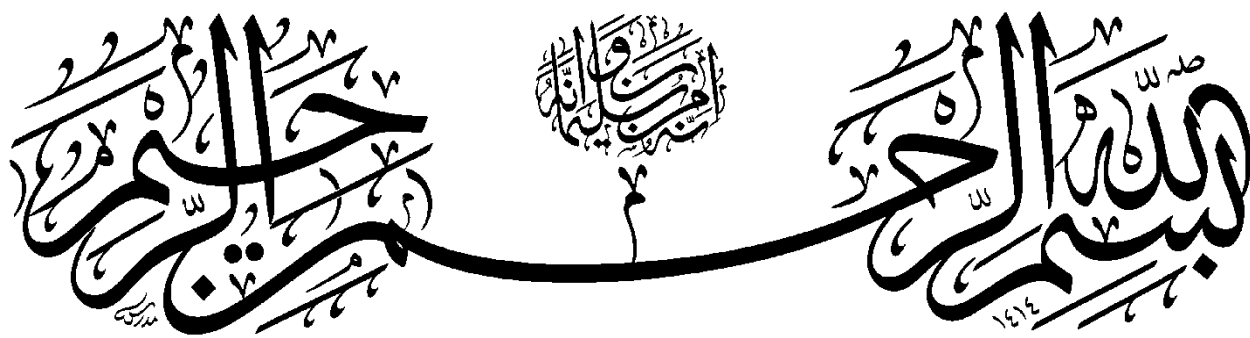




یه کانال خوب برای دوستان **مهندسی مکانیک** و عزیزانی که تمایل دارند **نرم افزارهای مرتبط با مکانیک** رو یاد بگیرن و حرفه ای بشن

✓ دانلود رایگان جزوات دانشگاه‌ها و اساتید برتر، کتابهای کنکوری و مرجع به صورت فارسی و انگلیسی،

فیلم های آموزشی از دروس

✓ معرفی منابع کنکور ارشد، مشاوره، پاسخ های تشریحی کنکورهای ارشد، بودجه بندی و کارنامه های

قبولی

✓ آموزش نرم افزارهای رشته مهندسی مکانیک بصورت کتاب و فیلم های آموزشی به زبان فارسی

برنامه نویسی	نقشه کشی	تحلیل	صنعتی
متلب	سالیدورکس	آباکوس	اتو اسپرینک
فرترن	اتوکد	انسیس	VDS
زبان سی	کتیا	کامسول	کریر
	رویت	EES	پایپ نت

برای دانلود مطالب بر روی لینک‌های زیر کلیک کنید: 📄 📄 📄 📄

لینک کانال برای دانلود جزوه، کتاب و فیلم

<https://t.me/joinchat/AAAAAEHgF7M5UlpUFVMysQ>

لینک کانال جامدات مکانیک:

https://t.me/Mech_Jamedat

لینک گروه جامدات ارشد مکانیک:

<https://t.me/joinchat/B5IujhZ1YkeKgmMx3DRtMQ>



@MECHSOURCE

@MECH_JAMEDAT

بسم الله الرحمن الرحيم

تبريد و ترمودینامیک 2

مضامین 1- سنجش 2- دین و دین 3- تلیس

• سیستم‌های کار کو چقدر از سیستم‌های انتقال حرارت است زیرا بر مبنای انتقال حرارت
بسیار بهتر است از کار است

سرفصل‌ها : 1- سیکل‌های تبرید و ترمودینامیک
2- مخلوط گازها
3- روابط ترمودینامیک
4- واکنش‌های شیمیایی
5- جریان‌های تراکم پذیر
power & refrigeration system
gas mixture
Thermodynamics relation
chemical reactions
compressible flow

8 مایل ترم

8 مایل ترم

2 تکلیف

1 حضور مثال و نظایر

3 پروژه

پروژه : موتور استرلینگ α ، β ، γ - نوع α

فصل اول: سیستم های توان در ماشین

از کاربردهای چرخ های ترمودینامیکی می توان به ۱- تولید توان و ۲- تولید برقی اشاره کرد.

چرخ های ترمودینامیکی: ۱- یا چند فرآیند متوالی که ابتدا و انتهای آنها یکی باشد.

در توان چرخ های ترمودینامیکی را از یک سیال حاصل می کنند.

۱- چرخ های بخاری: در یک محفظه سیال حاصل به جهت مایع و در محفظه دیگر به جهت بخار است (نقطه جوش).

۲- چرخ های گازی: در آنجا که فرآیند سیستم سیال حاصل به جهت گاز است. (موتور احتراق داخلی).

نکته: بخار سردتر چرخ ترمودینامیکی می تواند باشد.

۱- چرخ باز: سیال حاصل در انتهای چرخ مجدداً در چرخ می رود.

۲- چرخ بسته: سیال حاصل در انتهای چرخ به حالت لوله می شود.

سیستم هایی که برای تولید کار خالص مورد استفاده قرار می گیرند، معمولاً موتور نامیده می شوند.

موتورهای حرارتی: درون موتور: سیال حاصل نمی تواند از طریق یک منبع خارجی تأمین شود.
درون موتور: سیال حاصل می تواند.

در سیستم های برودتی: برای سیال برودتی حلقه باید ۱۵۰ گرم کمتر از سیال حاصل باشد.

