
P4PCO

LearnEngineering.ir
Scanned by CamScanner

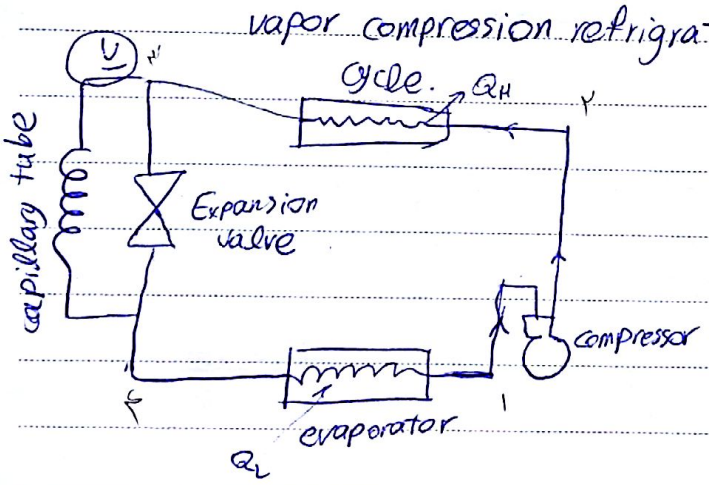
Subject:
Date

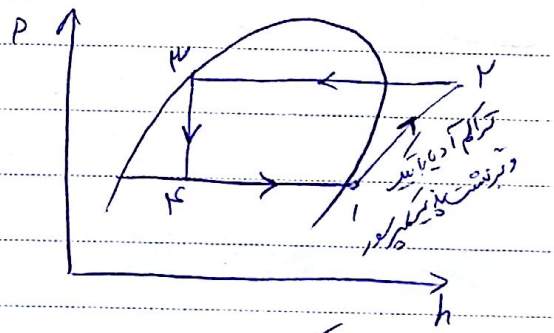
۳. تولید همزمان: combined heat and power. (C.H.P)

Micro combined heat and power.



۴. چرخه‌ی تبرید تراکمی بخاری: vapor compression refrigration cycle.





سیکل ایده‌آل تراکم بخاری.

$\beta_L = \frac{Q_L}{W}$ $\beta_H = \frac{Q_H}{W}$ heating coefficient of performance.

$\beta_L = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$ $\beta_H = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$ $\longrightarrow$ $\beta_H - \beta_L = 0$

PqPCO
LearnEngineering.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

کلاس حل تمرین (دوشنبه ۱۳-۱۲ کلاس ۲۲۱ ساختمان شماره ۲)

۱) چرخه تبرید تراکمی: vapor compression refrigration cycle

۲) سیال عامل (مبرد) برای چرخه تبرید تراکمی working fluid for va...

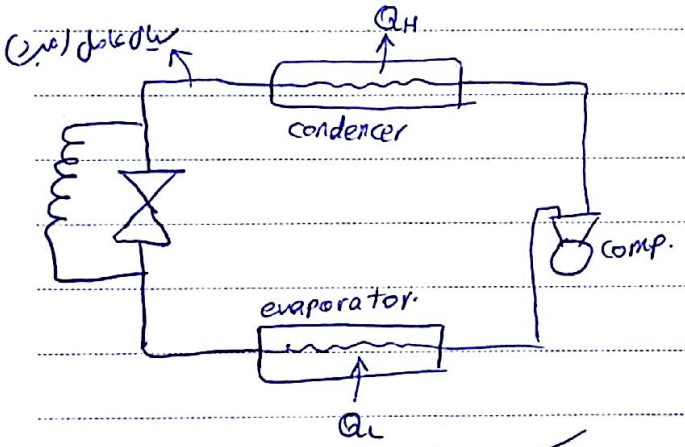
۳) انحراف از سیکل ایده آل deviation from Ideal cycle

۴) ترتیب ها (اشکال) مختلف تبرید تراکمی بخاری

سیستم حلقه ای دو طبقه

چرخه ی پیدا همسون برای مایع کردن "ازت ها

۵) چرخه ی تبرید جذبی:

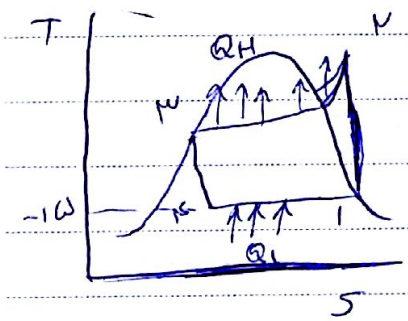


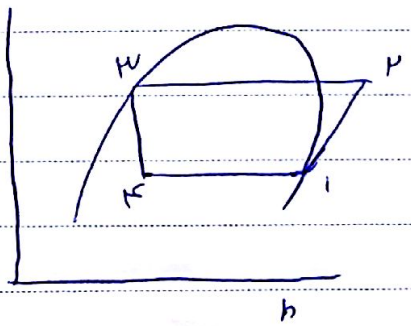
کمبت در باره ی CFC ها: HCFC ها علاوه بر کلر و فلوئور ~~نمی خواهند~~ هیدروژن هم دارند.

R-11 و R-12 و R-134 و R-22

HFC ها safe هستند.

مبرد معدنی: NH_3 R-717 : آمونیاک آورده است. در یخچال های خانگی استفاده نمی شود.





PqPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بنام او

Subject:
Date

مسئله‌ی اول سری دوم:

مبرد	h_{fg}	W_{comp}	$\beta_L = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$	$P_{condenc}$	P_{Evap}	$q_h (h_2 - h_3)$	q_L
NH_3							
R-134a							

مبرد کدام آمونیاک
کدام کلکد بالاتری دارد

انتروپی.

$$\eta_{IS} = \frac{W_{ad-rev}}{W_{actual}} = \frac{h_2 - h_1}{h_{2'} - h_1} \approx \frac{\cancel{C_p}(T_2 - T_1)}{\cancel{C_p}(T_{2'} - T_1)} \times \frac{T_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{T_1\left(\frac{T_{2'}}{T_1} - 1\right)}$$

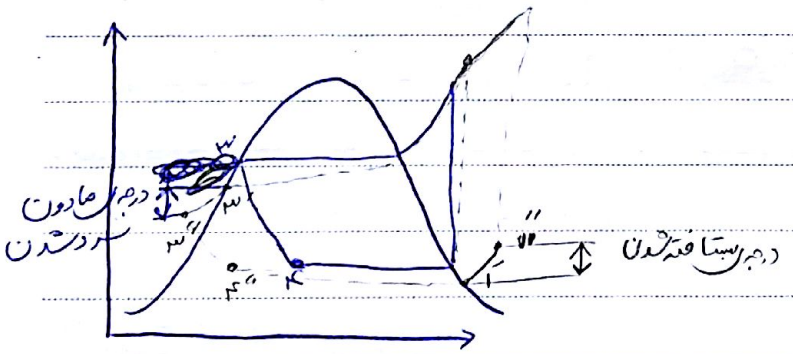
کمپرسور سانتریفیوژ:

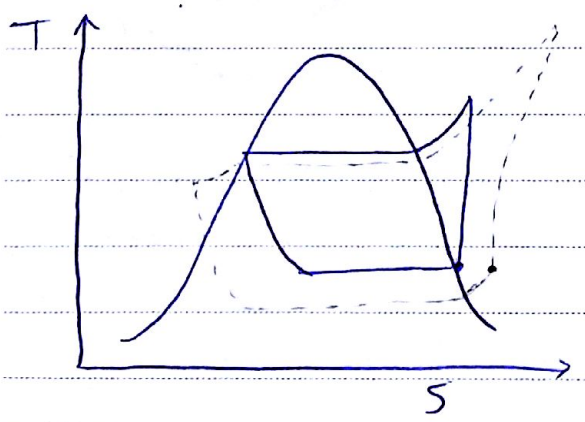
با فرض این که مبرد یک گاز آرمانی در آن ناحیه فرض شود و C_p ثابت باشد:

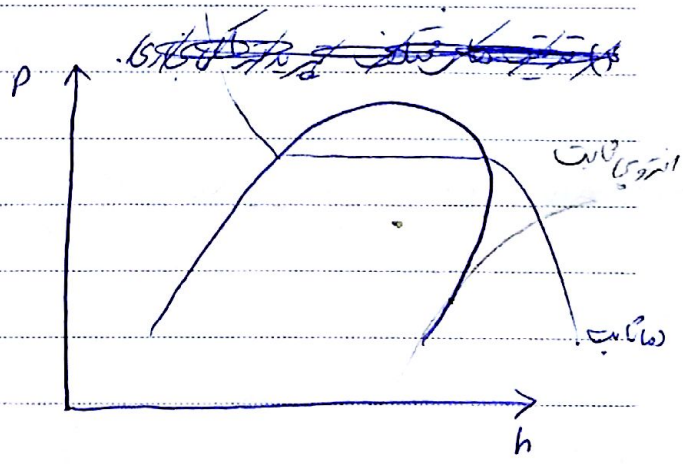
$$\frac{T_{2_s}}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1}$$

$\frac{P_2}{P_1} = r_p$ presser ratio $\qquad \frac{V_1}{V_2} = r_v$ compression ratio.

انحراف از سیکل ایده‌آل:







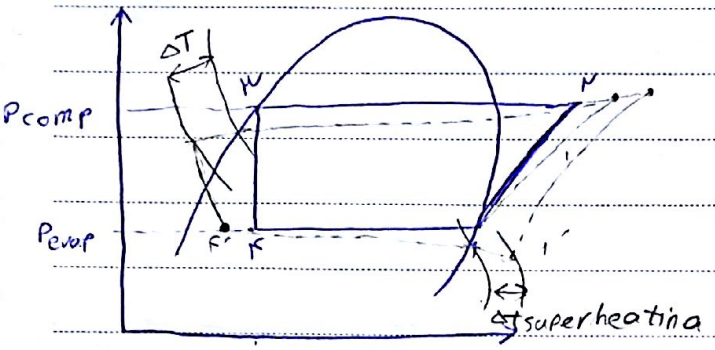
P4PCO

صفحه‌ی بعد

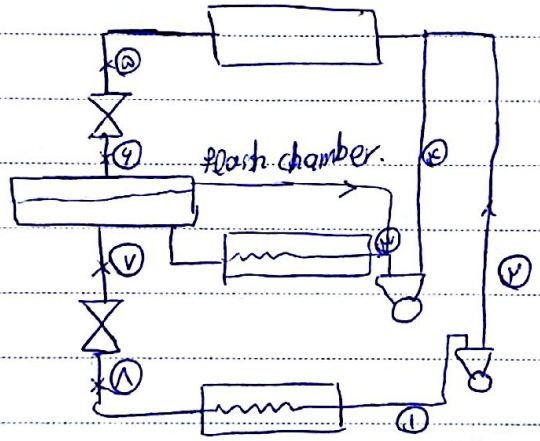
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

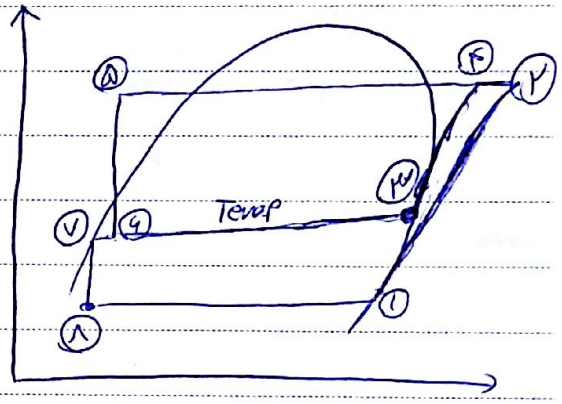
بسمه تعالی

Subject:
Date



۴) ترتیب ها را اشکال مختلف تبرید تراکمی بخاری:





~~جلسه هفتم~~:

۱) ترتیب های مختلف چرخه ی تبرید تراکمی بخاری:

linde_hampson_for_liquifaction_of_gases: فرآیند لیندهامسون برای مایع سازی "گازها"

۲) چرخه ی تبرید جذبی absorption refrigration cycle.

۳) چرخه تبرید اوکتوری بخاری: ejection refrigration cycle

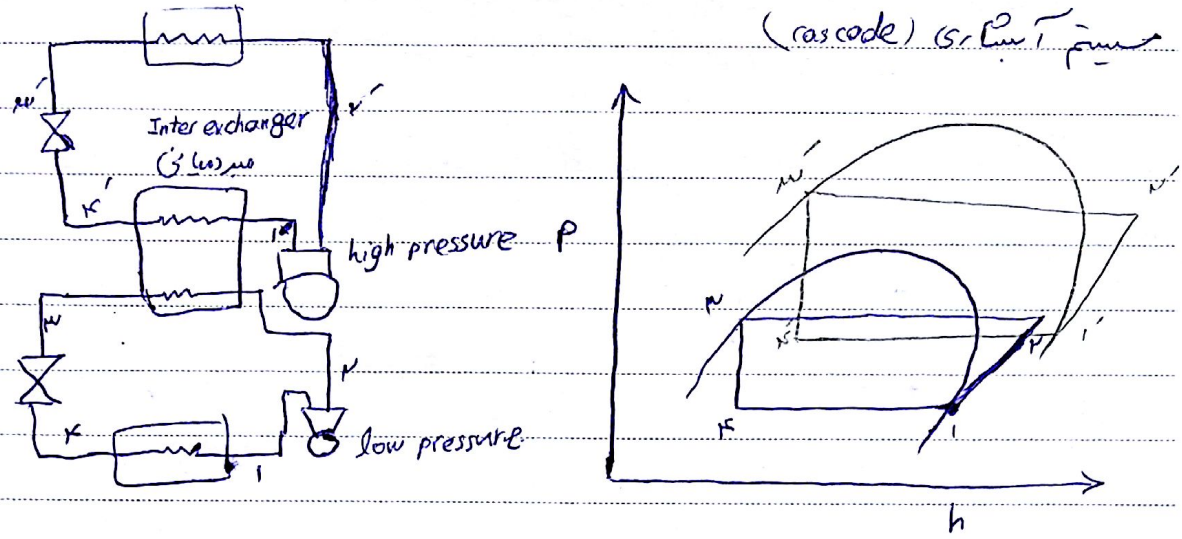
P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام خدا

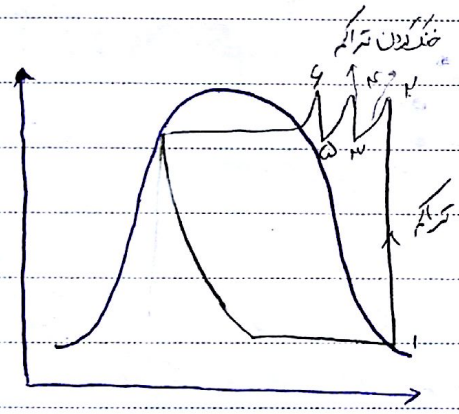
Subject:
Date

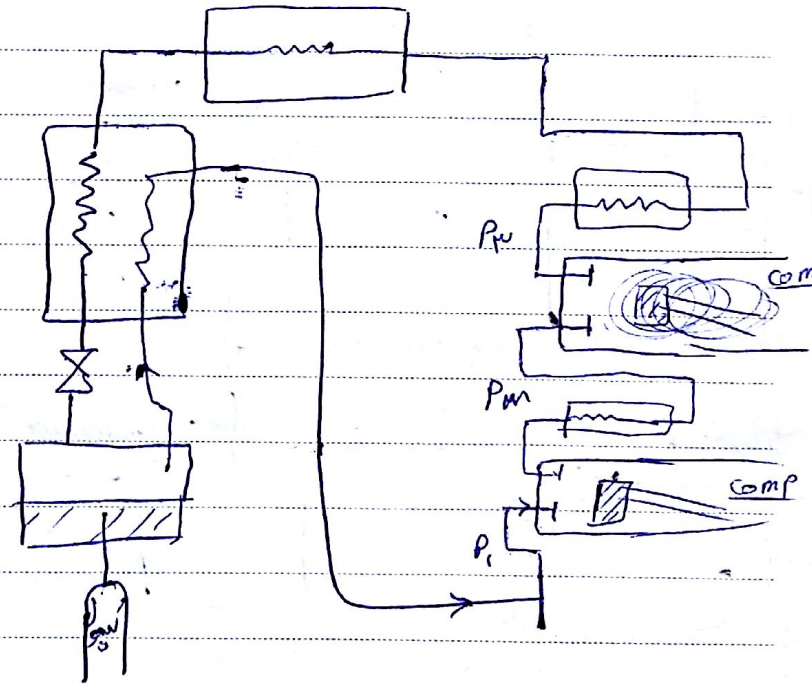
سیستم آبشاری (cascade)



گاز مایع و گازی کاربردهای مختلف دارد: نفت‌ها به‌ها گازدار مثلاً در آبگیر یخته گیری؛

روش لیندمان مدن برای مایع کردن گازها (هوا):





P_M واسطه هندسی بین دو فشار اولیه و نهایی است:

$$P_M = \sqrt{P_1 P_2}$$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject: liquifaction
Date

سوال : فشار بهینه‌ای بین دو مرحله سوپرشارژ برای این که کار دو مرحله بهینه باشد برابر است با :

الف) $P_M = \frac{P_H}{P_L}$ ب) $P_M = \sqrt{P_L P_H}$ ج)

$W_{total} = W_1 + W_2$

$W_{total} = (h_M - h_1) + (h_H - h_M) = C_p(T_M - T_1) + C_p(T_H - T_M)$

$W = C_p T_1 \left(\frac{T_M}{T_1} - 1\right) + C_p T_M \left(\frac{T_H}{T_M} - 1\right) \Rightarrow \begin{cases} \frac{T_M}{T_1} = \left(\frac{P_M}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \\ \frac{T_H}{T_M} = \left(\frac{P_H}{P_M}\right)^{\frac{k-1}{k}} \end{cases}$

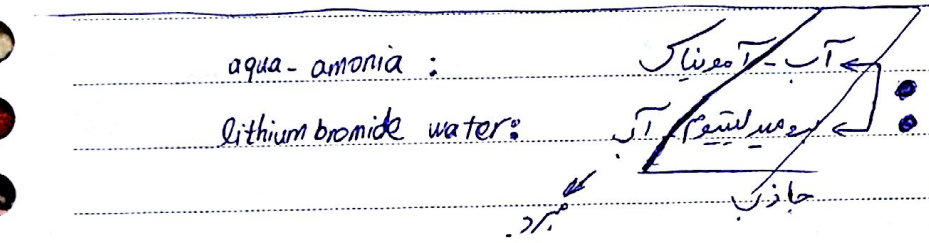
$\frac{\partial W_t}{\partial (\frac{P_M}{P_1})} = W_{min}$

CCHP : Combined cooling, Heating, power.

چرخه تبرید جذبی :

aqua-ammonia : آب - آمونیاک

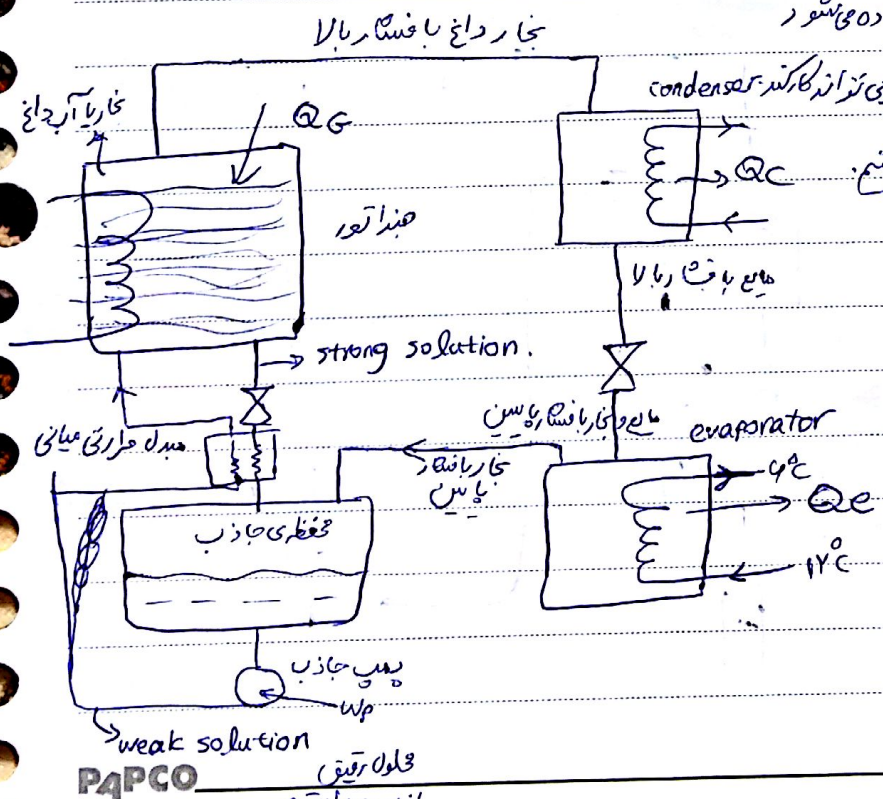
lithium bromide water : آب - لیتیم بروماید



آمونیاک در چیلرهای صنعتی استفاده می‌شود

به دلیل این که در دماهای پایین تری توانایی کار کند.

اما در چیلرهای معمولی از آب استفاده می‌کنیم.



محلول رقیق از بروماید لیتیم

به دلیل این که بخار آب را در خود حل کرده است !!

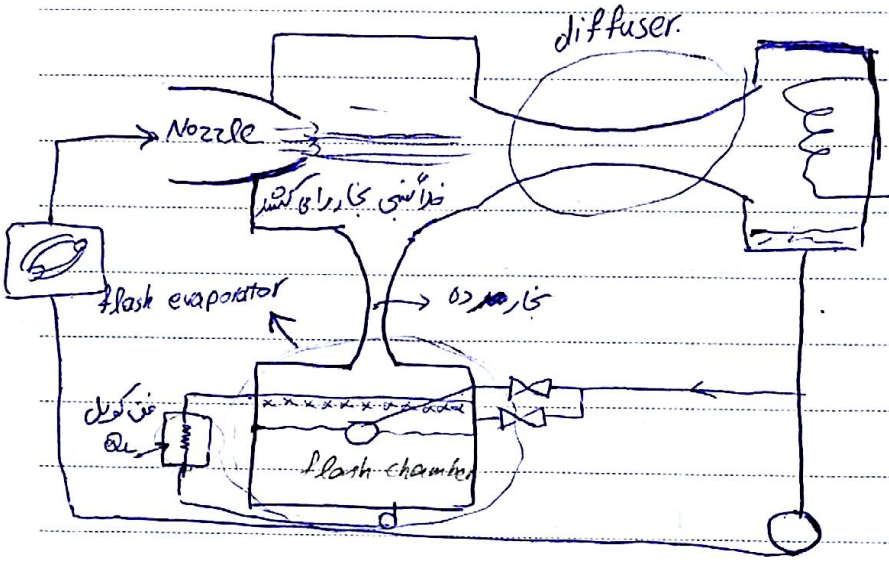
PqPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

ejection(jet) refrigration cycle: چرخه‌ی تبرید اژکتوری بخاری (جت)



این چرخه‌ها بیشتر آب‌زدایی می‌شود مثلاً برای درست کردن رب گوجه و دی هیدراته کردن و... استفاده می‌شود.

سوال ۳ سری دوم ⟸

به نام او

فصل دهم:

power and refrigration cycle without phase change:

1-Air standard power cycles چرخه‌های استاندارد قدرت هوایی:

2-Brayton cycle or simple gas turbine cycle چرخه برایتون / چرخه ساده‌ی توربین گاز:

چرخه ساده توربین گاز باز یاب:

ترتیب های مختلف توربین گاز:

چرخه‌ی استاندارد هوایی برای رانش جت:

* منظور از چرخه‌ی استاندارد هوایی: ۱- چرخه ترمودینامیکی است یعنی سیال محرک در داخل چرخه‌ی چرخد.
۲- سیال عامل (working fluid) هوا است که در داخل چرخه می‌گردد.
۳- فرآیند احتراق در داخل چرخه با یک فرآیند تبادل حرارت (دادن حرارت) برگشت پذیر به هوا جایگزین می‌گردد.
۴- فرآیند exhaust (تخلیه) گازها را با یک فرآیند بین دادن حرارت (heat rejection) جایگزین می‌کنیم.
۵- فرض می‌کنیم هوا در داخل چرخه گاز آرمانی است و cp آن در طول چرخه ثابت است.

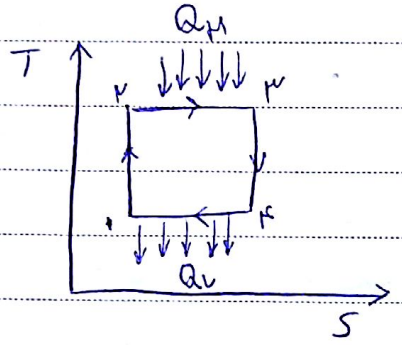
P4PCO

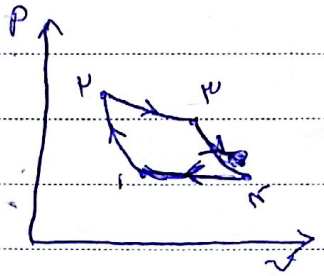
LearnEngineering.ir
Scanned by CamScanner

بسمه تعالی

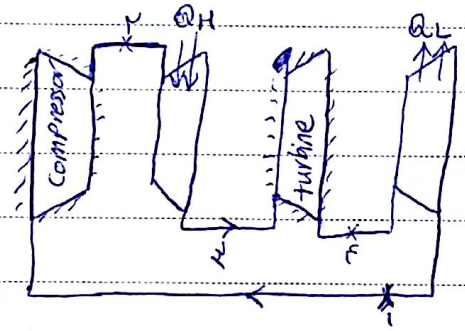
Subject:
Date

Air standard carnot cycle: چرخه ی استاندارد هوای کارنو





$$\eta_{Th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$



$$\eta_{Th} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

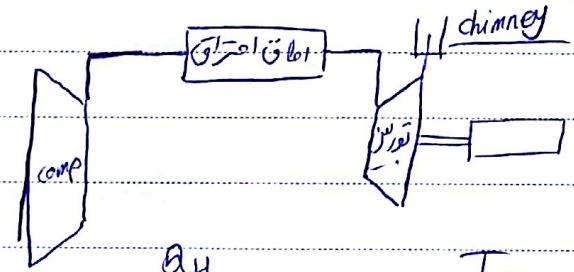
$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1}$$

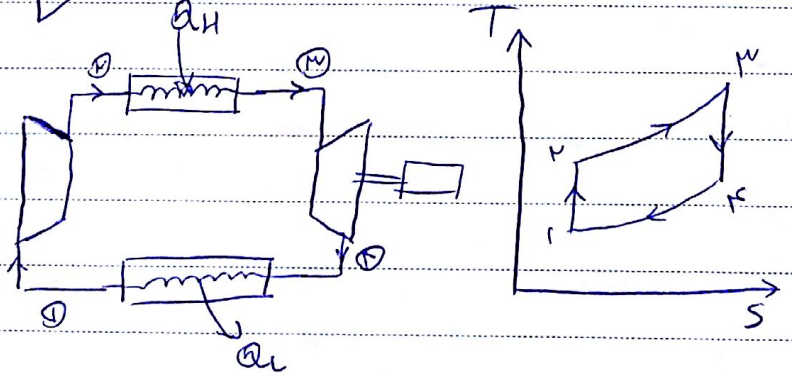
$\frac{P_2}{P_1} = r_p \Rightarrow$ pressure ratio نسبت فشار

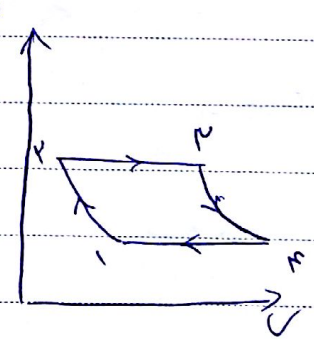
$\frac{v_1}{v_2} = r_v \Rightarrow$ volume ratio نسبت تراکم

$$\eta_{Th} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{k-1}{k}}} \quad , \quad \eta_{Th} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$$

چرخه برایتون







P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

سه نا مراد

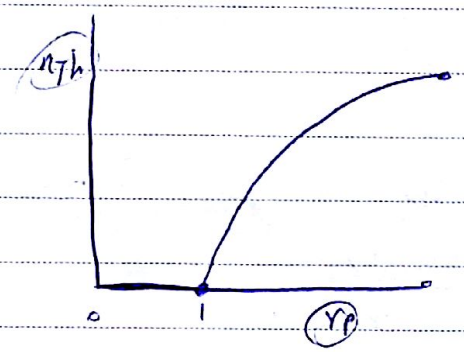
Subject:
Date

$$\eta_{Th} = \frac{w_{net}}{Q_H} = \frac{q_H - q_L}{q_H} = \frac{C_p(T_3 - T_2) - C_p(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)}$$

$$= 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)} \Rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4}$$

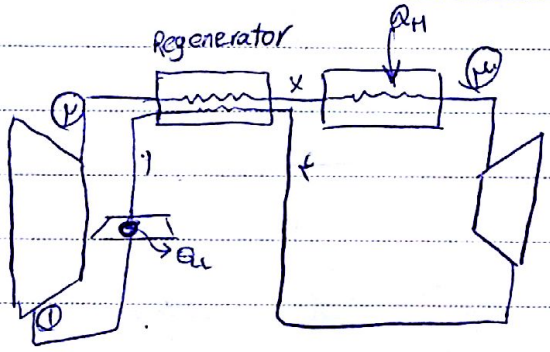
$$\Rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4} \rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}$$

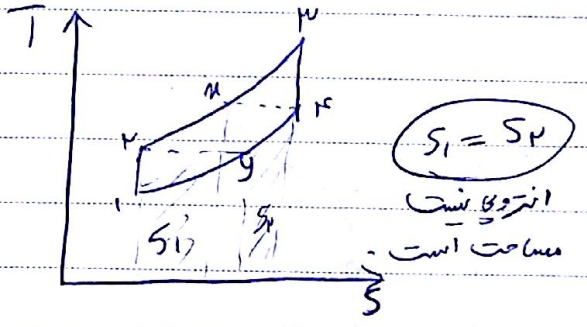
$$\Rightarrow \eta_{Th} = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{r_V^{\frac{k-1}{k}}}$$



حافظ خلوت نشین، دوش به میخانه شد
از سر پیمان گذشت، بر سر پیمانه شد
مفتیه ای می گذشت، راهزن دین و دل
باز به یک جرعه ای، عاقل و فرزانه شد.
شاهد دلسوز شباب، آمده بودش به خواب
با نه به پیرانه سر، عاشق و دیوانه شد.

چرخه ی توربین گاز با بازیاب ایده آل:





$S_1 = S_4$
انتروپی ثابت
مساحت است.

$$\eta_{Th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{W}{Q_H} =$$

$$\eta_{Th} = 1 - \frac{C_p(T_y - T_1)}{C_p(T_3 - T_{4x})} \xrightarrow[T_y = T_4]{\text{ایده آل}} \Rightarrow \eta_{Th} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right)}{T_3\left(1 - \frac{T_4}{T_3}\right)}$$

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

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = r_p^{\frac{k-1}{k}}$$

$$\Rightarrow 1 - \frac{T_1}{T_3} \times \left(\frac{r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1}{1 - \frac{1}{r_p^{\frac{k-1}{k}}}}\right) = 1 - \frac{T_1}{T_3} r_p^{\frac{k-1}{k}}$$

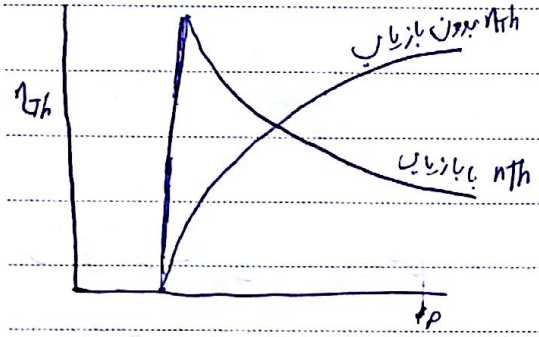
PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

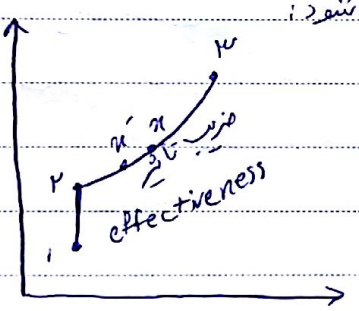
به نام او

Subject: alireza bayat84@gmail.com
Date

۱- چرخه توربین گاز با بازیاب ایده‌آل
۲- بازیاب واقعی ← مزیت تأثیر
۳- ترتیب‌های مختلف چرخه توربین گاز
۴- چرخه استاندارد هوا برای پاسخ جت

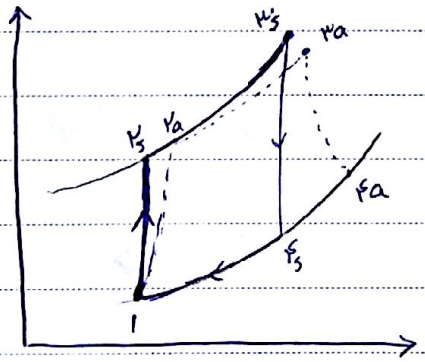


به خاطر ایده‌آل نبودن بازیاب و تلف حرارتی از آن به جای x و x' خارج می‌شود:



$$\varepsilon = \frac{Q \text{ واقعی}}{Q \text{ ایده‌آل}} = \frac{C_p(T_{x'} - T_2)}{C_p(T_x - T_2)}$$

چرخه‌ی واقعی توربین گاز:



$$\eta_{s\ comp} = \frac{\text{کار ایده‌آل}}{\text{کار واقعی}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2act} - h_1} = \frac{C_p(T_{2s} - T_1)}{C_p(T_{2a} - T_1)}$$

$$\eta_{s\ comp} = \frac{T_1\left(\frac{T_{2s}}{T_1} - 1\right)}{T_1\left(\frac{T_{2a}}{T_1} - 1\right)} = \frac{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{T_{2act}}{T_1} - 1}$$

$$\eta_{s\ comp} = \frac{r_p^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{T_{2a}}{T_1} - 1}$$

$$\eta_{s\ Turbine} = \frac{\text{کار واقعی}}{\text{کار ایده‌آل}} = \frac{C_p(T_3 - T_{4act})}{C_p(T_3 - T_{4s})} = \frac{T_3\left(1 - \frac{T_{4a}}{T_3}\right)}{T_3\left(1 - \frac{T_{4s}}{T_3}\right)}$$

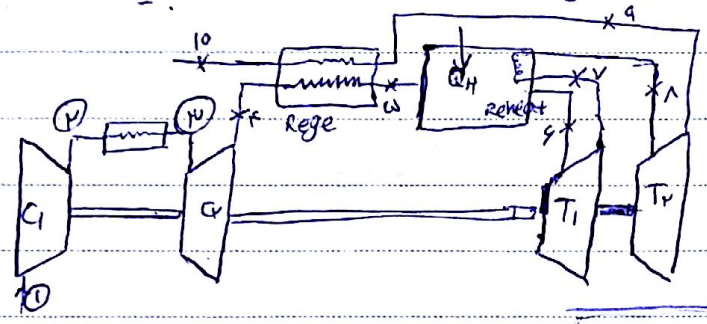
P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

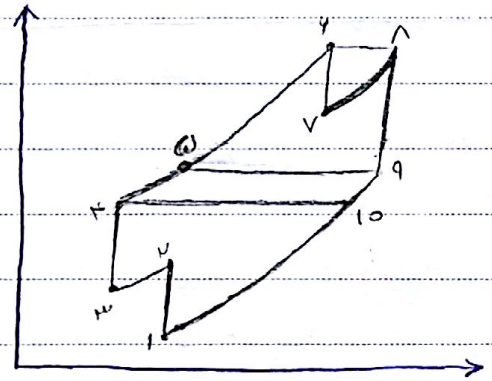
به نام او

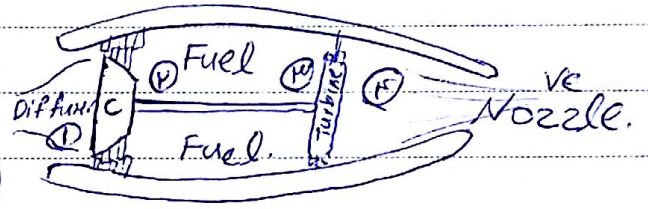
Subject:
Date

۳- ترتیب های مختلف توربین گاز: یک توربین گاز با دو طبقه ی کمپرسور خنک کن میانی با دو طبقه توربین و آیا ممکن با بازیاب و بازیاب:



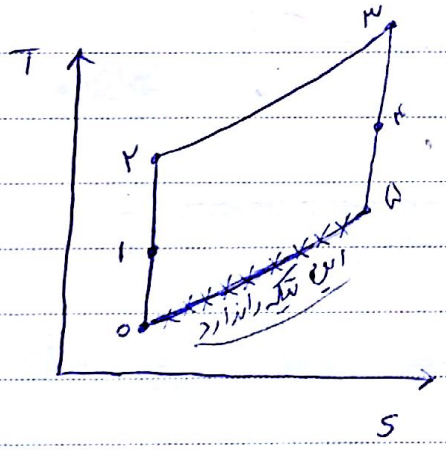
کوزه ای بر دم چین جام لطیف
می سازد و باز بر زمین می ریزدش؟!!...





Turbojet Engine

اشتباهی پاک شد و شد!



۸ توربوپراپ (Propeller) : هواپیمای ملخی

توربوشفت : در هلیکوپتر استفاده می شود

توربوپروپ : ترکیبی از توربین گاز و یک پرواز (propeller)

اساساً شبیه توربوجت است ولی فرقی که دارد تعداد طبقات پره های توربین بیشتر است از توربین موتورهای تک بوجت.

توربوفن : یک فن بزرگ داخل دهنه داریم.

توربوفن : Turbo fan و توربوپروپ : Turbo propeller ؛ هواپیمای ملخی.

توربوشفت : Turbo shaft توربوجت :

↓ در هلیکوپتر استفاده می شود.

رم جت : برای هواپیمای نظامی برای مانوردادن آن ها کاربرد دارد. به موقع اوج بگیرد و پایین بیاید.