سختی، منقبض ← رطوبت، جرم نذران مانند T, P

خاصیت ترمودینامیکی
که تابع حالت استند، فرااندر ← وابسته به مقدار ماده است S, H

مؤثرانهای ملی نزدیک $pV^n = cte$ داریم

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} \quad n \neq 1$$

$$W = P_1 V_1 \ln \frac{V_2}{V_1} \quad n=1$$

تفاوت اول ترمودینامیک در سیستم بسته $\oint \delta Q = \oint \delta W$

$$E = \int \delta Q - \delta W = KE + PE + U (\text{internal Energy})$$

$$\Rightarrow Q_2 = U_2 - U_1 + m \left(\frac{V_2^2}{2} - \frac{V_1^2}{2} \right) + mg(z_2 - z_1) + W_{12}$$

در یک فرااندر تعادلی فشار ثابت سیستم

از انرژی جنبشی و پتانسیل صرف نظر کنیم داریم

$$Q = U_2 - U_1 + W \quad W = P \Delta V$$

$$Q = U_2 - U_1 + P V_2 - P V_1 = \underbrace{(U_2 + P V_2)}_{H_2} - \underbrace{(U_1 + P V_1)}_{H_1}$$

$$Q = \Delta H$$

$$v: cte \quad C_v = \frac{1}{m} \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_v$$

← خواص ترمایی ویژه

$$p: cte \quad C_p = \frac{1}{m} \left(\frac{\delta Q}{dT} \right)_p$$

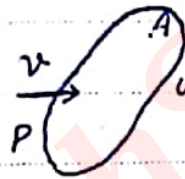
$$v: cte \rightarrow \delta Q = \delta U \rightarrow C_v = \left(\frac{du}{dT} \right)_v$$

$$p: cte \rightarrow \delta Q = \delta H \rightarrow C_p = \left(\frac{dh}{dT} \right)_p$$

← مافول لولاد حجم کنترل

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q}_{cv} - \dot{W}_{cv} + \dot{m}_i e_i - \dot{m}_e e_e + \dot{m}_i p_i v_i - \dot{m}_e p_e v_e$$

$$\dot{W} = \text{کار جریان}$$



$$\dot{W} = Fx = PAx \rightarrow \dot{W} = PA\dot{x}$$

$$\dot{W} = FV = PA\dot{V}$$

$$\dot{W} = p\dot{V} = p\dot{m}v$$

تیم مخصوص

آر از انرژی های جنبشی و پتانسیل صرف نظر کنیم داریم

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

← فرایند (SSSF): در این فرایند $\frac{dE}{dt} = 0$ است داریم

$$\dot{Q}_{cv} + \dot{m}_i \left(h_i + \frac{1}{2} v_i^2 + g z_i \right) = \dot{W}_{cv} + \dot{m}_e \left(h_e + \frac{1}{2} v_e^2 + g z_e \right)$$

$$\dot{Q}_{cv} = \sum \dot{m}_e h_e - \sum \dot{m}_i h_i \quad q = h_e - h_i$$

$$\dot{W}_{cv} = \sum \dot{m}_i h_i - \sum \dot{m}_e h_e \quad w = h_i - h_e$$

$$\dot{W} = \dot{Q} = 0 \quad p_e = p_i \rightarrow \frac{v_e^2}{2} - \frac{v_i^2}{2} = \sum \dot{m}_i h_i - \sum \dot{m}_e h_e$$

Subject

Date

$$\begin{cases} Tds = du + pdv \\ Tds = dh - vdp \end{cases}$$

مؤثرات بر لبته ندر و آریا بابتی را بر این حالت SSSF فرض کنیم آنگاه داریم

$$\dot{w} = h_e - h_i \quad ds = 0 \rightarrow dh = vdp$$

$$\rightarrow \int dh = \int vdp \rightarrow h_e - h_i = \int vdp$$

$$\Rightarrow \text{کار حجم کنترل باز لبته ندر آریا بابتی} \quad w = - \int vdp$$

SSSF

$$w = \int pdv \quad \text{کار حجم سیستم}$$

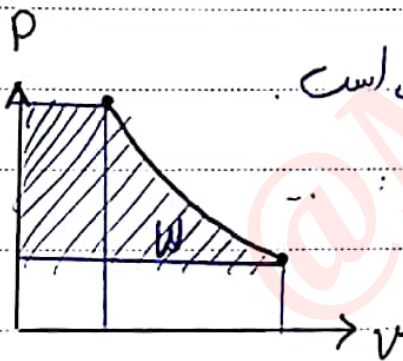
مقدارهای برسیته های توان

۱- توربین به دایره ای اصلی آن تولید کار به علت افت فشار است

و چون تولید و سریع است در توان تقریباً آریا بابتی فرض کرد

برای معادله بالا عایق گاهین لازم نیست انجام در مورد در معادله پایین به اراتان استفاده کرد