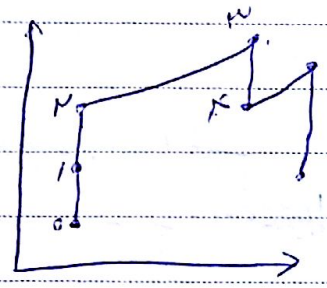
P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

مرحله afterburner (پس سوز) : بعد از این که از توربین خارج شد به آن سوخت می زنیم تا سرعت آن افزایش یابد.



The Air standard cycle for jet propulsion: : چرخه ایستاندارد هوایی برای رانش جت

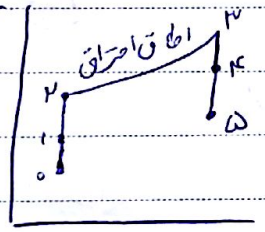
The Air standard refrigration cycle (joule cycle) سیکل تبرید ژول

reciprocating cycle Engine power cycle. چرخه ی رفت و برگشتی

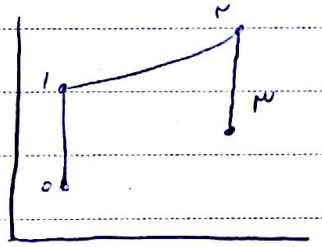
الف Auto cycle ب: Diesel cycle. پ: Oval cycle. ت: stiling cycle.

ث: Atkinson cycle.

چرخه جت :



Ramjet

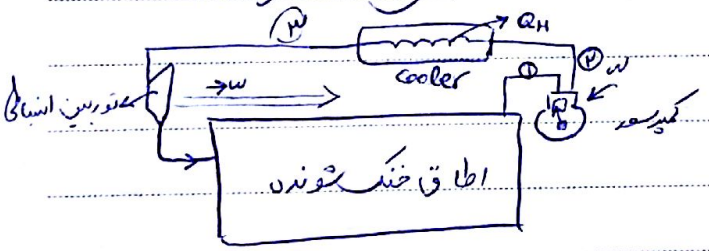


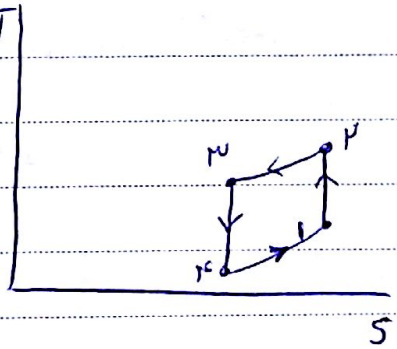
وقتی سرعت هواپیما زیاد شود دیگر نیازی به روشن کردن کمپرسور نیست.

۲ سیکل تبرید ژول: سرمایش استرلینگ

pulse tube refrigerator = سرمایش لوله ضربانی

vortex refrigrator = سرمایش لوله گردابی





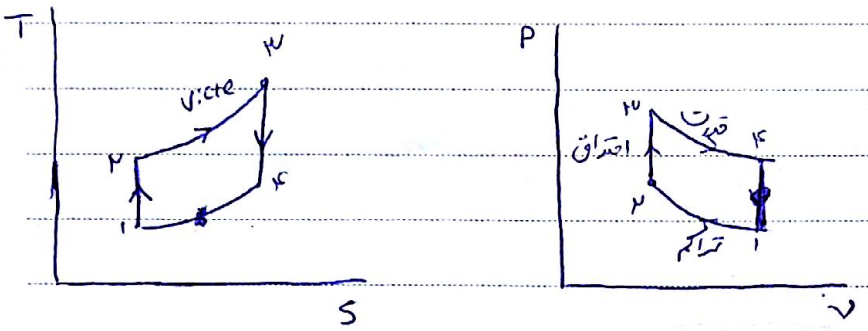
PqPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

چرخه ایده آل برای موتور بنزینی: otto : چرخه استاندارد هوای اتو:



$$\eta_{Th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_2)} =$$

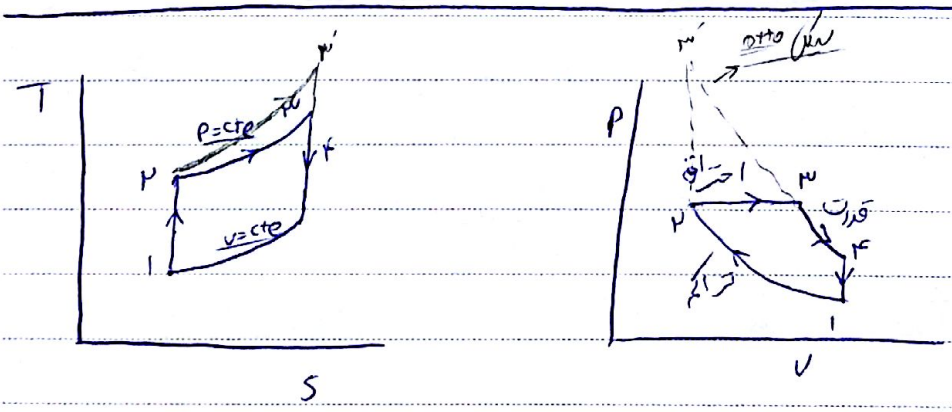
$$\eta_{Th} = 1 - \frac{T_1\left(\frac{T_4}{T_1} - 1\right)}{T_2\left(\frac{T_3}{T_2} - 1\right)}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4}$$

$$\Rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}$$

$$\eta_{Th} = 1 - \frac{1}{\frac{T_2}{T_1}} = 1 - \frac{1}{\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{r_p^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}} \qquad r_v = \frac{V_1}{V_2}$$

چرخه دیزل:



$$\eta_{Th} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)}$$

P4PCO

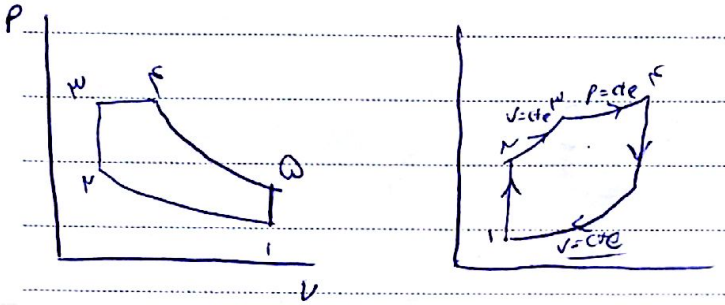
LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

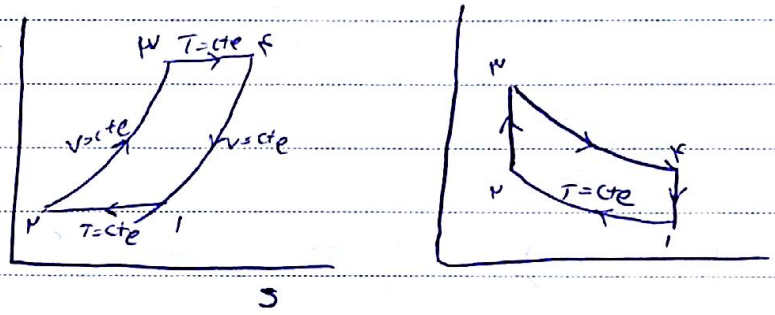
Subject: ..... linf(x) alvezabeyat92@gmail.com
Date: 1- f(x) .... ~~alvezabeyat92@yahoo.com~~

برای مقایسی راندمان دو سیکل با بیشتر مقایسی مشخصی داشته باشیم:

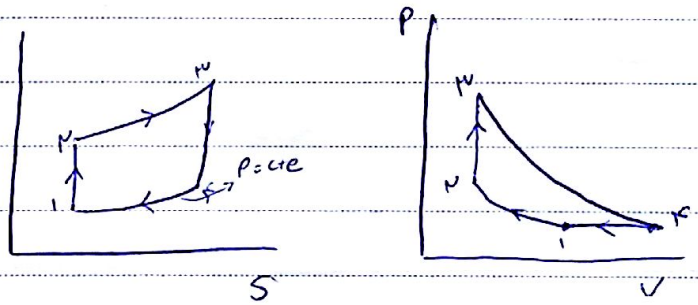
چرخه استاندارد دیزل Dual cycle



Stirling cycle:



atkinson cycle:



LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بنام او

Subject:
Date

فصل سیزدهم: مخلوط گاز — Gas mixture.

General consideration and mixtures of Ideal gases

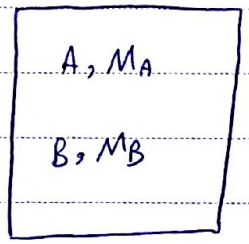
۱- gas mixture ۲- تعریف عمومی و مخلوط گاز در مدل آرمانی:

۳- دو مدل مخلوط گاز آرمانی: مدل دالتون و مدل آماگات:

۴- مدل ساده شده‌ای حاوی مخلوط گاز و بخار آب:

اگر دو یا چند گاز با هم مخلوط شده باشند، یک سری تعاریف عمومی وجود دارد!

۱- نسبت جرمی: c_i



$$m_{fi} = c_i \triangleq \frac{m_i}{m_{total}}$$

$$c_A = \frac{m_A}{m_A + m_B} \quad , \quad c_B = \frac{m_B}{m_A + m_B}$$

$$\Sigma c_i = 1$$

۲- نسبت مولی: y_i — mole fraction

$$y_i = \frac{n_i}{n_{tot}}$$

$$y_A = \frac{n_A}{n_A + n_B} \quad , \quad y_B = \frac{n_B}{n_A + n_B} \qquad \boxed{\Sigma y_i = 1}$$

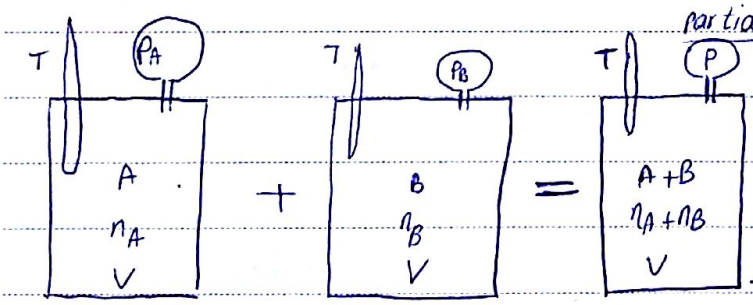
هوا: مخلوطی است از: ← mole fraction

N_2	۷۸٫۱
O_2	۲۰٫۹۵
Ar	۰٫۹۳
CO_2	۰٫۰۳

Ideal gas mixture models.

مدل مخلوط گاز آرمانی:

مدل دالتون: فشار جزئی — partial pressure



فشار جزئی در مخلوط گاز آرمانی: عبارت است از: فشاری که گاز در صورتی که به تنهایی تمام حجم را اشغال کرده باشد.

$$P_A V = n_A \bar{R} T \qquad P_B V = n_B \bar{R} T \qquad P V = (n_A + n_B) \bar{R} T$$

$$P_A = \frac{n_A \bar{R} T}{V} \qquad P_B = \frac{n_B \bar{R} T}{V} \qquad P = \frac{(n_A + n_B) \bar{R} T}{V}$$

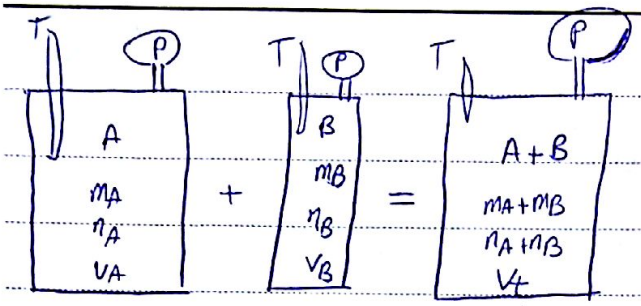
$$P_A + P_B = \frac{(n_A + n_B) \bar{R} T}{V} \quad \Rightarrow \quad \boxed{P = P_A + P_B}$$

PqPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date



مدل آماگات:

$PV_A = n_A \bar{R} T \qquad PV_B = n_B \bar{R} T \qquad PV_t = (n_A+n_B)\bar{R}T \Rightarrow \boxed{V_t = V_A + V_B}$

$V_A = \frac{n_A \bar{R} T}{P} \qquad V_B = \frac{n_B \bar{R} T}{P} \qquad V_t = \frac{(n_A+n_B)\bar{R}T}{P}$

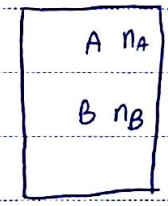
از مدل آماگان تعریف حجم جزئی به دست می آید: آمگا زبه تنهایی فشار مخلوط را داشته باشد - به حجمی که آن گاز اشغال می کند، حجم جزئی می گوییم:

$\frac{V_A}{V_t} = \frac{n_A}{n_{tot}} = y_A$

$\frac{V_B}{V_t} = \frac{n_B}{n_{total}} = y_B$

انرژی داخلی، انتالپی و انتروپی مخلوط گاز آرمانی:

internal energy, enthalpy and enthropy of an ideal gas mixture:



$U_{mix} = n_A \bar{U}_A + n_B \bar{U}_B \xrightarrow{\div n_{total}} u_{mix} = \frac{n_A}{n_t}\bar{U}_A + \frac{n_B}{n_t}\bar{U}_B$

$u_{mix} = y_A \bar{U}_A + y_B \bar{U}_B$

$u_{mix} = \frac{U_{mix}}{m_{total}} = \frac{m_A}{m_t} u_A + \frac{m_B}{m_t} u_B = c_A u_A + c_B u_B$

u_A، u_B عبارتند از انرژی داخلی جزء A و B در شرایط مخلوط (P و T مخلوط) و چون گاز آرمانی هستند u_A و u_B فقط به دما بستگی دارند لذا با انرژی داخلی جزء خالص A و B در همان دما برابرند:

$(m_{total})\, h_{mix} = H_{mix} = h_A m_A + h_B m_B$ $\quad (= u + pv)$

~~$S_{mix} = m_A s_A + m_B s_B$~~

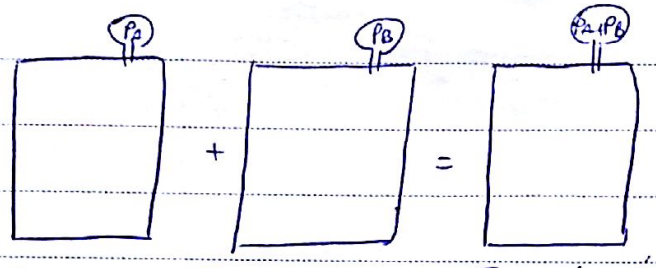
انرژی داخلی و انتالپی گاز آرمانی فقط تابعی از دما است به این دلیل انرژی داخلی و انتالپی اجزاء در شرایط مخلوط برابر انرژی داخلی و انتالپی اجزاء خالص در همان دما است.

ولی برای انتروپی، انتروپی اجزاء در شرایط مخلوط به دما و فشار جزئی در شرایط مخلوط بستگی دارد:

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

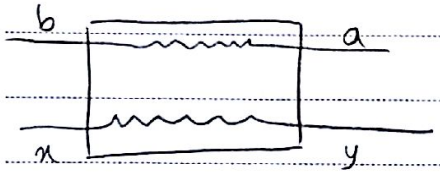
Subject:
Date



$S_A = m_A s_A$ $S_B = m_B s_B$ $S_t = m_A s_A + m_B s_B$

$$\Rightarrow \Delta S_{mixing} = S_{gen\ mixing} = S_2 - S_1 = m_A(s'_A - s_A) + m_B(s'_B - s_B)$$

$$= m_A\left[c_{p_A}^{0}\ln\frac{T_2}{T_1} - R_A \ln\frac{P}{P_A}\right] + m_B\left[c_{p_B}^{0}\ln\frac{T_2}{T_1} - R_B \ln\frac{P}{P_B}\right]$$



سقراط: همینقدر چون من ندانم هیچ کس
ماهی که بر آب اوفتد قیمت بداند آب را

مخلوط "گازها": gas mixtwe :

$h_{mix} = \sum c_i h_i$

$u_{mix} = \sum c_i u_i$

$s_{gen\ mixing} = \Delta s_{mixing} = -\bar{R} \sum y_i \ln y_i$

$R_{mix} = \sum c_i R_i$

$k_{mix} = \frac{c_{pmix}}{c_{vmix}} = \sum c_i k_i$

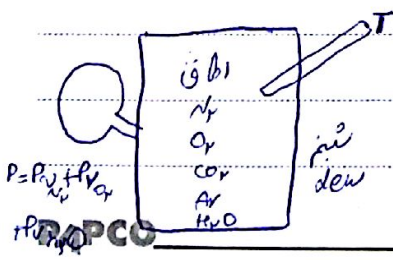
مدل ساده شده‌ای از مخلوط "گازها و بخار":

مثال: هوای مرطوب (هوا و بخار آب)

فرضیات: ۱- مخلوط "گازی را "گاز آرمانی فرض کنید.

۲- کسر انسی بخار یا جامد شده بر بخار موجود در مخلوط "گاز و "گازها نسبت ("گاز حل شده در مایع و جامد بخار (درصورت وجود) "گاز وجود ندارد:

۳- بخار با مایع یا جامد خود درصورت وجود در حال تعادل ترمودینامیکی است: یعنی فشار جزئی بخار برابر فشار اشباع مایع یا جامد در همان دمای مخلوط است.



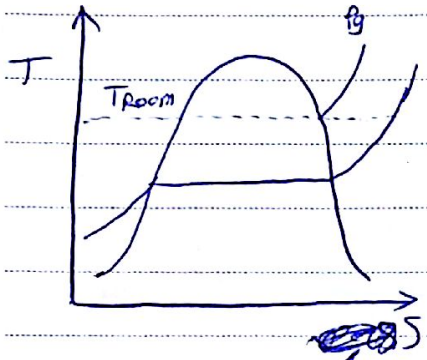
Scanned by CamScanner
LearnElement.ir

Subject:
Date

تعریف رطوبت نسبی: ϕ : نسبت فشار جزئی بخار آب به فشار اشباع در دمای مخلوط:

$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

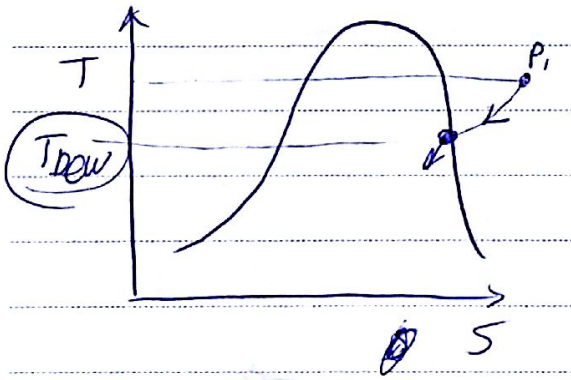
$$0 \le \phi < 100$$



رطوبت مطلق (نسبت رطوبی): نسبت بخار آب موجود در واحد جرم هوای خشک

$$W = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\frac{P_v V}{R_v T}}{\frac{P_a V}{R_a T}} = \frac{R_a}{R_v} \times \frac{P_v}{P_a} = 0{,}622 \frac{P_v}{P_a} = 0{,}622 \times \frac{P_v}{P - P_v}$$

دمای نقطه شبنم: Dew Point Temp : اگر مخلوط هوا و بخار آب را در فشار ثابت سرد کنیم دمایی که در آن اولین قطرات شبنم ظاهر می‌شود دمای نقطه شبنم می‌گوییم:



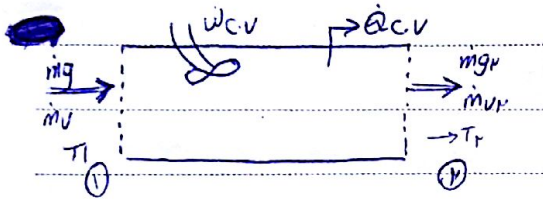
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

1) The energy equation for Gas-Vapor Mixture — معادله انرژی (قانون اول)

2) Adiabatic saturation process: — فرآیند اشباع آدیاباتیکی

3) wet bulb and dry bulb temperatures:



$$\frac{dm_{C.V}}{dt} + \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_i = 0 \quad \xrightarrow{\text{steady flow}}$$

بقای جرم: $\dot{m}_{g_1} + \dot{m}_{v_1} = \dot{m}_{g_2} + \dot{m}_{v_2}$

$\div \dot{m}_a$: $1 + \omega_1 = 1 + \omega_2 \Rightarrow \boxed{\omega_1 = \omega_2}$

$$\frac{dE_{C.V}}{dt} + \sum \dot{m}_e\left(h_e + \frac{V_e^2}{2} + gz_e\right) - \sum \dot{m}_i\left(h_i + \frac{V_i^2}{2} + gz_i\right) + \dot{W}_{C.V} - \dot{Q}_{C.V} = 0$$

$$\frac{\dot{m}_{a_2} h_{a_2}}{\dot{m}_a} + \frac{\dot{m}_{v_2} h_{v_2}}{\dot{m}_a} - \frac{\dot{m}_{a_1} h_{a_1}}{\dot{m}_a} - \frac{\dot{m}_{v_1} h_{v_1}}{\dot{m}_a} + \dot{W}_{C.V} - \dot{Q}_{C.V} = 0$$

$\div \dot{m}_a$: $h_{a_2} + \omega_1 h_{v_2} - h_{a_1} - \omega_1 h_{v_1} + \dot{W}_{C.V} - \dot{Q}_{C.V} = 0$

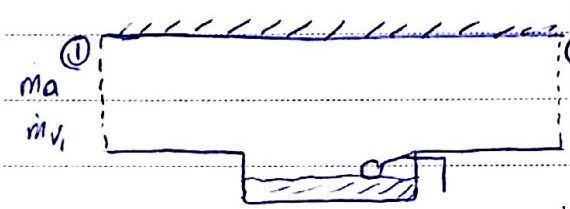
$$\Rightarrow C_{pa}(T_2 - T_1) + \omega(h_{v_2} - h_{v_1}) + u_{C.V} - \dot{Q}_{C.V} = 0 \Rightarrow (\omega C_{pv} + C_{pa})(T_2 - T_1) + \dot{W}_{C.V} - \dot{Q}_{C.V} = 0$$

قانون دوم: $\frac{dS_{C.V}}{dt}^{\,0} + \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i - \sum \frac{\dot{Q}}{T} - \dot{S}_{gen} = 0$

$$\dot{m}_{a_1} s_{a_1} + \dot{m}_{v_1} s_{v_1} - \dot{m}_{a_2} s_{a_2} - \dot{m}_{v_2} s_{a_2} + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0$$

$\div \dot{m}_a$: $s_{a_1} + \omega_1 s_{v_1} - s_{a_2} - \omega_2 s_{a_2} + \sum \frac{\dot{Q}}{T} + \dot{S}_{gen} = 0$

فرآیند اشباع آدیاباتیکی:



معادله انرژی: $\dot{m}_L h_L + \dot{m}_{a_1} h_{a_1} + \dot{m}_{a_2} h_{a_2} = \dot{m}_a h_{a_2} + \dot{m}_{v_2} h_{v_2}$

$\div \dot{m}_a$: $h_{a_1} + \omega_1 h_{v_1} + \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_a} h_L = h_{a_2} + \omega_2 h_{v_2}$

بقای جرم: $\dot{m}_a + \dot{m}_{v_1} + \dot{m}_L = \dot{m}_a + \dot{m}_{v_2} \Rightarrow \div \dot{m}_a$

$\omega_1 + \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_a} = \omega_2$

$\Rightarrow \frac{\dot{m}_L}{\dot{m}_a} = \omega_2 - \omega_1$

LearnEl.ement.ir
Scanned by CamScanner

به نام لو

Subject:
Date

حالت دوم $\phi=1$ $\rightarrow$ $h_{v_2} = h_{g_2}$

$$C_{pa}(T_1 - T_2) + W_1 h_{v_1} - W_2 h_{g_2} + (W_2 - W_1) C_L T_2 = 0$$

$$W_2 = \frac{C_{pa}(T_1 - T_2) + W_1 h_{v_1} + W_1 C_L T_2}{C_L T_2 - h_{g_2}}$$

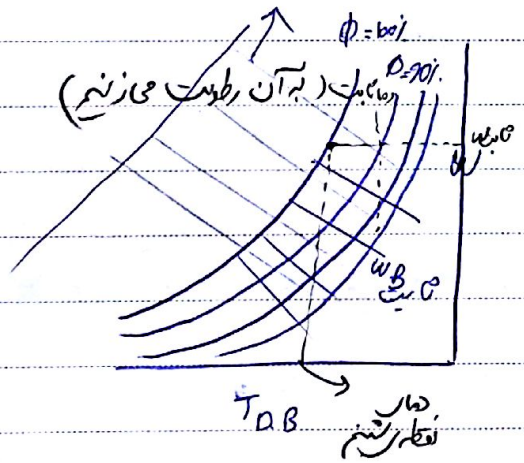
T_2 آن مخلوط مرموجی اشباع با نقطه یک خاصیت مخلوط است که به آن دمای اشباع آدیاباتیکی می‌گوییم!

درجه حرارت حباب خشک Dry bulb Temperature

عبارت است از دمایی که آن حباب یک ترمومتر معمولی یا محل اتصال دو سیم ترموکوپل یا یک حساسه (sensor) در داخل یک مخلوط هوا و بخار آب قرار بگیرد به ما نشان دهد:

درجه حرارت حباب مرطوب: تقریبی است از دمای اشباع آدیاباتیکی (به دلیل این که اندازه‌گیری دمای اشباع آدیاباتیکی دشوار است) و آن درجه حرارتی است که حباب آن توسط یک فتیله (wick) مرطوب شده است و با سرعت معینی هوا از آن عبور کند را به ما نشان دهد: (رجوع شود به شکل کتاب)

نمودار رطوبت سنجی: psychrometric chart



آنتالپی ثابت تقریباً موازی W.B ثابت است:

$$P_{total} = P_v + P_a$$

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$z = x^2 + y^2$

فصل بعدی: روابط ترمودینامیکی :

دو رابطه ی مهم ریاضی قابل کاربرد برای استخراج روابط ترمودینامیکی : Thermodynamic relation

1. two important mathematical relations
2- maxwell relation
3- clapeyron relation

رابطه ی اول : اگر متغیر z تابعی از دو متغیر مستقل x و y باشد :

$$z = f(x,y) \Rightarrow dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x dy$$

$$dz = M\,dx + N\,dy$$

می توان ثابت کرد : $\left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x}\right)_y$

اثبات

$$\left(\frac{\partial \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y}{\partial y}\right)_x = \left(\frac{\partial \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)_x}{\partial x}\right)_y \Rightarrow \frac{\partial^2 z}{\partial x \partial y} = \frac{\partial^2 z}{\partial y \partial x}$$

رابطه ی دوم : اگر z تابعی از دو متغیر x و y باشد :

$$\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x = -1$$

cyclic relation: اثبات :

$$x = f(y,z) \Rightarrow dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z dy + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y dz$$

$$y = f(x,z) \rightarrow dy = \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx + \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x dz$$

$$\Rightarrow dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left[\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx + \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x dz\right] + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y dz$$

$$= \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z dx + \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x dz + \left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y dz$$

چون فقط دو متغیر مستقل وجود دارد ، به عنوان مثال x و z را فرض بگیرید مستقلند ، بنابراین $dz = 0$ در نتیجه $dx \neq 0$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_z = 1$$

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x = -\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y \Rightarrow \left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

$du = Tds - pdv$ $\quad da = -pdv - sdT$

$dh = Tds + vdp$ $\quad dg = vdp - sdT$

تابع هلمتز: a = Helmholtz function

$a = u - Ts$

$da = du - Tds - sdT$

$da = -pdv - sdT$

تابع گیبز:

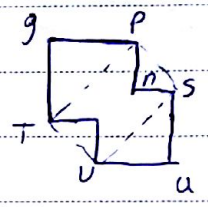
$g = h - Ts \Rightarrow dg = dh - Tds - sdT \Rightarrow dg = vdp - sdT$

$\Rightarrow du = Tds - pdv \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -\left(\frac{\partial p}{\partial s}\right)_v$

$dh = Tds + vdp \Rightarrow \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_p$

$da = -sdT - pdv \Rightarrow \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$

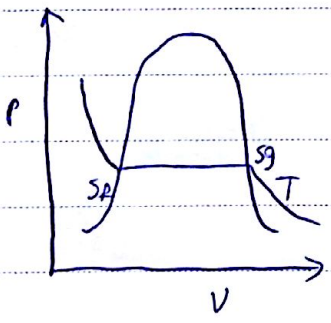
$dg = -sdT + pdv \Rightarrow \left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$



$\left(\frac{dp}{dT}\right)_{\text{اشباع}} = \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T$

$\frac{dp}{dT} = \frac{s_g - s_f}{v_g - v_f} = \frac{\frac{h_{fg}}{T}}{\frac{RT}{p}}$ $\quad v_g \gg v_f$,

$\frac{dp}{dT} = \frac{p \times h_{fg}}{RT^2} \Rightarrow \int \frac{dp}{p} = \int \frac{h_{fg}}{R} \times \frac{dT}{T^2} \Rightarrow \ln \frac{P_2}{P_1} = \frac{h_{fg}}{R}\left[\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right]$



Scanned by CamScanner
LearnElement.ir

بسم الله الرحمن الرحیم

Subject:
Date

۱- روابط ترمودینامیکی شامل انتالپی، انرژی داخلی و انتروپی:

1- Thermodynamic relations involving Enthalpy, internal energy and Enthropy:

۲- ضریب انبساط حجمی، ضریب قابلیت تراکم دمایی، ضریب قابلیت تراکم آدیاباتیک

2- Volume Expansivity isothermal and adiabatic compressibility

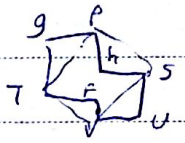
۳- رفتار یک گاز ایده‌آل و ضریب قابلیت تراکم آن

تکمیل نمودن جداول ترمودینامیکی!

$h = f(T, P)$

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

گرمای ویژه در فشار ثابت $\Rightarrow c_p = \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P$



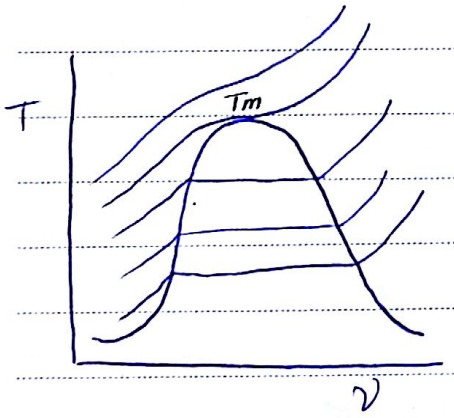
$$\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = \left(\frac{T\,ds}{dP}\right)_T + \left(\frac{v\,dP}{dP}\right)_T \xrightarrow{\text{از رابطه آمده}} dh = T\,ds + v\,dP$$

$$= T\left(\frac{\partial s}{\partial P}\right)_T + v \Longrightarrow \frac{\partial s}{\partial P} = -\frac{\partial v}{\partial T}$$

$$= T\left(-\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P + v$$

$$dh = c_p\,dT + \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP \xrightarrow{\text{انتگرال‌گیری}}$$

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p\,dT + \int_{P_1}^{P_2} \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP$$



$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_m)_P + (h_m - h_1)_T$$

~~$T = T_0$~~

انتالپی گاز آرمانی فقط تابعی از دماست:

$$dh = c_p\,dT + \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$v = \frac{mRT}{P} \Rightarrow \frac{\partial v}{\partial T} = \frac{mR}{P}$$

$$\Rightarrow \frac{mRT}{P} - \frac{mRT}{P} = 0$$

برای گاز آرمانی $\Rightarrow dh = c_p\,dT + 0$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

$U = f(T, V)$

$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V dT + \left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T dV \Rightarrow C_v = \left(\frac{dU}{dT}\right)_V$

$\left[\frac{dU}{dV}\right]_T = \left[\frac{T dS}{\partial V}\right]_T - \left[\frac{P dV}{dV}\right]_T$

$T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - P\left[\frac{dU}{dV}\right]_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T - P$

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

$S = f(T, P)$ انتروپی

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

$dh = T dS + V dP \Rightarrow \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = \left(\frac{T dS}{\partial T}\right)_P + \left(\frac{V dP}{\partial T}\right)_P^{0}$

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

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

از رابطه بالا $dS = \frac{C_P}{T} dT - R\frac{dP}{P} \Rightarrow \Delta S = \int \frac{C_P}{T} dT - R \ln \frac{P_2}{P_1}$

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

$\left[\frac{dU}{dT} = \frac{T dS}{\partial T} - \frac{P dV}{dT}^{0}\right]_V \Rightarrow \frac{C_v}{T} = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V$

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

$\longrightarrow PV = RT \Rightarrow dS = \frac{C_v}{T} dT + \frac{R}{V} dV \Rightarrow \Delta S = \int \frac{C_v}{T} dT + R \ln \frac{V_2}{V_1}$

P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

Subject:
Date

$$\frac{C_p}{T}dT-\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp=\frac{C_v}{T}dT+\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dV$$

$$\left(\frac{C_p-C_v}{T}\right)dT=\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V dv+\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p dp$$

$$dT=\frac{T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V}{C_p-C_v}dV+\frac{T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p}{C_p-C_v}dp$$

$$T=f(V,p)\Rightarrow dT=\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p dV+\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V dp$$

$$\frac{T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V}{C_p-C_v}=\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p$$

$$C_p-C_v=\frac{T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V}{\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p}$$

$p=f(V,T)$

$\longrightarrow$ cyclic relation: $\Rightarrow \left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T\times\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p\times\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V=-1$

$$\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V=\frac{1}{\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_V}\Rightarrow\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T\times\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p=-\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_V$$

$$C_p-C_v=\frac{-T\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p}{\left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_p}\Rightarrow \boxed{C_p-C_v=-T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p^2\left(\frac{\partial p}{\partial V}\right)_T}$$ رابطه کلی

۱- رابطه فوق برای "گاز آرمانی":

$$pV=RT\Longrightarrow C_p-C_v=R$$

$$p=\frac{RT}{V}\Rightarrow\frac{\partial p}{\partial V}=-\frac{RT}{V^2}\qquad \frac{R^2}{P^2}\times\frac{RT^2}{V^2}$$

۲) $C_p-C_v>0$ $\longrightarrow$ ما در زندگی همیشه کمترین رفتار را داریم

---

linear expansion coefficient: ضریب انبساط طولی:

$$\alpha_p=\frac{1}{L}\left(\frac{\partial L}{\partial T}\right)_p\longrightarrow$$ ضریب انبساط طولی $\longrightarrow$ ثابت کنید $\longrightarrow$ $\alpha_p=3\alpha_p$

ضریب انبساط حجمی $\Rightarrow \alpha_p=\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p\times\frac{1}{V}=\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p$

ضریب تراکم پذیری ثابت $\Rightarrow \beta_T=-\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T=-\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T$ Isothermal compressibility

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسمه تعالی

Subject: alirezahayati96
Date

$$\beta_S = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_S$$ ضریب تراکم آدیاباتیک

$$\beta_T = \frac{1}{B_T} = -v\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_T$$ معادل ایزوترمال:

$$B_S = \frac{1}{\beta_S} = -v\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_S$$ adiabatic bulk modulus

تعریف صحیح سرعت صوت در یک ماده:

$$c = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_S \Rightarrow c = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}_S}$$

velocity of sound

$$c = \left(\frac{\partial p}{\partial \rho}\right)_S = -v^2\left(\frac{\partial p}{\partial v}\right)_S = v B_S$$

$$\int_0^{\frac{l}{2}} \frac{\text{illegible}}{\text{illegible}} \times \frac{\omega}{l} x\, dx$$

$$\frac{\omega}{l} \frac{x^2}{2} \Big|_0^{\frac{l}{2}} + \int_{\frac{l}{2}}^{l} \frac{\omega}{l} \frac{x^2}{2} - \frac{\omega}{2} \times \frac{l}{4} \times$$

ادامه روابط ترمودینامیکی:

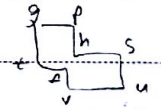
ضریب انبساط حجمی $\Rightarrow \alpha_p = \left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p$

ضریب قابلیت تراکم دما ثابت $\beta_T = -\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_{T=cte}$

$$C_p - C_v = \frac{T v \left[\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p\right]^2}{-\frac{1}{v}\left(\frac{\partial v}{\partial p}\right)_T}$$

$$dh = T ds + v dp$$

$$\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_p = T\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p$$



$$\left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_p \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_S \left(\frac{\partial p}{\partial s}\right)_T = -1$$

$$= -\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_S \left(\frac{\partial p}{\partial s}\right)_T$$

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

در شرایط state ، ایزنتروپیک

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

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

$$c_p dT_S = T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p dp \quad , \quad c_v dT_S = -T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv$$

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$$\frac{C_P}{C_V} = -\underbrace{\left[\frac{\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P}{\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V}\right]}_{\text{cyclic relation}} \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S \Rightarrow \frac{C_P}{C_V} = \frac{\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_S}{\left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T}$$

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

یادآوری مجدد:

$$\beta_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S \quad , \quad \beta_T = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_T$$

$$\frac{C_P}{C_V} = k = \frac{\beta_T}{\beta_S}$$

$$S_L = \frac{1}{L}\left(\frac{\partial L}{\partial T}\right)_P \qquad V = L_1 \times L_2 \times L_3$$

$$\text{A.t.e} \quad \frac{\partial V}{\partial T} = L_2 L_3 \frac{\partial L_1}{\partial T} + L_1 L_3 \frac{\partial L_2}{\partial T} + L_1 L_2 \frac{\partial L_3}{\partial T}$$

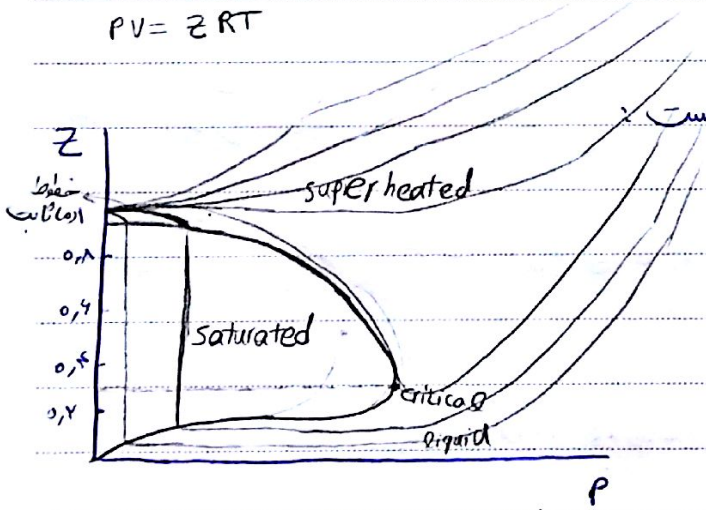
$$\frac{1}{V}\frac{\partial V}{\partial T} = \frac{1}{L_1}\frac{\partial L_1}{\partial T} + \frac{1}{L_2}\frac{\partial L_2}{\partial T} + \frac{1}{L_3}\frac{\partial L_3}{\partial T} \Rightarrow \boxed{\alpha_P = 3 S_L}$$

گاز واقعی: Real gas behaviour

$PV \simeq RT$

انحراف از گاز ایده آل: یکی از معیارها (Z compressibility factor) ضریب قابلیت تراکم است:

$PV = ZRT$



ضریب قابلیت تراکم: معیاری از غیرآرمانی بودن گاز است.