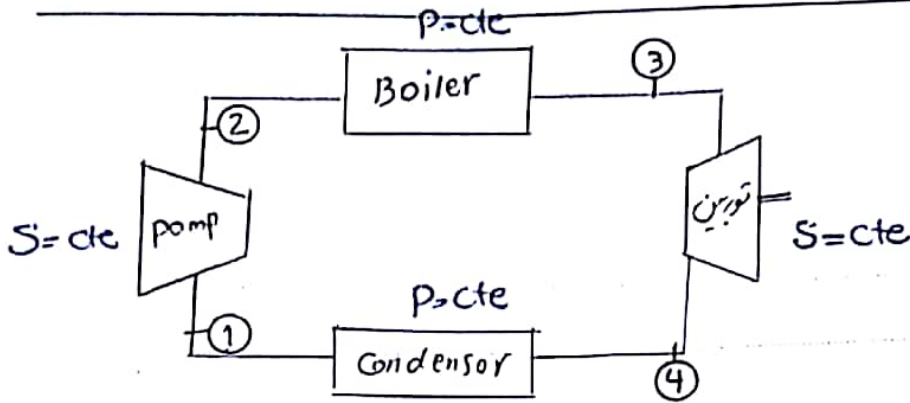
چون آریا بابتی و بازشت نیز فرض می شود پس آریا بابتی است



P4PCO

Subject

Date



سیکل رانکین

$$\omega_{\text{کل}} = \omega_{12} + \omega_{23} + \omega_{34} + \omega_{41} = \left(-\int_1^2 v dp = v(p_1 - p_2) \right) + 0 + \left(-\int_3^4 v dp \right) + 0$$

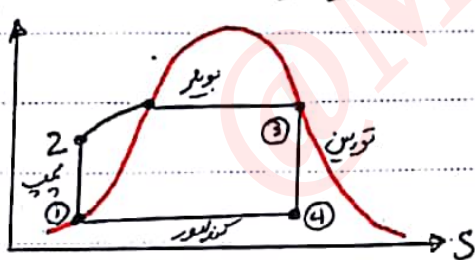
باید کار کنیم که کار توربین بیشتر از کار پمپ باشد که باید v را دست کار کنیم که ایده‌ی سیکل رانکین است

مدلین سیکل کار می‌کنیم که v در توربین به‌جای v در پمپ قرار نگیرد.

در این افزایش کار خالص می‌خواهیم باید اختلاف در حجم مخصوص در توربین و پمپ بزرگ شود. ایده سیکل رانکین

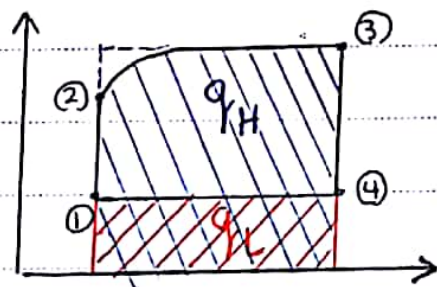
برای این کار شکل می‌گیرد و سیال در فازهای مختلف می‌باشد.

در سیکل رانکین سیال در حالت 1 مایع اشباع است و فرجه‌ی بویلر نیز همواره مایع است.



$$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{\text{Rank}} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$

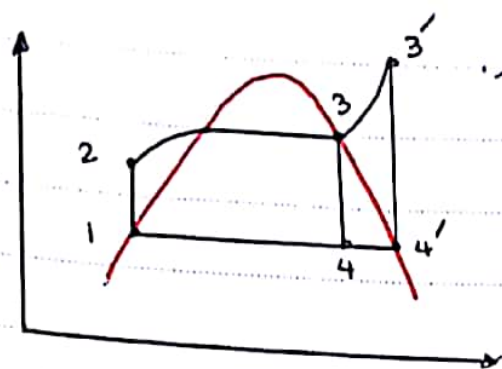


$$T_{L \text{ Carnot}} \propto q_{L \text{ Rank}}$$

اما T_H و q_H در سیکل کارنو متناسب نیست و کمترین

در بازه سیکل رانکین کمترین کار دافعه است

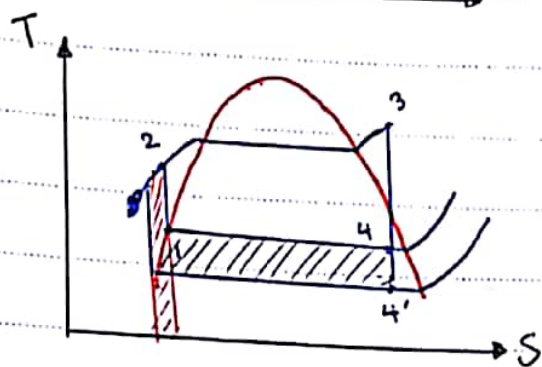
حجم نقطه (4) در ناحیه دوفاز است و توربین آسیب می‌رساند باید نقطه (3) را تا حد



سورجهت بالا ببریم تا نقطه (4) به حد بخار اشباع برسد.

در این صورت شتر باز. رانندگی رانکین از کار نمی‌کند خواهد بود.

با این حال سیکل رانکین شتر ایده آل



* اثر فشار و دما بر سیکل رانکین

اثر فشار پایین تر باید هوا به داخل کندانسور کشیده می‌شود.

و افزایش دوفازی شدن را در پی دارد.

و همچنین افزایش کار خالص میسر کند و در نتیجه بازده حرارتی بالا می‌رود.

معایب: کیفیت بخار خروجی از توربین کاهش می‌یابد و نباید رطوبت در انتهای توربین

بیش از 10٪ باشد زیرا منجر به کاهش بازده توربین و افزایش فرسایشی می‌شود.