Compressibility chart ⇐ نمودار ضریب قابلیت تراکم:

P4PCO

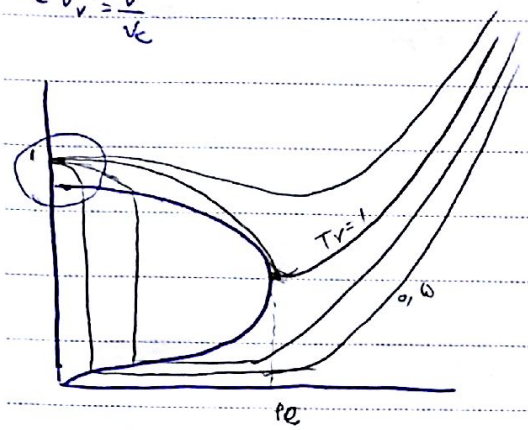
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

اما پیش از آن که نمودار صفحه قبل برای کلیه ی گازها صادق باشد، دو اینصورت می آییم دما و فشار و حجم را بر کریتیکال آن ها تقسیم می کنیم. در اینصورت آن ها بدون بعد می شوند:

$$T_r = \frac{T}{T_c}$$
$$P_r = \frac{P}{P_c}$$
$$V_r = \frac{V}{V_c}$$



نمودار ضریب قابلیت تراکم تعمیم یافته:

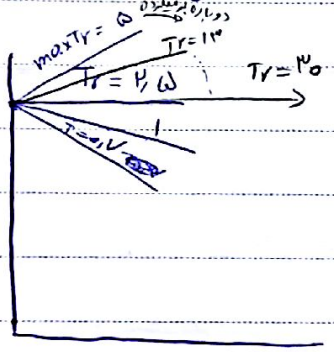
عموم گازها (با بعضی استثناء مثل هیدروژن) $\Rightarrow$ generally $Z_c \Rightarrow 0,23 - 0,31$

specifically $\Rightarrow 0,27 - 0,333$ گازهای متداول و نه خیلی پرت

Rules of corresponding states:

قاعده ی حالات مشابه: در این حالات $\Rightarrow$ حالات مشابه برابا هم در تقارن می گیرند:

observed gas behaviour at low pressure



نمودار بالا را در $Z=1$ زیر ذره بین می گذارد:

$$Z = \frac{PV}{RT} \quad \lim_{P\to 0} \Rightarrow Z = 1$$

شرط لازم برای آرمانی بودن گاز $Z=1$: اما شرط کافی نیست مثلاً $T_r=30$ و $Z=1$

برای غیرآرمانی بودن گاز ضریب دلتری تعریف می کنیم:

$$\alpha = \frac{RT}{P} - V$$

Residual volume: $\Rightarrow$ حجم باقیمانده

$$\lim_{dP\to 0} \alpha = \lim_{dP\to 0}\left(\frac{RT}{P} - V\right) = f(T) = 0 \quad \text{at Boyle temperature}$$

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسمه تعالی

Subject:
Date

$\mu_j = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h = 0$ ضریب ژول تامسون $\mu_j = 0$ معیار دیگر برای آرمانی بودن گاز

برای گاز واقعی: $h = f(T) \neq 0$ چون برای گاز آرمانی $\Rightarrow$

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

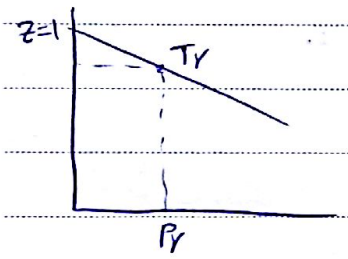
$\left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h \left(\frac{\partial P}{\partial V}\right)_T \left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P = -1 \Rightarrow \mu_j = \frac{-\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T}{C_P} = \frac{T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V}{C_P}$

μ_j

$\mu_j = \frac{T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P - V}{C_P} \Rightarrow PV = ZRT \Rightarrow TV = \frac{ZRT^2}{P}$

$\Rightarrow T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P = \frac{ZRT^2}{P} + \frac{RT^2}{P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P$

$\mu_j = \frac{RT^2}{PC_P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_{P\,cte}$



شیب خط: $\frac{Z-1}{P-0}$

$\lim_{P\to 0} \frac{Z-1}{P-0} = \lim_{P\to 0}\left(\frac{V}{RT} - \frac{1}{P}\right) = \lim_{P\to 0}\left(\frac{-\alpha}{RT}\right) = 0$

at boyle temp

Enthalpy deviation chart

نمودار انحراف انتالپی تعمیم یافته:

$dh = C_P dT + \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP$

$dh = dh_P + dh_T$

برای گاز آرمانی $\Rightarrow dh_T = 0 \rightarrow \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP$

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

$$dh_T = \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP \qquad PV = ZRT$$

$$dh = \left[\frac{ZRT}{P} - T\left(\frac{RZ}{P}\right) - \frac{T^2 R}{P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P\right]$$

$$dh = \left[\frac{-RT^2}{P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$$P_r = \frac{P}{P_c} \Rightarrow P = P_r P_c \rightarrow dP = P_c\, dP_r$$

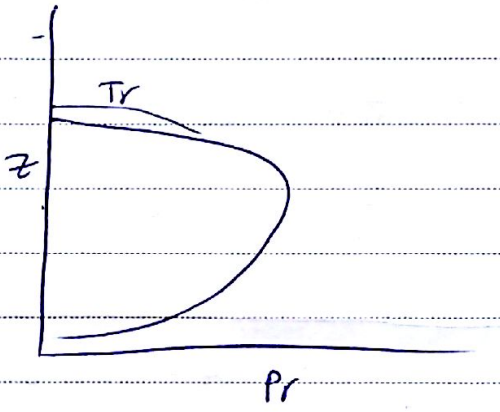
$$V_r = \frac{V}{V_c} \qquad T_r = \frac{T}{T_c} \rightarrow T = T_r T_c \rightarrow dT = T_c\, dT_r$$

$$\frac{dh}{T_r} = \frac{-R T_c^2 T_r^2}{P_c P_r}\left(\frac{\partial Z}{T_c\, dT_r}\right) P_c\, dP_r$$

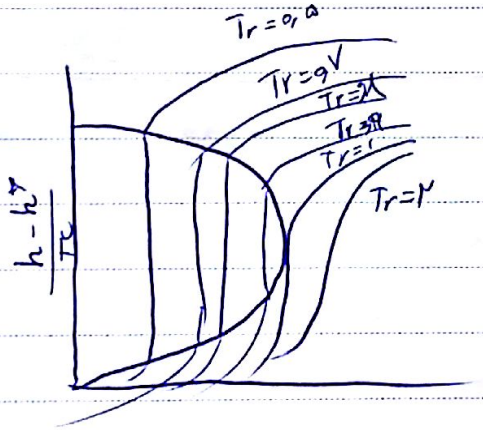
$$dh_{T_r} = \frac{-RT_c T_r^2}{PV}\left(\frac{\partial Z}{\partial T_r}\right) dP_r$$

$$\int_{P_r=0}^{P_r} \frac{dh}{T_c} = \frac{-RT_r^2}{PV}\left(\frac{\partial Z}{\partial T_r}\right) dP_r$$

$$\frac{h - h^*}{T_c} = \int_{P_r=0}^{P_r} \frac{-RT_r^2}{P_r}\left(\frac{\partial Z}{\partial T_r}\right) dP_r$$



$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_{2^*}) + (h_{2^*} - h_{1^*}) + (h_{1^*} - h_1)$$



نمودار انتالپی تعمیم یافته:

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject: ترمودینامیک II
Date: 95,2,15

تغییرات انتالپی تعمیم یافته:

مثال: برای گاز CH_4 از دمای $300K$ و فشار $3MPa$ تا دمای $700K$ و فشار $1MPa$ تغییرات انتالپی را به دست بیاورید:

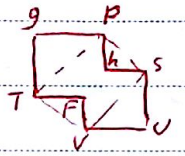
از مرجع: رفتار گاز آزمایی — از خودمان

$$\bar{h}_2 - \bar{h}_1 = (h_2 - h_2^*) + (h_2^* - h_1^*) + (h_1^* - h_1)$$

$$P_r = \frac{P}{P_c}, \quad T_r = \frac{T}{T_c}$$

$$\Rightarrow \bar{h}_2^* - \bar{h}_1^* = \int_{T_1}^{T_2} C_p^* \, dT$$

نمودار انتروپی تعمیم یافته:



$$\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T = -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P \longrightarrow$$ از معادلات ماکسول

از ارتفاع بالا از $\bar{P}=0$ تا P مورد نظر در دمای ثابت انتگرال می گیریم:

$$(S_P - S_0^*)_T = \left[\int_{P=0}^{P} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right) dP_T\right]$$

منظور رفتار گاز آزمایی

انتروپی در فشار صفر را با ستاره نشان می دهیم که تداعی کنیم رفتار گاز آزمایی است)

فشار بسیار پایین ← انتروپی صفر

انتگرال گیری قبل را برای یک گاز آزمایی تکرار کنیم (از فشار صفر تا فشار مورد نظر گاز آزمایی می بود)

$$(S_P^* - S_0^*)_T = -\left[\int_{P=0}^{P} \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right) P \, dP_T\right] = \left[-\int^{P} R \frac{dP_T}{P}\right]$$

$$S_P^* - S_0^* = -\left[\int_{P=0}^{P} \frac{R}{P} - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P dP\right]$$

$$\bar{S}_P^* - \bar{S}_P = -\int_{P=0}^{P} \left[\frac{\bar{R}}{P} - \frac{Z\bar{R}}{P} - \frac{\bar{R}T}{P}\left(\frac{\partial Z}{\partial T}\right)_P\right] dP_T$$

$$S_P^* - S_P = \bar{R}\left[\int_0^{P_r} (Z-1)\frac{dP_r}{P_r} + \underbrace{\bar{R}T_r \int_0^{P_r} \left(\frac{\partial Z}{\partial T_r}\right)_{P_r} \frac{dP_r}{P_r}}_{\text{از قبل} \rightarrow \frac{\bar{h}^* - \bar{h}}{T_c T_r}}\right]$$

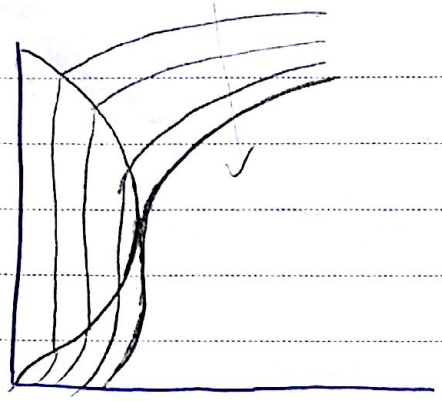
نمودار در صفحه بعد

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject: digikala.com
Date



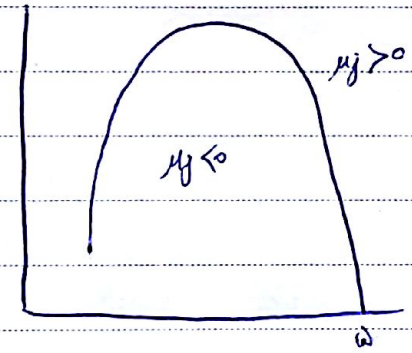
ازقبل : $\bar{R}T_2$

مثال: مطلوبست تغییرات انتروپی 1 مول گاز پروپان C_3H_8 از دمای $50^\circ C$ و فشار $3MPa$ تا دمای $1000^\circ C$ و فشار $15MPa$

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

$$Pr_1 = \frac{P_1}{P_{c_{C_3H_8}}} \quad , Tr_1 = \frac{323.15}{T_{c_{C_3H_8}}} \Rightarrow \quad Pr_2 = \frac{P_2}{P_{c_{C_3H_8}}} \quad , Tr_2 = \frac{T_2}{T_{c_{C_3H_8}}} \xrightarrow{1273.15}$$

$$S_2 - S_1 = \underbrace{(S_2 - S_2^*)}_{Pr_2, Tr_2} + \underbrace{(S_2^* - S_1^*)}_{C_p \ln\frac{T_2}{T_1} - R\ln\frac{P_2}{P_1}} + \underbrace{(S_1^* - S_1)}_{Pr_1, Tr_1}$$



$$\mu_j = \left(\frac{dT}{dP}\right)_h$$

حجم باقیمانده:

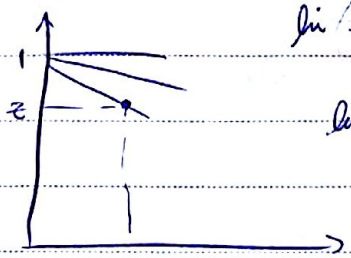
شرط لازم برای گاز آرمانی $\alpha = 0$ $\Rightarrow$ تعریف حجم باقیمانده $\Rightarrow \alpha = \frac{RT}{P} - v$

$$\alpha P = RT - Pv \qquad Pv = ZRT$$

شیب خط

$$\lim_{P\to 0}\frac{Z-1}{P-0} = \lim\left(\frac{N}{RT} - \frac{\frac{1}{P}}{ZRT}\right)$$

شیب خط را در نمودار به دست می آوریم



$$\lim\frac{1}{RT}\left(v - \frac{RT}{P}\right) = -\frac{1}{RT}\lim -\alpha = f(T) = 0$$

at Boyle Temp

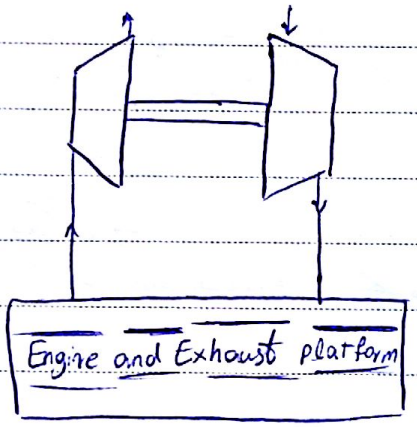
P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

مسئله امتحانی میان ترم: کمپرسور یک توربوشارژر دارای جریان ورودی $V_1 = 0.5 \frac{m^3}{min}$ هوا با شرایط دما و فشار ورودی $T_1 = 288\ K$ و $P_1 = 101.325\ kPa$ کمپرسور دارای نسبت فشار ۱/۵ و بازده ایزنتروپیک ۸۰٪ می باشد. کمپرسور مستقیما با توربین گاز آلزوز با بازده ایزنتروپیک ۷۰٪ در ارتباط است. توربوشارژر موتور به گونه ای کار می کند که این شرایط جریان دائم را دنبال می کند: نسبت فشار توربین همان نسبت فشار کمپرسور است و جرم سوخت ورودی به موتور را می توان نادیده گرفت: یعنی دبی جرمی هوای ورودی همان دبی جرمی گازهای آلزوز است. مطلوبست:



۱- دمای گاز ورودی به توربین T_3

۲- قدرت تولید شده توسط توربین

هوا با بستی از دمای حباب خشک ۴۰°C و رطوبت نسبی ۵۰٪ تا دمای حباب خشک ۲۰°C و رطوبت نسبی ۴۰٪ ابتدا توسط یک خنک کننده تبخیری رطوبت زدایی و سپس در یک دستگاه تهویه مطبوع خنک شده و به حالت نهایی برسد. فشار کلی ۱۰۱/۳۲۵ پیدا کنید:

۱- مقدار آب گرفته شده به ازای هر کیلوگرم هوای خشک عبوری از رطوبت زدا

۲- دمای هوای خروجی از رطوبت زدا

۳- فرایند را روی نمودار رطوبت سنجی نشان دهید:

PAPCO

LearnEngineering.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

فصل سوم: واکنش های شیمیایی علی الخصوص احتراق:

واکنش های شیمیایی

احتراق

سوخت ها ـ سوخت های فسیلی

دسته بندی سوخت های فسیلی — Fossil Fuel classification

تعاریف مرآنیدهای احتراقی: هوای تئوری یا هوای استوکیومتری — Theoretical Air / هوای استوکیومتریک

ـ نسبت هوا به سوخت (AF) — Air Fuel ratio

ـ نسبت سوخت به هوا (FA)

دسته بندی سوخت های فسیلی — Hydrocarbon Fuels
- سوخت های جامد
- سوخت های مایع ← اهمیت این خیلی بیشتر هست.
- سوخت های گاز

زغال سنگ: coal

دسته بندی زغال سنگ برحسب درجه ی خلوص (عیار) زغال سنگ است:

lignite — Brown coal — semi anthrasit — anthrasit — graphit

منشأ آن گیاهان هستند. — مواد گیاهی: Raw vegetable material. — درجه خلوص

دسته بندی سوخت های مایع — از نظر ساختار مولکولی (اتمی) — اشباع شده

دسته بندی از نظر ساختار اتمی:
- سوخت های زنجیره ای — chain type
- سوخت های حلقوی — ring type

زنجیره ای ← N

حلقوی

سوخت ها از اشباع شده یا اشباع نشده: saturated or unsaturated:

ساختمان زنجیر از اشباع نشده

PAPCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

crude oil: نفت خام نفت: کروسن

صحبت از ایزومری کنیم (Isomer): دو هیدروکربن با تعداد اتم کربن و هیدروژن یکسان و ساختمان متفاوت (یکی زنجیری و دیگری حلقوی)

لذا چندین آلکان C_8H_{18} که هرکدام دارای ۸ اتم کربن و ۱۸ هیدروژن هستند:

خانواده هیدروکربن های مختلف به وسیله پسوندشان مشخص می شوند:

خانواده پارافین ها با ane مشخص می شوند (پروپان، اکتان)

خانواده ترکیبات اولفین با ene یا eylen (پروپین، اکتین)

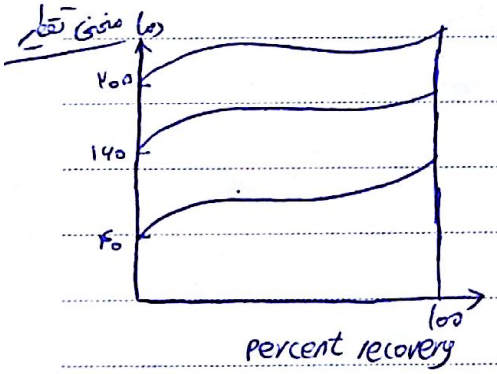
خانواده didefin مثل بوتادین

خانواده ؟ نفتن ها با defin

بیشتر سوخت های هیدروکربنی مایع مخلوطی از هیدروکربن های هستند که از نفت خام crude oil طی فرآیند شکست cracking و تقطیر (distillation) در پالایشگاه Refinery plant در برج تقطیر (distillation tower) ایجاد می شوند:

diesel fuel: سوخت دیزل kerosence نفت خانگی

Fuel oil: نفت سنگین gasoline:



منحنی تقطیر

gases fuel: دسته بندی سوخت های گازی

مبحث بعد

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

CNG : compressed natural gas
LNG : liquid natural gas
} : natural gas سوخت گاز طبیعی

LPG : liquified petroleom gas سوخت گاز پالایشگاهی :

Reforming gases. : رفت گاز ناشی از احتراق زغال سنگ

ترکیب هوا : atmospheric air (Nitrogen)

هوای تجاری
نیتروژن ۷۸٪
اکسیژن ۲۱٪
آرگون ۱٪

نیتروژن جوی
۷۹٪ N_2
۲۱٪ O_2
$\Rightarrow \frac{79}{21} = 3.76$

هوای تئوری : Theoretical air

مقدار هوایی که برای احتراق کامل (complete combustion) سوخت لازم است هوای تئوری یا هوای استوکیومتری گفته می‌شود.