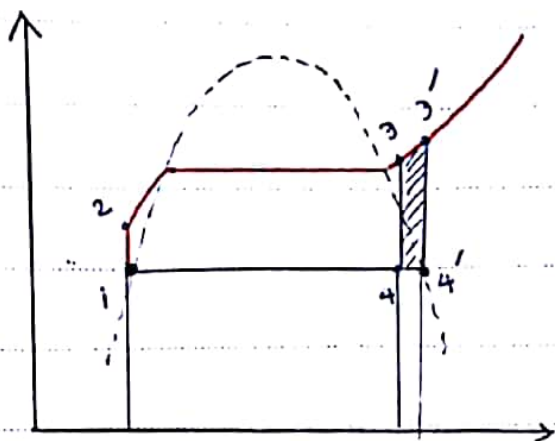
فشار کندانسور باید از فشار اشباع در دمای سیال خنک‌کننده بیشتر باشد.

(مثلاً اگر کندانسور با آب سرد خنک می‌شود و برای انتقال حرارت موتور حرارتی 10^4 اختلاف

دما نیاز است بنابراین دمای کندانسور باید بالاتر از 25°C باشد و در نتیجه فشار کندانسور باید بالاتر از فشار اشباع

در دمای 25°C (3.2 kPa) باشد. تکلیف چرا؟

اما روش دیگر برای افزایش بازده سوپر هیت کردن بخار در بدنه



با این کار بازده افزایش یافته و کیفیت

خفگی از توربین بیشتر می شود به عبارت دیگر

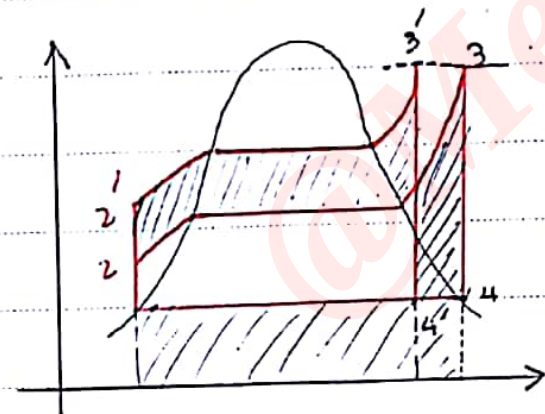
اثر خفگی بویلر سوپر هیت کردن میانی در مای

که به چرخه حرارتی در حجم افزایش می یابد از این رو η_{th} افزایش می یابد

همچنین در این حالت کیفیت بخار خفگی از توربین هم افزایش می یابد ولی برای

افزایش دما محدودیت داریم و این کمیت بیشتر به مقادیر مولد بخار رفته در توربین دارد

در حال حاضر دما کمتر دمای بخار $620^\circ C$ می باشد



روش دیگر افزایش بازده است

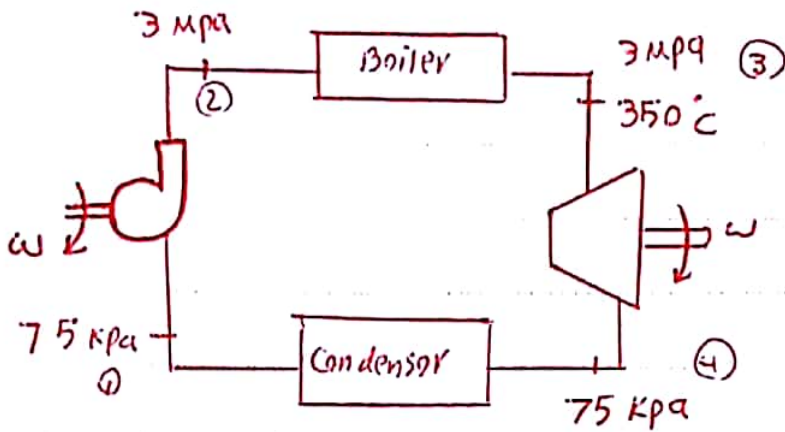
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = 1 - \frac{Q_H}{Q_L}$$

افزایش فشار پمپ با توجه به افزایش دمای میانی منفع گرم بازده را افزایش می دهد

ولی کاهش کیفیت اثر نامطلوبی در این روش است

Subject

Date



مسئله: بازه رانندگی

$$q_L = h_1 - h_4$$

بافتن SSSF در کندانور داریم

$$h_1 = 384.86$$

در نقطه (1) مایع اشباع داریم پس طبق جدول داریم

$$w_p = h_1 - h_2 = v(p_1 - p_2) = 0.001037(3000 - 75)$$

برای کارمپ هم داریم

$$w_p = -3.03 \text{ kJ/kg} \rightarrow w_p = h_1 - h_2 \rightarrow -3.03 = 384.86 - h_2$$

$$h_3 = 3115.25 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_3 = 6.7428 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

برای حالت (3) داریم

$$h_4 = 2403.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_4 = 6.7428 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$x = 0.886$$

برای حالت (4) داریم

$$q_L = h_1 - h_4 = 2018.84 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_H = h_3 - h_2 = 2727.86 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 0.26$$

حال اگر فشار کمنداسور را از 75 kPa به 10 kPa برسانیم رانندگی به 33.5٪ می‌رسد

و کیفیت $X_4 = 0.816$ می‌شود. و در حالت تکمیل اگر ما بویلر را تا 600 برسانیم رانندگی به

37.3٪ و کیفیت $X = 0.914$ می‌شود.

در حالت چهارم هم افزایش دما بویلر دهیم کماحقه فشار کمنداسور و افزایش دما بویلر را خواهیم داشت.

که در آن فشار بویلر از 3 MPa به 16 MPa و دمای آن از 350 به 600 برسانیم خواصی داریم

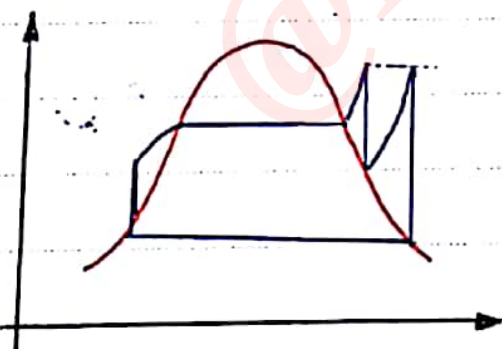
به صیغه عنوان خوب نیست $X_4 = 0.804 \rightarrow \eta_{th} = 43\%$

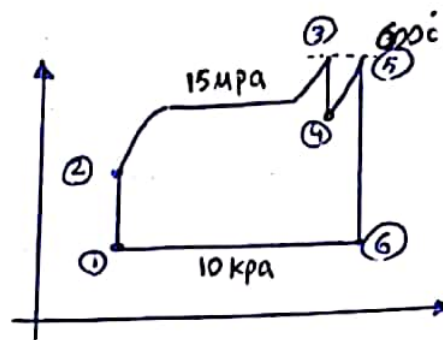
سوال: چگونه می‌توانیم بازده حرارتی را با افزایش فشار بویلر داشته باشیم ولی به مشکل رطوبت زیاد در فوچی

توربین برخورد نکنیم؟ برای حل این مشکل می‌توانیم خنک‌کننده توربین را به بویلر بفرستیم باز هم

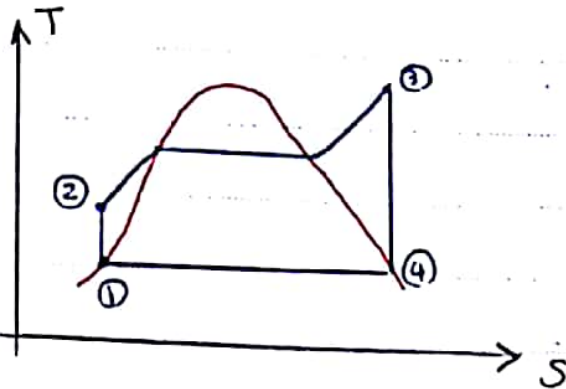
سعی در توربین نمود کنیم و سببه به فشار می‌توان چند بار این کار را انجام داد. این عمل را بازگرمایی

گرم کردن مجدد Reheat





<https://t.me/MechSource>

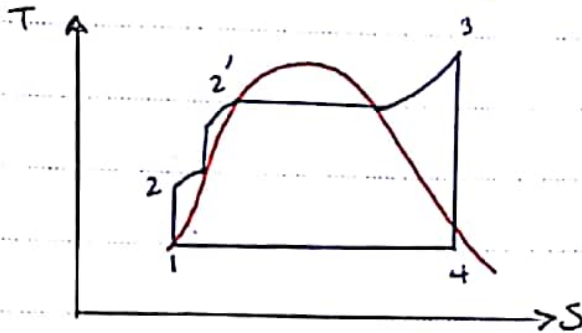


چرخه بازایاب (The Regenerative cycle)

در نمودار $T-s$ چرخه را با این مشاهده می‌تواند که

تفاوت دما در $2-2'$ نسبت به جابجایی کمتر می‌گردد.

منجر به کاهش بازدهی می‌گردد. برای رفع مشکل باید دمای آب تغذیه (حاصل از چرخه از چپ) قبل از ورود به دیگ افزایش



چای باید - گرمکن آب تغذیه (Feedwater heater)

با خارج کردن بخار از بخار آب در نقاط مختلف توربین

و استفاده از آن در لاین گرمکن ها، دمای آب ورودی به دیگ افزایش می‌یابد.

فوائد استفاده از چرخه بازایاب

1- افزایش بازدهی (افزایش دمای متوسط گرماده در دیگ)

2- کاهش دمای آب تغذیه جهت جلوگیری از خوردگی در دیگ بخار (در اثر فرسایش دمای پایین گذراندن بخار داخل آن که

3- کمک به کنترل دبی بخار در لاین های توربین (دماهای کم حجم زیاد بخار در فشار کم)

نکته: البته استفاده از این چرخه منجر به کاهش کارایی توربین می‌گردد.