منظور از احتراق کامل آن است که CO در محصولات احتراق وجود نداشته باشد و علاوه بر آن سوخت در محصولات احتراق ظاهر نشود که به آن خام سوزی می‌گوییم.

احتراق کامل متان و هوا :

$$CH_4 + 2(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + 2(3.76)N_2$$

ضرایب استوکیومتریک $\Rightarrow$ مول

$1CH_4 = 1 \quad 2O_2 = 2 \quad 2N_2 = 2\times 3.76 \quad , \quad 1CO_2 = 1$

احتراق کامل ایزو اکتان (بنزین) با هوا :

$$C_8H_{18} + \frac{25}{2}(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow 8CO_2 + 9H_2O + \frac{25}{2}\times 3.76\,N_2$$

نسبت هوا به سوخت (AF)

A/F { mole based, mass based }

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{جرمی}} = \frac{\left(\frac{25}{2}\times 3.76\times 28.97\right)}{8\times 12 + 18\times 1} =$$

جرم مولی هوا / جرم مولی نیتروژن

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{\text{مولی}} = \frac{4.76\times\frac{25}{2}}{1} =$$

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بنام او

Subject:
Date

3T in combustion: { Time (زمان) / Turbolance (مخلوط شدن) / Temperature (دما) }

معمولاً برای اینکه سوختن کامل باشه و همچنین پرهیز از احتراق ناقص و دوده سوزی معمولاً بیشتر از هوای تئوری در اختیار سوخت قرار می‌دهیم که به آن درصد هوای تئوری یا درصد هوای اضافی می‌گوییم:

ie percent theoretkal air

درصد هوای تئوری:

و درصد هوای اضافی:

مثال: احتراق بوتان با ٪۲۰ درصد هوای اضافی (٪۱۲۰ هوای تئوری) بنویسید:

(درصد هوای اضافی ۱۲۰٪) $C_4H_{10} + \frac{13}{2}(O_2 + 3.76N_2) \longrightarrow 4CO_2 + 5H_2O + \frac{13}{2} \times 3.76N_2 + \frac{2}{2} \times \frac{13}{2} O_2$ (۱۳)

نسبت تعادلی: equivalence ratio :

ϕ = Equivalence ratio

$$\phi = \frac{FA_{\text{واقعی}}}{(FA)_s} = \frac{(AF)_s}{AF} = \frac{1}{\text{percent theoretical air}}$$

$\phi < 1 \Rightarrow$ سوخت رقیق (lean mixture) $\phi > 1 \rightarrow$ rich mixture مخلوط غنی

انتالپی تشکیل: h_f Enthalpy of formation

تا این لحظه از درس ترمودینامیک با ماده خالص کار کرده‌ایم. به زودی وارد جلوتر با مخلوط‌ها، اما اینبار با تغییر ترکیب شیمیایی مواجه هستیم:

مواد شرکت کننده در احتراق

$C + O_2 \longrightarrow CO_2$

$\bar{h}^\circ_f = -393522$

1 kmole C, 25°C, 0.1 MPa
1 kmole O_2, 25°C, 0.1 MPa
→ [ظرف احتراق] → 1 kmol CO_2, 25°C, 0.1 Mpa
→ -393522 kj

$$\bar{h}_{T,P} = \bar{h}^\circ_f + \overbrace{\bar{\Delta h}}^{25°C, 0.1 MPa \rightarrow T,P}$$

P4PCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

1. Reciprocity Relation

$$\left(\frac{\partial x}{\partial z}\right)_y \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = 1$$

2. cyclic relation

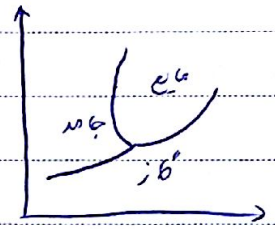
$$\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$$

3. Maxwell relation :

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s = -\left(\frac{\partial p}{\partial s}\right)_v \\ \left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_p \\ \left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \\ \left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T = -\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p \end{cases} \Rightarrow \text{cyclic: } \left(\frac{\partial s}{\partial T}\right)_v \left(\frac{\partial T}{\partial v}\right)_s \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_T = -1$$

C_v / C_p ⟹ $\left(\frac{\partial C_v}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial^2 p}{\partial T^2}\right)_v$, $\left(\frac{\partial C_p}{\partial p}\right)_T = -T\left(\frac{\partial^2 v}{\partial T^2}\right)_p$

4. clapyron equition $\left(\frac{dp}{dT}\right)_{sat} = \frac{h_{fg}}{T v_{fg}}$



برای R-134a h_{fg} را در دمای به دست آورید:

$v_{fg} = (v_g - v_f) = 0{,}0\ldots \frac{m^3}{kg}$

$\left(\frac{dp}{dt}\right)_{sat} = \left(\frac{\Delta p}{\Delta T}\right)_{sat} = \frac{P_{sat@\ldots} - P_{sat@16}}{\ldots} = \ldots$

$\longrightarrow h_{fg} = \ldots$ $h_{fg} = \ldots$ (حل)

$u = u(T, v)$

$du = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$

$\Longrightarrow du = \underbrace{\left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_v}_{C_v} dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T dv$

$du = Tds - pdv \Rightarrow \left(\frac{\partial u}{\partial v}\right)_T = T\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T - p$

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

PqPCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$$dh = \underbrace{\left(\frac{\partial h}{\partial T}\right)_P}_{C_P} dT + \underbrace{\left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T}_{dh = TdS + VdP} dP \Rightarrow \left(\frac{\partial h}{\partial P}\right)_T = T\left(\frac{\partial S}{\partial P}\right)_T + V$$

$$\hookrightarrow -\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P$$

$$dh = C_P dT + \left[V - \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P T\right] dP$$

Entropy $\Rightarrow$ $ds = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V dT + \underbrace{\left(\frac{\partial S}{\partial V}\right)_T}_{\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V} dV$

cyclic $\rightarrow$ $\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V \left(\frac{\partial T}{\partial V}\right)_S \left(\frac{\partial V}{\partial S}\right)_T = -1$

$C_v = \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V$ $\quad du = TdS - PdV \Rightarrow \left(\frac{\partial u}{\partial T}\right)_V = T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V \Rightarrow \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_V = \frac{C_v}{T}$

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

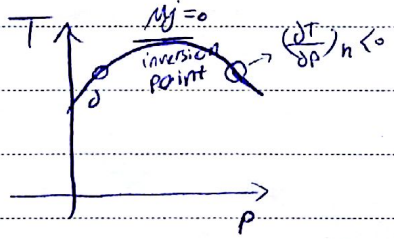
ثابت کنید در گاز کامل با فرض $PV = RT$ رابطه du به صورت زیر است:

$$\left(\frac{\partial C_v}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial^2 P}{\partial T^2}\right)_V = 0$$

C_v به V بستگی ندارد.

اثبات $\Rightarrow$ $\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{\partial M}{\partial y}\right) = \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)$ شروع

Joule-thomson: $\mu = \left(\frac{\partial T}{\partial P}\right)_h$



$$dh = C_P dT + \left[V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right] dP$$

$dh = 0$ با شرط $\Rightarrow$ $\mu = -\frac{1}{C_P}\left(V - T\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_P\right)$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p dT + \int_{P_1}^{P_2} \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] dP$$

$$h_2 - h_2^* = \int_{T_2}^{T_2} c_p \overrightarrow{dT}^{\,0} + \int_{P^* \to 0}^{P_2} \left[v - T\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_P \right] dP$$

$$h_2 - h_1 = (h_2 - h_2^*) + (h_2^* - h_1^*) + (h_1 - h_1^*)$$

$$h = u + Pv \Rightarrow h_2 - h_1 = u_2 - u_1 + P(V_2 - V_1)$$

$$PV = ZRT \Rightarrow P_2V_2 - P_1V_1 = Z_2RT_2 - Z_1RT_1$$

1600, 90°C → Comp → 500, 90°C

Propane: $T_{cr} = 370$

$P_{cr} = 4.24\,MPa$

$$T_{R_1} = \frac{T_1}{T_{cr}} = \frac{361}{370} = 0.976 \qquad P_{R_2} = \frac{5000}{4240} = 1.179$$

$$P_{R_1} = \frac{P_1}{P_{cr}} = \frac{1600}{4240} = 0.377$$

$$\begin{cases} Z = 0.88 \\ \frac{h_1^* - h_1}{RT_{cr}} = 0.37 \end{cases} \qquad \begin{cases} Z = 0.92 \\ \frac{h_2^* - h_2}{RT_{cr}} = 0.42 \end{cases}$$

$$w = \int v\,dP$$

$$PV = ZRT \simeq 1 \text{ (ideal)} \Rightarrow RT = C_{ln}\frac{P_2}{P_1}$$

P4PCO

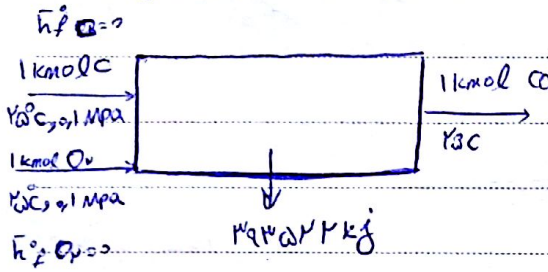
LearnEngineering.ir

Scanned by CamScanner

بسم الله

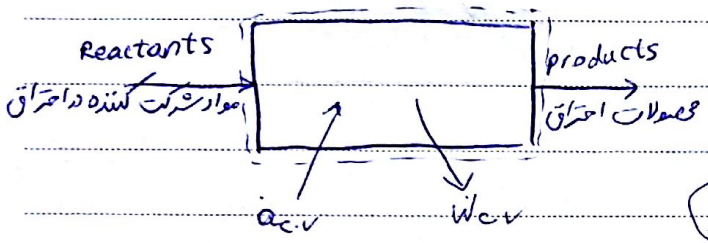
Subject:
Date

Enthalpy of formation: $\bar{h}^\circ_f$: مفهوم انتالپی تشکیل



$$\bar{h}^\circ_{f\,CO_2} = -393522\ kJ/kmol$$

First law analysis of Reacting systems:



$$F.L:\ \frac{dE_{C.V}}{dt} + \sum \dot{m}_e h_e = \sum \dot{m}_i h_i + \dot{Q} + \dot{W}$$

($\frac{dE_{C.V}}{dt} \to 0$ ، No work)

$$\sum \dot{m}_p h_p = \sum \dot{m}_R h_R + \dot{Q}_{C.V}$$

به صورت مولال بنویسیم ←

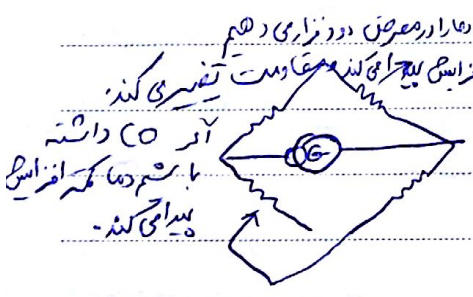
$$\sum \dot{n}_p \bar{h}_p = \sum \dot{n}_R \bar{h}_R + \dot{Q}_{C.V}$$

$$\sum \dot{n}_p \left(\bar{h}^\circ_f + \Delta h_{0.1\,MPa,\,25^\circ C \to T,P}\right)_{product} = \sum \dot{n}_R \left(\bar{h}^\circ_f + \Delta h_{0.1\,MPa,\,25^\circ C \to T,P}\right)_{rectant} + \dot{Q}_{C.V}$$

Combustion product analysis: تجزیه محصولات احتراق:

برای این که بفهمیم احتراق کامل بوده است یا نه یک راهش تجزیه محصولات احتراق است.

روش شیمیایی آنالیز گازهای احتراقی: Orsat gas analyzer



T	/ CO

پل وستون

آیرشد در مورد انواع روش های شناسایی گازهای آلاینده تحقیق انجام دهم.

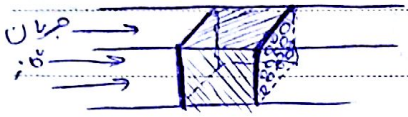
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

راه دیگر: روش های ایتیک و لیزری :

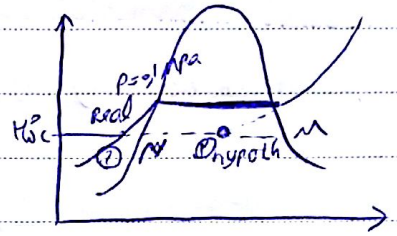
میزان کدربودن گاز opacity



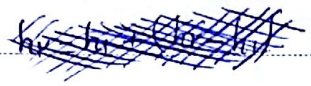
انتالپی تشکیل آب :

Hypothetical $\bar{h}^\circ_f$ vapor ②

Real $\bar{h}^\circ_f$ liquid ①



رابطه بین h_2, h_1



$$h_2 = h_1 + (h_N - h_1) + (h_M - h_N) + (h_2 - h_M)$$

h_1 از جدول — $(h_N - h_1)$ از جدول دلتا حفظی گرفتیم — $(h_M - h_N)$ h_{fg} — $(h_2 - h_M)$ Ideal gas $\simeq 0$

$$\Rightarrow h_2 = h_1 + h_{fg}$$

درجه حرارت آدیاباتیک شعله adiabatic flame temp:

اگر یک سیستم احتراقی بدون خاموشی و احتراق ناقص و با هوای تئوری و بدون تلفات حرارت از اتاق احتراق صورت گیرد، درجه حرارتی که محصولات احتراق دست می یابند درجه حرارت آدیاباتیک شعله نامیده می شود که حداکثر درجه حرارتی است که آن سوخت در شرایط فوق می تواند داشته باشد :

مثال: درجه حرارت آدیاباتیک شعله را برای سوخت گاز طبیعی با ۸۰٪ متان و ۱۲٪ اتان حجمی و ۱۲٪ هوای تئوری بیابید: فرض کنید مواد شرکت کننده در احتراق اعم از سوخت و هوا در 100°C و 1MPa وارد می شوند و محصولات احتراق دارای فشار ۱MPa می باشند:

$$0.8\,CH_4 + 0.2\,C_2H_6 + 2.1(O_2 + 3.76\,N_2) \longrightarrow 1.2\,CO_2 + 2.2\,H_2O + 1.2\times 2.1\times 3.76\,N_2 + 0.2\times 2.1\,O_2$$

$$\longrightarrow \sum H_R = \sum H_P + Q_{C.V} \Rightarrow 0.8\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{CH_4} + 0.2\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{C_2H_6} + 1.2\times 2.1\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{O_2} + 1.2\times 2.1\times 3.76\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{N_2}$$

$$= 1.2\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{CO_2} + 2.2\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{H_2O} + 1.2\times 2.1\times 3.76\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{N_2} + 0.2\times 2.1\times(\bar{h}^\circ_f + \Delta h)_{O_2}$$

این مسئله را حل کنیم جلسه آینده .

P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$h_{RP} = h_P - h_R$ **Enthalpy of combustion:** انتالپی احتراق:

عبارت است از انتالپی محصولات احتراق منهای انتالپی مواد شرکت کننده در احتراق که معمولاً برای احد مول سوخت در دمای 25°C و 1MPa بیان می شود!

Internal Energy of combustion انرژی داخلی احتراق:

$\Rightarrow \bar{u}_{RP} = \bar{u}_P - \bar{u}_R$ $\Rightarrow \bar{u}_{RP} = \bar{h}_P - (P\bar{v})_P - \bar{h}_R + (P\bar{v})_R = \bar{h}_P - \bar{h}_R - \bar{R}(T_P - T_R)$ این را در تونل بنویسم:

Heat of Reaction حرارت واکنش (ارزش حرارتی) $\longleftarrow H_P - H_R = \bar{R}T(n_P - n_R)$ جایی که استاد آزمون گفت

مقدار انرژی حرارتی است که در اثر سوختن آزاد می شود که هنگامیکه با اکسید کننده می سوزد، این انرژی حرارتی احتراق آن در دمای ثابت برابر منهای انتالپی احتراق است، اگر احتراق در حجم ثابت باشد برابر منهای انرژی داخلی احتراق است!

Higher heating value HHV ارزش حرارتی بالای سوخت:

ارزش حرارتی بالای سوخت وقتی است که آب در محصولات احتراق به صورت مایع باشد

lower heating value LHV ارزش حرارتی پایین سوخت:

ارزش حرارتی پایین سوخت وقتی است که آب در محصولات احتراق بخار به صورت بخار باشد

2nd law analysis of reading systems آنالیز قانون دوم سیستم های احتراقی:

منبع (مرجع) برای انتروپی!