که سرعت بالاد توربین چه معانی دارد؟ (ایجاد شوک)

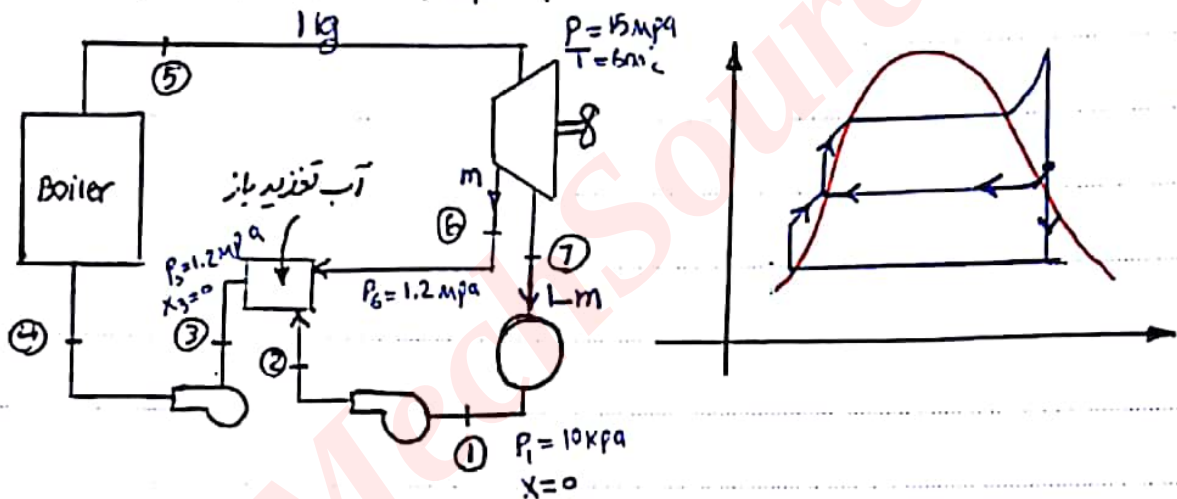
که s به جای h در بین 1 و 2

انواع گرمکن آب تغذیه

1- گرمکن آب تغذیه باز (open Feed water heater)

2- گرمکن آب تغذیه بسته (closed Feed water heater)

در حالت گرمکن آب تغذیه باز با مخلوط کردن بخار خروجی از توربین و آب خروجی از کندانسور، همان آب تغذیه افزایش دهنده می شود.



$$q_H = (h_5 - h_4)$$

$$q_L = (h_1 - h_7)(1 - \dot{m})$$

با افزایش تعداد بازگرمکن ها بازده سیستم افزایش می یابد. امروزه سیستم های نیروگاه ها حدوداً ۸ گرمکن آب تغذیه

دارند. انتخاب تعداد مناسب گرمکن به ملاحظات اقتصادی مربوط می شود.

حال در نیروگاه های بزرگ با لایه های زیاد.

در گرمکن آب تغذیه چون کار داریم و در حالت میانی تغذیه استانی نداریم

$$\dot{q}_{hd} + m_1 h_6 + (1-m_2) h_2 = (1) h_3 + \dot{w}_{hd}$$

P_6 را داریم و می دانیم $S_6 = S_5$ و S_5 را نیز با P_5 و T_5 بدست می آوریم پس h_6 نیز

بدست می آید و همچنین در مورد فرضی آب گرم آن فضا را یکسان است یعنی

$$P_2 = P_6 = P_3 \quad \text{پس} \quad P_2 \text{ را داریم و از رابطه کار پمپ} \quad (w_p = h_1 - h_2 = v_f (P_1 - P_2))$$

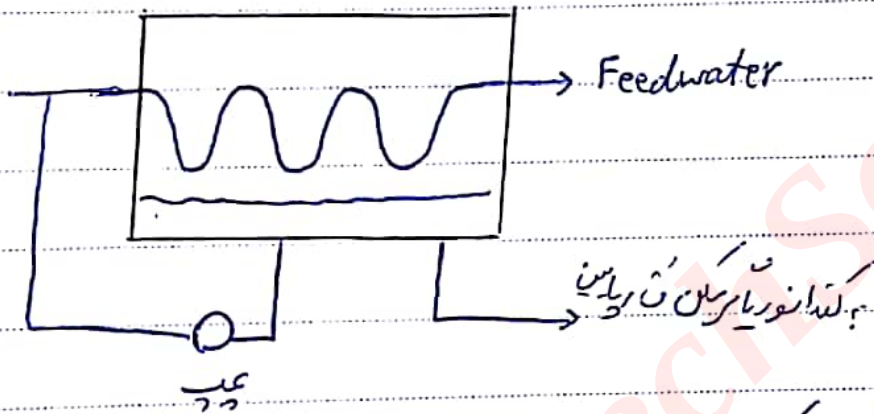
$$h_2 \text{ نیز بدست می آید. } (h_1 = h_2)$$

برای بدست آوردن بازده بهره ایست کار فرمول $\eta = 1 - \frac{q_c}{q_h}$ استفاده کنیم چون می بیند کار پمپ و کار است

$$W_{net} = W_{turbine} - W_{pump1} - W_{pump2} \quad \text{زیرا کار استونی می بیند خواص دهنده}$$

بازده کل 46.3 خواهد بود.