قانون سوم ترمودینامیک یا اصل انتروپی مطلق:

بیان Nernst (نرنست): انتروپی یک کریستال کامل که دارای بیشترین درجه آزادی است در صفر مطلق صفر است. بیان نرنست یک استثنا دارد و آن هم در صفر مطلق برای موادی است که خرابی دارند مثل شیشه

انتروپی مربوط در یک دمای معین نسبت به دمای صفر مطلق انتروپی مطلق آن نامیده می شود: S_T°

۱) از اطلاعات کالریمتریک (حرارت سنجی) از دمای صفر مطلق تا دمای مربوط T

Enthropy
- $\propto$ lack of information
- $\propto$ uncertainty عدم قطعیت
- $\propto$ randomness اتفاقی بودن
- $\propto$ disorder بی نظمی

۲) Creeping Enthropy: انتروپی بعضی جامدات سیالی که می توانند یک انتروپی به نام Creeping enthropy یا انتروپی سیالیت داشته باشند:

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$S = k \ln w_{m.p.}$ Statistical thermodynamics / ترمودینامیک آماری ۲) با استفاده از اطلاعات

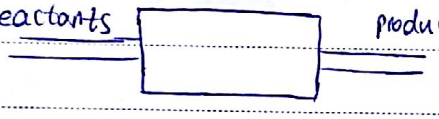
most probable Macrostate:

Statistical distribution ← Boltzman / Bose - Einstine / Fermie-Dirac

$$\bar{S}_{T,P} = \bar{S}^{\circ}_{25^{\circ}C} + \Delta S(25^{\circ}C,\ 0.1MPa \rightarrow T,P)$$

برای گازهای واقعی $S_{T,P} - S_{T,0.1MPa} = (S_{T,P} - S^{*}_{T,P}) + (S^{*}_{T,P} - S^{*}_{T,0.1MPa}) + (S^{*}_{T,0.1MPa} - S_{T,0.1MPa})$

تجزیه و تحلیل سیستم های احتراقی از نقطه نظر قانون دوم:



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

$$\sum \dot{m}_P \left[\bar{S}^{\circ}_{25^{\circ}C,0.1MPa} + \Delta S_{25^{\circ}C,0.1MPa \rightarrow T,P}\right]_P - \sum \dot{m}_R \left[\bar{S}^{\circ}_{25^{\circ}C,0.1MPa} + \Delta S_{25^{\circ}C,0.1MPa \rightarrow T,P}\right] = ?$$

$$\dot{W}_{Rev} = [h - T_0 s]_1 - [h - T_0 s]_2$$

$$\dot{W}_{Rev} = \sum \dot{m}_i \left([h_f + \Delta T) - T_0 [S_0 + \Delta S]\right) + \dots$$

بازده سیستم های احتراقی:

- کوره دیگ بخار:

$$\eta_{S.G} = \frac{\dot{m}_{water}[h_{\text{خروجی}} - h_{\text{ورودی}}]}{\dot{m}_f \times H.V.}$$

ارزش حرارتی سوخت

PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

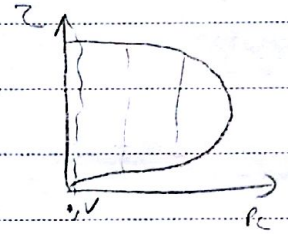
بهنام راد

Subject: alireza hayat96@gmail.com
Date

Gas turbine combuster:

راندمان اتاق احتراق توربین گاز:

$$\eta = \frac{(FA)_{st(Ideal)}}{(FA)_{actual}} = \frac{(AF)_{actual}}{(AF)_{Stochiometric\ (Ideal)}}$$



راندمان موتور احتراق داخلی

$$\eta_{Th} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_H} = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \text{ heating value}}$$

جریان در عبور از پره ها و نازل ها و گاه های سیالی:
قابل تراکم

اصل مومنتوم برای حجم معیار:

برآیند نیروهای وارد بر حجم معیار:

تغییر انتالپی کلی یا انتالپی سکون

سرعت صوت در یک سیال:

Momentom principle.

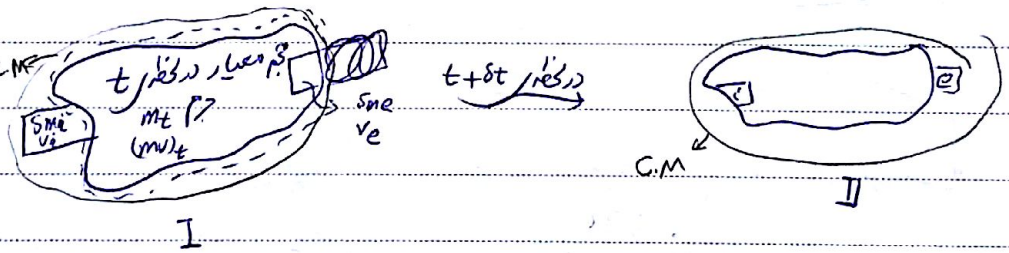
resultant forces acting on a C.V

stagnation / total Enthalpy

velocity of sound in a fluid

برآیند نیروهای وارد بر یک جسم برابر است با تغییرات اندازه حرکت وارده بر آن جسم:

$$\Sigma F = \frac{d(mv)}{dt}$$



I مومنتوم سیستم در لحظه $I = (MV_x)_t + \delta m_i V_{xi}$

$II = (MV_x)_{t+\delta t} + \delta m_e V_{xe}$

$$\Rightarrow \Sigma F_x = \frac{(MV_x)_{II} - (MV_x)_I}{\delta t} + \frac{\delta m_e V_{xe}}{\delta t} - \frac{\delta m_i V_{xi}}{\delta t}$$

$\delta t \to 0$

$$\Sigma F_x = \frac{d(MV_x)_{C.V}}{dt} + \dot{m}_e V_{xe} - \dot{m}_i V_{xi}$$

PAPCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

$$\Sigma F = \frac{\partial}{\partial t}\iiint \rho \, dV \cdot V_x + \iint_{C.S} \rho V_{rn} \cdot dA \; V_x$$

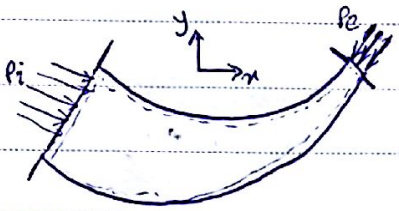
Steady = 0

Steady $\rightarrow \Sigma F = \Sigma \dot{m}_e v_e - \Sigma \dot{m}_i v_i$

$\Sigma F = \dot{m}(v_e - v_i)$

اگر جریان یا یا دو تک جریانی باشد:

برآیند نیروهای وارد بر جسم معیار:

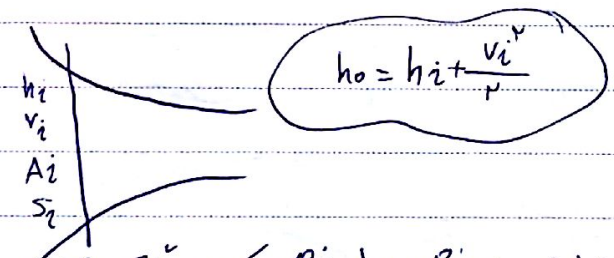


$\Sigma F_x = (P_i A_{ix} - P_o A_{ix}) - (P_e A_{ex} - P_o A_{ex})$

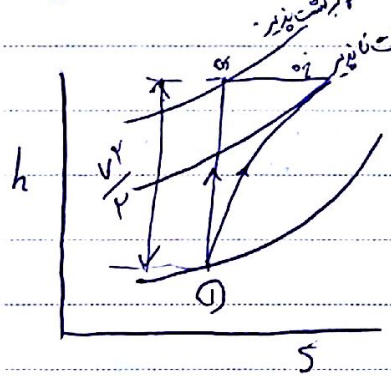
تعریف انتالپی کل:

Stagnation / total Enthalpy:

اگر سرعت یک سیال را به صورت آدیاباتیک در یک مقطع به صفر برسانیم به آن انتالپی کل یا سکون می‌گوییم و با h_o نشان می‌دهیم:



اگر سیال به صورت آدیاباتیک برگشت پذیر، سرعت آن به صفر برسد به فشار مربوط فشار سکون برگشت پذیر می‌گوییم: در غیر این صورت به آن برگشت ناپذیری می‌گوییم:



PAPCO

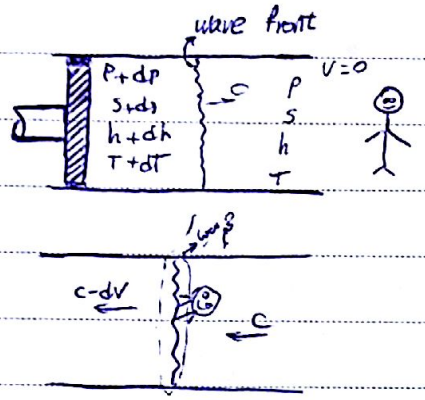
LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسم الله

Subject:
Date

digital plus ⑦

سرعت صوت در یک سیال :



معادله پیوستگی : continuty ؛ با فرض جریان آدیاباتیک و Reversible یک بعدی و یا :

$$\dot{m} = \rho A V = (\rho + d\rho)(A + dA)(V + dV)$$

با صرف نظر از دیفرانسیل های درجه II :

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dV}{V} + \frac{dA}{A} = 0 \Rightarrow \frac{d\rho}{\rho} + \frac{c - dV - c}{c} = 0$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \frac{dV}{c} \rightarrow c\,d\rho = \rho\,dV \longrightarrow \text{معادله پیوستگی : } c\,d\rho = \rho\,dV \quad (1)$$

2: Energy: $h + \frac{c^2}{2} = h + dh + \frac{(c-dV)^2}{2}$

$$\Rightarrow \frac{c^2}{2} = dh + \frac{c^2}{2} + \frac{dV^2}{2} - c\,dV \Rightarrow dh = c\,dV$$

3: property relation: $T\,ds = dh - v\,dp \rightarrow dh = v\,dp$

$$\Rightarrow c\,dV = V\,dp$$

$$c \times c\,\frac{d\rho}{\rho} = V\,dp \Rightarrow c^2 = \left(\frac{dp}{d\rho}\right)_s \Rightarrow c = \sqrt{\left(\frac{dp}{d\rho}\right)_s}$$

با فرض گاز آرمانی :

$$du = T\,ds - P\,dV$$

با فرض گاز آرمانی $\rightarrow du = T\,ds - P\,dV \Rightarrow du = -P\,dV \rightarrow PV = RT \rightarrow d(PV) = R\,dT$

$$(P\,dV) + V\,dp = R\,dT$$

PAPCO

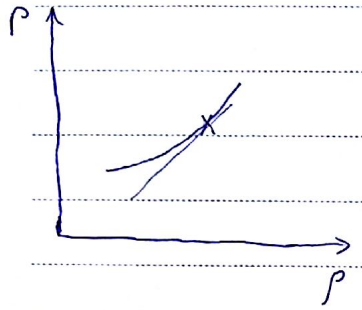
در نهایت $\Rightarrow c = \sqrt{\gamma R T}$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بنام اد

Subject:
Date

$C = \sqrt{\left(\frac{\partial P}{\partial \rho}\right)_{isentropic}}$ جریان سیال قابل تراکم در عبور از نازل و دیفیوزر:



سرعت بازگشت آهنگی: $C = \sqrt{\quad}$

سرعت سیال برحسب سرعت صوت در یک نقطه: $M = \frac{V}{C}$ تعریف عدد ماخ

$M < 1$ جریان مادون صوت

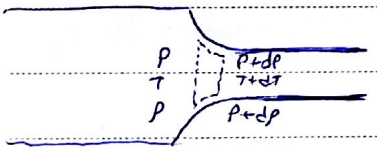
$M = 1$ sonic flows

$M > 1$ super hyper sonic flows

$M \gg$ hyper sonic flows

جریان آدیاباتیک و برگشت پذیر و پایا از نازل همگرا-واگرا عبور کرده است:

Adiabatic Reversible, Steady of an Ideal gas throught a nozzle:



Energy: $dh + VdV = 0$ (۱)

property relation: $Tds = dh - \frac{dP}{\rho} = 0$ (۲)

ad.Rev

$\frac{dP}{\rho} + \frac{dA}{A} + \frac{dV}{V} = 0 \Rightarrow \dot{m} = \rho AV = (\rho + dP)(A + dA)(V + dV)$ (۳)

$\frac{dA}{A} = \left(-\frac{dP}{\rho} - \frac{dV}{V}\right) \Rightarrow -\frac{dP}{\rho}\left(\frac{dP}{P}\right) + \frac{1}{\rho V^2} dP$

با جایگذاری در (۳):

$= -\frac{dP}{\rho}\left(\frac{dP}{dP} - \frac{1}{V^2}\right) = \frac{dP}{\rho}\left(-\frac{1}{\left(\frac{dP}{dP}\right)} + \frac{1}{V^2}\right)$

$\frac{dP}{dP} = C^2 = \frac{V^2}{M^2}$ چون $\Rightarrow \frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho V^2}(1 - M^2)$

$$\boxed{\frac{dA}{A} = \frac{dV}{V}(M^2 - 1)}$$

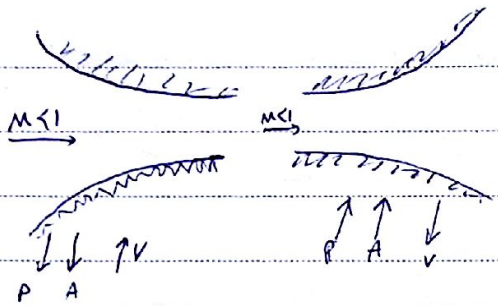
PAPCO

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسمه تعالی

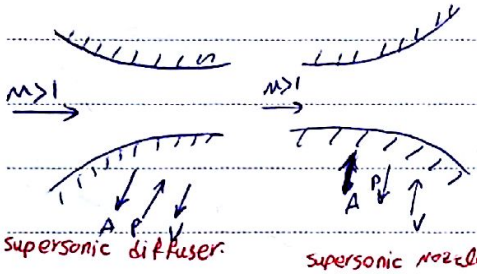
Subject:
Date

$$\frac{dA}{A} = \frac{dP}{\rho V^2}(1-M^2)$$



نازل مادون صوت
Subsonic Nozzle

Subsonic diffuser



Supersonic diffuser

Supersonic Nozzle

§ § Throtle ... شرایط $M=1$ فقط وقتی می‌تواند اتفاق بیفتد که $dA=0$ باشد یعنی تنگه‌گاه شیپوره و

$$V^2 = 2C_{p0}(T_0 - T) \quad \leftarrow \quad h_0 - h = \frac{V^2}{2}$$

برای گاز آرمانی تابع‌های ویژه‌ی ثابت:

$$c^2 = kRT \Rightarrow V^2 = \frac{2kRT}{k-1}\left(\frac{T_0}{T}-1\right) \Rightarrow V^2 = \frac{2c^2}{k-1}\left(\frac{T_0}{T}-1\right)$$

$$\frac{T_0}{T} = 1 + \frac{k-1}{2}M^2$$

$$PV^k = cte \Rightarrow \left(\frac{T_0}{T}\right) = \left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \left(\frac{\rho_0}{\rho}\right)^{k-1} \longrightarrow$$ به جای $\frac{1}{k}$ و $\frac{k-1}{k}$ هرچی گذاشتیم (نکته مهم)

$$\frac{P_0}{P} = \left(1 + \frac{k-1}{2}M^2\right)^{\frac{k}{k-1}}, \quad \frac{\rho_0}{\rho} = \left(1 + \frac{k-1}{2}M^2\right)^{\frac{1}{k-1}}$$

برای وقتی که $M=1$ باشد یعنی شرایط در تنگه‌گاه:

$$\begin{cases} \frac{P_0}{P_*} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k}{k-1}} \\ \frac{T_0}{T_*} = \frac{k+1}{2} \\ \frac{\rho_0}{\rho_*} = \left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}} \end{cases}$$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Mass rate of flow of an Ideal gas throught an Isentropic Nozzle:

دبی جرمی عبوری گاز آرمانی از یک شیپوره ایزنتروپیک :

$$\dot{m} = \rho A V \Rightarrow \frac{\dot{m}}{A} = \rho V$$

$$= \frac{P}{RT} V \times \sqrt{\frac{kT_0}{kT_0}}$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{m}}{A} = \frac{\rho V}{\sqrt{kRT}} \times \sqrt{\frac{k}{R}} \sqrt{\frac{T_0}{T}} \sqrt{\frac{1}{T_0}}$$

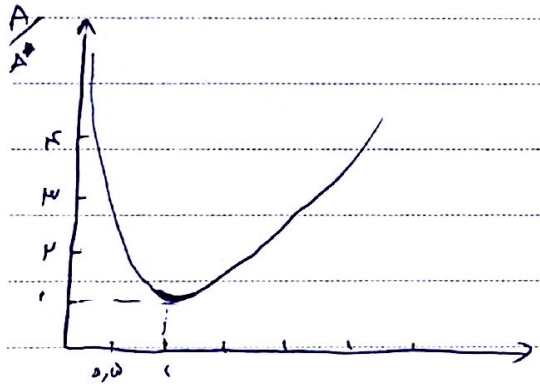
($\sqrt{kRT} = c$)

$$\Rightarrow \frac{\dot{m}}{A} = \frac{\rho M}{\sqrt{T_0}} \times \sqrt{\frac{k}{R}} \times \sqrt{\left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)}$$

$$\frac{\dot{m}}{A} = \frac{P_0}{\sqrt{T_0}} \times \sqrt{\frac{k}{R}} \times \frac{M}{\left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}} \xrightarrow{M=1} \frac{\dot{m}}{A^*} = \frac{P_0}{\sqrt{T_0}} \times \sqrt{\frac{k}{R}} \times \frac{1}{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{2(k-1)}}}$$

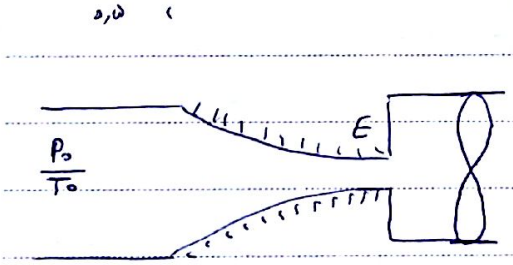
با تقسیم دو رابطه فوق بر همدیگر :

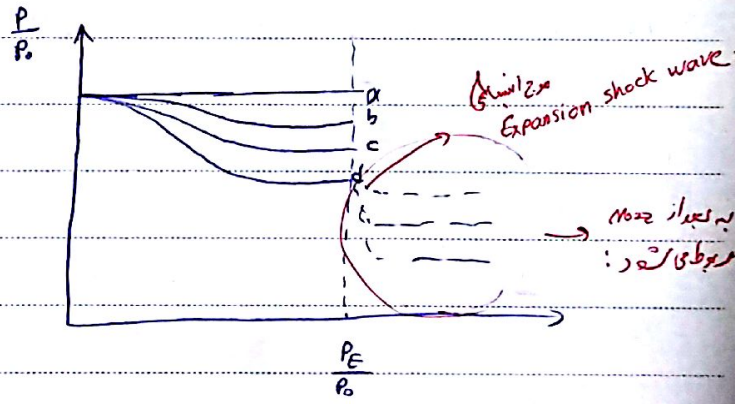
$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{M}\left[\left(\frac{2}{k+1}\right)\left(1 + \frac{k-1}{2} M^2\right)\right]^{\frac{k+1}{2(k-1)}}$$



اثر فشار پسی back pressure بر عملکرد یک شیپوره ی همگرا:

(converging Nozzle)





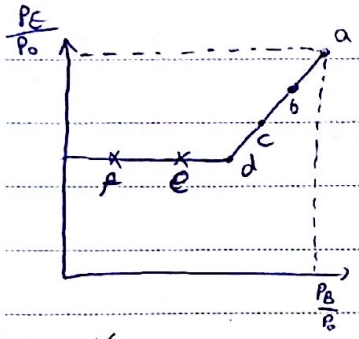
P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

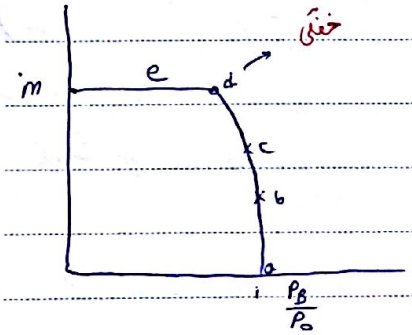
به نام او

Subject:
Date



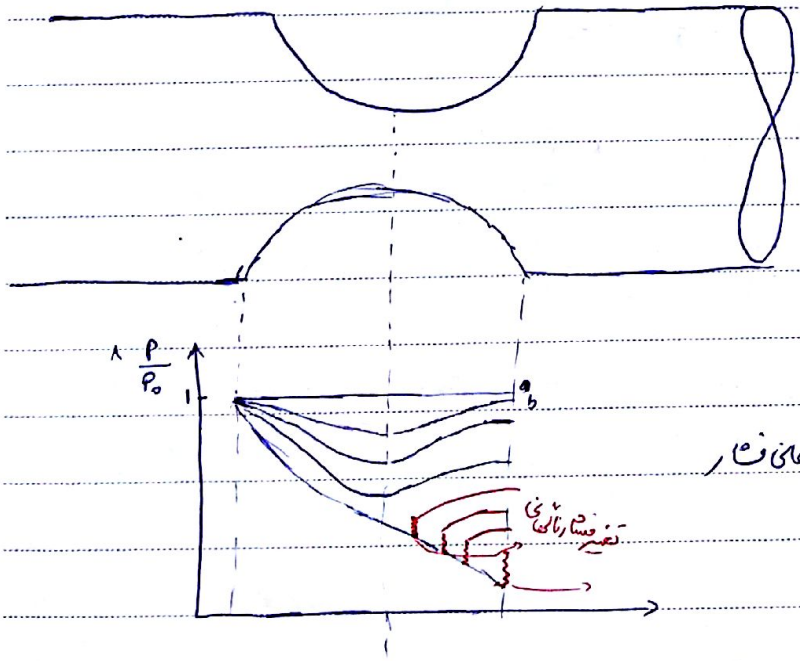
فرآیند (خفگی) choking : در نقطه ای وقتی به سرعت ماخ رسیدیم دبی جرمی دیگر ثابت است ، اصطلاحاً میگوییم خفگی

توزیع فشار در شیپوره ثابت است :



شیپوره ی همگرا - واگرا :

Converging - Diverging Nozzle:

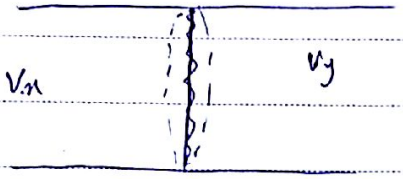


می توانیم شیپوره را به گونه ای تنظیم بکنیم که تغییر ناگهانی فشار در دهانه ی خروجی اتفاق بیفتد :

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

Subject:
Date

Normal shock in an Ideal gas flowing throught an Ideal Nozzle:



Energy Equation: $h_x + \frac{V_x^2}{2} = h_y + \frac{V_y^2}{2} \Rightarrow h_{ox} = h_{oy}$

cont. Eq = $\frac{\dot{m}}{A} = \rho_x V_x = \rho_y V_y$

Momentum Eq $\Rightarrow A(P_x - P_y) = \dot{m}(V_y - V_x)$

second law: $S_y - S_x \geq 0$

* از تلاقی دو معادله‌ی انرژی و پیوستگی معادله‌ای به دست می‌آید که در نمودار h-S می‌توان آن را رسم نمود که به آن خط فانو (Fanno line) گوییم.

* از تلاقی دو معادله‌ی مومنتوم و پیوستگی: معادله‌ای به دست می‌آید که در نمودار h-S می‌توان آن را رسم نمود و به آن خط رایلی (rayleigh line) گوییم.

از تلاقی دو خط فانو و رایلی معادله‌ی موج به دست می‌آید که منظور آن است که قبل از موج ضربه‌ای را به بعد از موج ضربه‌ای ربط می‌دهد:

$T_{ox} = T_{oy}$

$\frac{T_{ox}}{T_x} = 1 + \frac{k-1}{2} M_x^2$

$\frac{T_{oy}}{T_y} = 1 + \frac{k-1}{2} M_y^2 \Rightarrow \frac{T_y}{T_x} = \frac{1 + \frac{k-1}{2} M_x^2}{1 + \frac{k-1}{2} M_y^2}$ (A)

از معادله‌ی پیوستگی $\dot{m} = \rho_x V_x = \rho_y V_y \Rightarrow \frac{P_x}{RT_x} V_x = \frac{P_y}{RT_y} V_y$

$\Rightarrow \frac{T_y}{T_x} = \frac{P_y V_y}{P_x V_x} = \frac{P_y M_y C_y}{P_x M_x C_x} = \frac{P_y M_y \sqrt{T_y}}{P_x M_x \sqrt{T_x}} \Rightarrow \left(\frac{P_y}{P_x}\right)^2 \left(\frac{M_y}{M_x}\right)^2$ (B)

از ترکیب دو معادله‌ی A و B معادله‌ی خط فانو به دست می‌آید:

$\frac{P_y}{P_x} = \frac{M_x \sqrt{1 + \frac{k-1}{2} M_x^2}}{M_y \sqrt{1 + \frac{k-1}{2} M_y^2}}$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

ادامه ی موج ضربه ی کمودی در جریان تراکم آزمایی در عبور از یک شیپوره:

Normal shock in an ideal gas flowing through a Nozzle

نوشتن معادلات انرژی، پیوستگی، مومنتوم، قانون دوم برای حجم کنترل دیفرانسیلی شامل موج ضربه ای:

Energy : $h_x + \frac{V_x^2}{2} = h_y + \frac{V_y^2}{2} \Rightarrow h_{0x} = h_{0y} \longrightarrow T_{0x} = T_{0y}$ ⟩ fano line

Cont Eq: $\frac{\dot{m}}{A} = \rho_x V_x = \rho_y V_y$ ⟩ payleigh line

momentom: $A(P_x - P_y) = \dot{m}(V_y - V_x)$

2nd law $S_y - S_x \geq 0$

fano $\longrightarrow \frac{P_y}{P_x} = \frac{M_x \sqrt{1 + \frac{k-1}{2} M_x^2}}{M_y \sqrt{1 + \frac{k-1}{2} M_y^2}}$

از تلاقی معادله ی پیوستگی و مومنتوم:

$$\frac{P_y}{P_x} = \frac{1 + kM_x^2}{1 + kM_y^2}$$

از تلاقی دو خط فانو و رایلی، معادله ی موج ضربه ای به دست می آید:

$$M_y^2 = \frac{M_x^2 + \frac{2}{k-1}}{\frac{2k}{k-1} M_x^2 - 1}$$ دو جواب دارد

① $M_y = M_x$

② موج ضربه ای

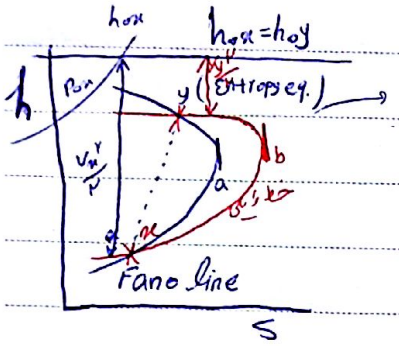
P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date



از معادله ی انرژی متوجه می شویم کدام x و کدام y است.
y آن است که انرژی اش بیشتر است

$M<1$ a,b بالای نقاط

$M>1$ b,a پایین نقاط

$M=1$ b,a در نقاط

جدول A.13 صفحه ۷۴۴ مقادیر قبل از موج (η) را به مقادیر بعد از موج ربط می دهد:

M_x M_y $\frac{P_y}{P_x}$ $\frac{P_{ox}}{P_{oy}}$

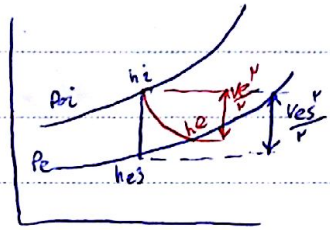
راندمان نازل و دیفیوزر:

Nozzle efficiency:

بازده نازل و دیفیوزر:

$\eta_N = \frac{\text{انرژی جنبشی واقعی در خروجی از نازل}}{\text{انرژی جنبشی در خروجی از نازل در صورتی که ایزنتروپیک تا همان فشار خروجی}}$

h_{oi}, P_{oi} $\Rightarrow$ P_e $\Rightarrow$ $\eta_N = \frac{h_{oi}-h_e}{h_{oi}-h_{es}}$



$\eta_N = \frac{V_{ea}^2}{V_{es}^2}$

ضریب سرعت $C_v = \frac{\text{سرعت واقعی در خروج از نازل}}{\text{سرعت ایزنتروپیک در خروج از نازل}}$ (Velocity coefficient) $= \frac{V_{ea}}{V_{es}}$

$\Rightarrow C_v = \sqrt{\eta_N}$

P4PCO

LearnEngineering.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

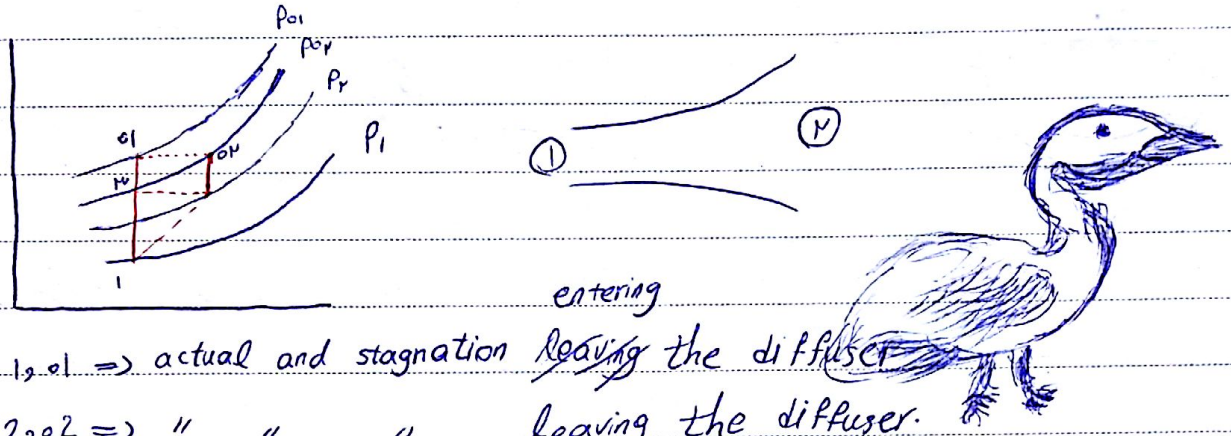
ضریب تخلیه: ~~تخلیه~~

C_D (Discharge coefficient)

$$C_D = \frac{\text{دبی جرمی واقعی}}{\text{دبی جرمی در شرایط ایزنتروپیک}}$$

راندمان دیفیوزر:

Diffuser Efficiency:



entering

1, 01 => actual and stagnation ~~leaving~~ the diffuser

2, 02 => " " " leaving the diffuser.

In fact

۳: وجود خارجی ندارد ولی دارای انتروپی نظیر حالت اولیه و فشار، حالت ایزنتروپیک مرجع از دیفیوزر:

$$\eta_D = \frac{\Delta h_s}{\frac{V_1^2}{2}} = \frac{h_{2'} - h_1}{h_{02} - h_1} = \frac{h_{2'} - h_1}{h_{02} - h_1}$$

$$\eta_D = \frac{T_{2'} - T_1}{T_{02} - T_1} = \frac{\frac{T_{2'} - T_1}{T_1} T_1}{\frac{V_1^2}{2C_p}}$$

$$\frac{T_{2'}}{T_1} = \left(\frac{P_{02}}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \quad , \quad V_1^2 = M_1^2 C_1^2 \quad , \quad T_1 = \frac{C_1^2}{kR} \quad , \quad C_p = \frac{kR}{k-1}$$

$$\eta_D = \frac{\left(1 + \frac{k-1}{2} M_1^2\right)\left(\frac{P_{02}}{P_{01}}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1}{\frac{k-1}{2} M_1^2} = f(P_{01}, P_{02}, M_1)$$

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

بسم الله

Subject:
Date

Nozzles and diffuser as flow measuring devices:

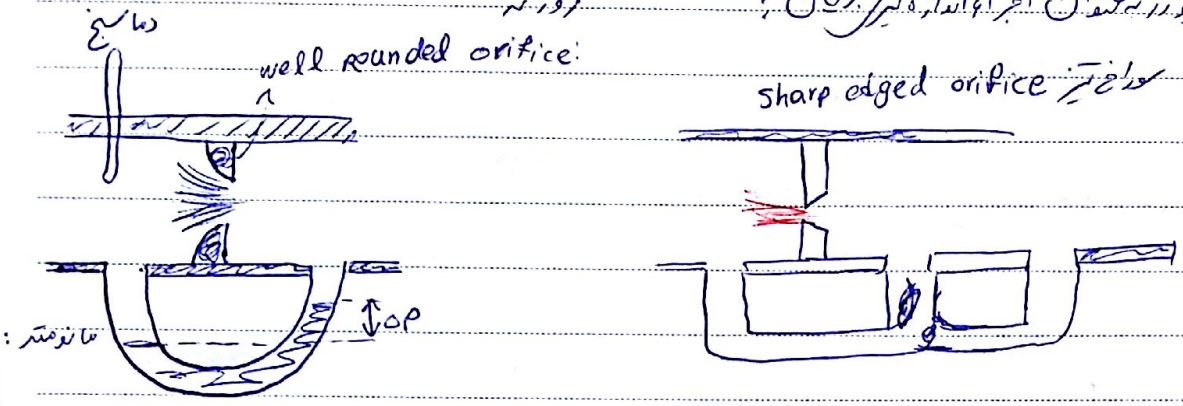
نازل و دیفیوزر به عنوان اجزاء اندازه‌گیری جریان:

روزنه

well rounded orifice:

سوراخ تیز

Sharp edged orifice



برای جریان تراکم‌ناپذیر غیرقابل تراکم:

$$\int (P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = 0 \Rightarrow v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2 - (\frac{A_2}{A_1})^2 V_2^2}{2} = 0$$

$$v(P_2 - P_1) + \frac{V_2^2}{2}\left[1 - (\frac{A_2}{A_1})^2\right] = 0 \Rightarrow V_2 = \sqrt{\frac{2v(P_2 - P_1)}{\left[1 - (\frac{A_2}{A_1})^2\right]}}$$

برای گازها در حالتی که عبور از روزنه:

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2} = h_2 + \frac{V_2^2}{2}$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = h_1 - h_2 = C_{p0}(T_1 - T_2)$$

اگر فرآیند ایزنتروپیک باشد $\frac{T_2}{T_1} = (\frac{P_2}{P_1})^{k-1/k} \Rightarrow \frac{T_1 - \Delta T}{T_1} = \left[\frac{P_1 - \Delta P}{P_1}\right]^{\frac{k-1}{k}}$

$$1 - \frac{\Delta T}{T_1} = \left[1 - \frac{\Delta P}{P_1}\right]^{\frac{k-1}{k}}$$

بسط تیلور $\Rightarrow 1 - \frac{\Delta T}{T_1} = 1 - \frac{k-1}{k}\frac{\Delta P}{P_1} - \frac{k-1}{2k^2}\frac{\Delta P^2}{P_1^2} + \dots$

اگر $\frac{\Delta P}{P_1}$ کوچک باشد از جملات بالاتر صرف‌نظر می‌کنیم:

LearnElement.ir
Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

اگر $\frac{\Delta P}{P}$ کوچک باشد:

$$\frac{\Delta T}{T_1} = \frac{k-1}{k} \cdot \frac{\Delta P}{P_1}$$

با جایگذاری در معادله انرژی: قانون اول:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = C_p \frac{k-1}{k} \Delta P \frac{T_1}{P_1}$$

$$C_{P_0} = \frac{kR}{k-1} \quad , \quad V_c = R\frac{T_1}{P_1}$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = V_1 \Delta P$$

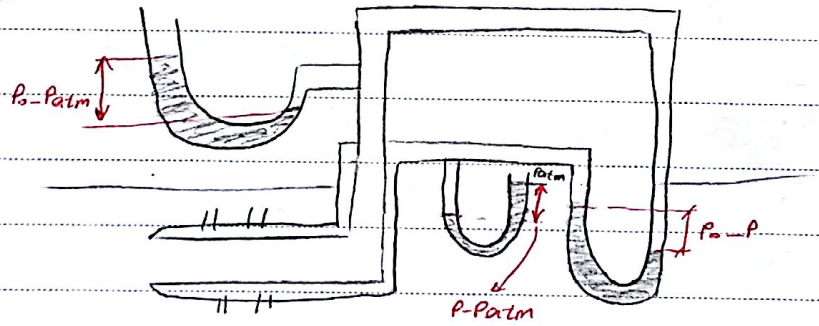
لوله پیتو: Pitot tube:

$$\frac{P}{\rho g} + \frac{V^2}{2g} + Z = P_0$$

ارتفاع نظیر فشار استاتیکی — ارتفاع نظیر فشار دینامیکی — فشار ناشی از ارتفاع — stagnation pressure: فشار سکون

$$P_0 = P + \frac{V^2}{2}$$

فشار سکون — فشار استاتیکی — فشار دینامیکی



روی سطح جریان به کمک لوله پیتو:

$$h + \frac{V^2}{2} = h_0$$

برای جریان ایزنتروپیک

$$\frac{V^2}{2} = h_0 - h = V(P_0 - P)$$

$$V = \sqrt{2V(P_0 - P)} \Rightarrow \frac{V^2}{2} = h_0 - h = C_{P_0}(T_0 - T) = C_P T\left(\frac{T_0}{T} - 1\right)$$

$$= C_{P_0} T\left[\left(\frac{P_0}{P}\right)^{\frac{k-1}{k}} - 1\right]$$

P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner

به نام او

Subject:
Date

اگر بخواهیم خطای ناشی از فرض غیرقابل تراکم بودن گاز آرمانی را بدانیم از معادله‌ی زیر کمک می‌گیریم:

$$\frac{P_0}{P} = \left[1 + \frac{k-1}{2} M^2\right]^{\frac{k-1}{k}} = \left[1 + \frac{k-1}{2}\left(\frac{V^2}{c^2}\right)\right]^{\frac{k-1}{k}} \quad (A)$$

$$\frac{V^2}{2} + C_p T = C_{p_0} T_0 \Rightarrow \frac{C^2}{V^2} = \frac{C_0^2}{V^2} - \frac{k-1}{2} \Rightarrow C_0 = \sqrt{kRT_0} \quad (B)$$

با جای‌گذاری معادله‌ی B در A:

$$\frac{P}{P_0} = \left[1 - \frac{k-1}{2}\left(\frac{V}{C_0}\right)^2\right]^{\frac{k}{k-1}} \quad (C)$$

با بسط آن:

$$\frac{P}{P_0} = 1 - \frac{k}{2}\left(\frac{V}{C_0}\right)^2 + \frac{k}{8}\left(\frac{V}{C_0}\right)^4$$

$$\frac{P_0 - P}{P_0 \frac{V^2}{2}} = 1 - \frac{1}{4}\left(\frac{V}{C_0}\right)^2 \quad (1)$$

این اختلاف به ازای تراکم‌پذیری است.

برای سیال غیرقابل تراکم معادله‌ی متناظر برابر است با:

$$\frac{P_0 - P}{P_0 \frac{V^2}{2}} = 1$$

P4PCO

LearnElement.ir

Scanned by CamScanner