سُرنگن آب تغذیه کننده : در این سرنگن بخار آب خروجی از ترمین با آب خفته خردی از عیب

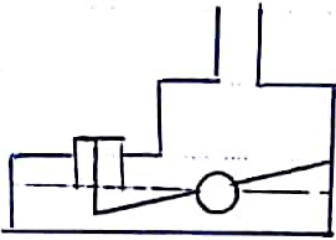


مخروط فن لوجر

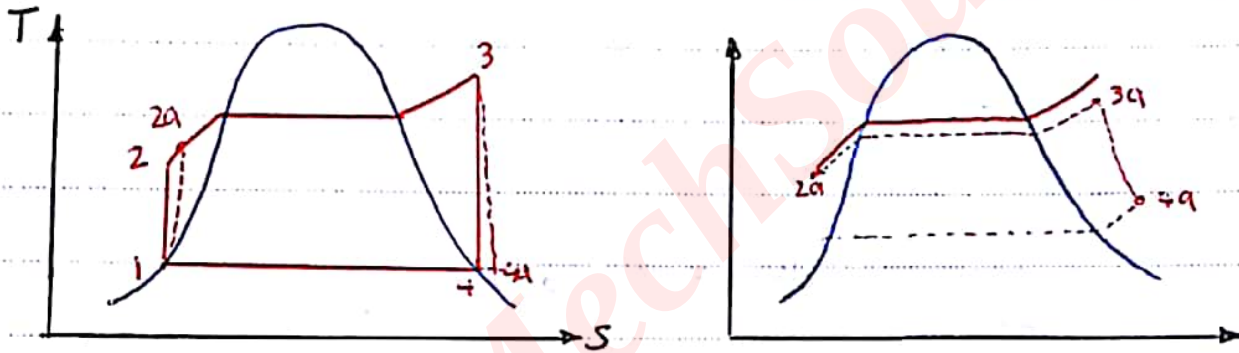
آب بخار (Steam trap) یک نوع شیر است که فقط اجازه می دهد مایع از آن عبور کند اما

اجازه عبور بخار را نمی دهد (فراخیز استاتی)
$$\frac{q}{A_1} + h_1 = \frac{q}{A_2} + h_2 = \frac{\Delta Q}{T}$$

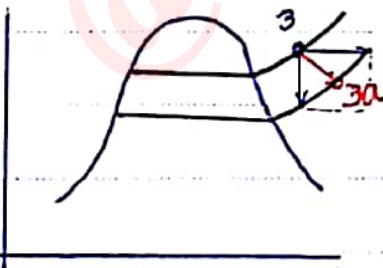
در اغلب تلم‌های بخار یک شیر هواگیر هم نصب می‌شود و اگر هوا از درستی بپسندیده هوا از لسن
 می‌گیرد و می‌کند. در اکثر موارد هاس ترکیبی از ترسکن هاس باز و بسته استفاده می‌کنند.
 منظور جدا کردن هوا از آب حداقل یک ترسکن باز در صورت نیاز است.



انحراف چرخه‌های واقعی از حالت ایده‌آل Deviation of Actual cycles from Ideal cycles



در خروجی بویلر تا ورودی توربین به علت اصطکاک افت فشار در به علت انتقال حرارت



افت را داریم

در پمپ و توربین در حالت ایده‌آل و برگشت پذیر. آن‌ها تبدیل فرض می‌کنند ولی در حالت واقعی

$$w_{ta} < w_{ts}$$

$$w_{pa} > w_{ps}$$

کار توربین کمتر و کار پمپ بیشتر خواهد بود.

$$\eta_{\text{turbine}} = \frac{W_{ta}}{W_{ts}} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

پس بازده توربین و پمپ را می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

$$\eta_{\text{Pump}} = \frac{W_{ps}}{W_{pa}} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_{2a}}$$

عوامل زیر در رانندگی سیستم برانندگی:

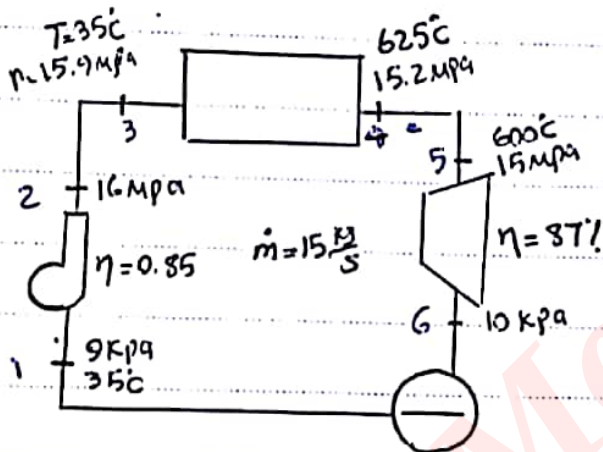
۱- دینامیک‌های واقعی خروشی مایع متداوم است

۲- وجود اصطکاک در یا تا مانده

۳- نشست بخار به‌ویژه

۴- نفوذ هوا به داخل کندانسور

۵- توالی مورد نیاز تجهیزات جانبی مانند فن‌ها



مثال: بازده کل چرخه را باید در کارخانه را محاسبه کنید

$$W_{ta} = \dot{m} (h_5 - h_{6s}) \eta_t$$

$$W_{pa} = \dot{m} (h_1 - h_{2s}) \eta_p$$

از نقطه ۶، فشار را داریم و می‌دانیم $S_5 = S_6$ پس h_{6s} بدست می‌آید. کار توربین به‌صورت زیر:

$$W_{ps} = V(P_1 - P_2) \dot{m}$$

و برآیند پمپ می‌باشد:

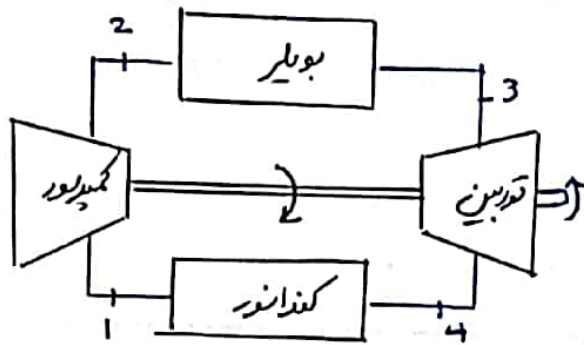
$$q_H = \dot{m} (h_4 - h_3)$$

$$q_L = \dot{m} (h_1 - h_6)$$

و بازده می‌شود:

$$\eta = \frac{W_{net}}{q_H} = 35.9\%$$

چرخه برابری



این چرخه از موثرترین فشار و دماهای آنتروپیک

تشکیل شده است.

1-2 : آنتروپیک (s = cte)

2-3 : فرایند انتقال حرارت، سرعت فشار ثابت

3-4 : انبساط کار توسط حجم کنترل، سرعت آنتروپیک

4-1 : درگیری فرایند انتقال حرارت، محفظه سرعت، دمای سرد عملی، کار خالص از توربین

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} \quad q_L = h_1 - h_4 \quad q_H = h_3 - h_2$$

$$q_L = c_p(T_1 - T_4) \quad q_H = c_p(T_3 - T_2) \quad \text{بازرسی کارایی آل}$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(\frac{T_4}{T_1} - 1)}{T_2(\frac{T_3}{T_2} - 1)}$$

دفرانسیل آریا بابت و برگشت پذیر را کار داریم:

$$PV^K = cte \quad PV = mRT \rightarrow P\left(\frac{mRT}{P}\right)^K = cte$$

$$P^{1/K} T^K = cte \rightarrow P T^{\frac{K}{1-K}} = cte \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1}\right)^{\frac{K}{1-K}}$$

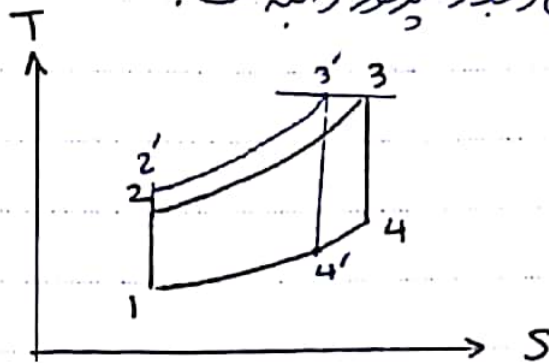
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{T_3}{T_4}\right)^{\frac{K}{1-K}} \quad \text{در این } P_1 = P_4 \quad P_2 = P_3$$

$$\frac{T_4}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} \quad \text{از رابطه های بالا داریم} \quad \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \quad \text{در این}$$

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

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = r^{\frac{k-1}{k}} \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{k-1}{k}}}$$

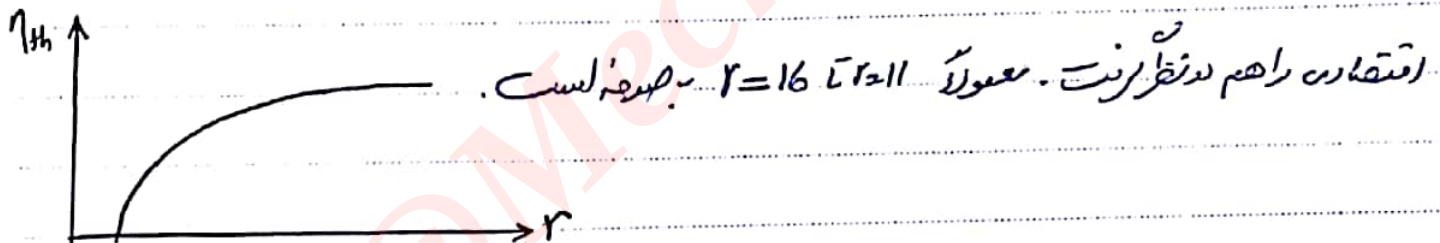
بنابرین می‌توان بازه تنها به نسبت فشار قبل و بعد از کمپرسور رابطه است.



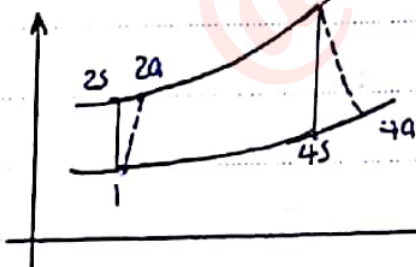
نکته: H4x دایره نیوکاه 420C است

در صورت دقت نظر فرسج کمپرسیت رهای حرکات و نقطه ورود به توربین با افزایش فشار ساهکار انجام می‌دهد

مربوط به حجم بیال عامل هستیم بلکه جبران این مسئله با دایره سیستم زیر توربین استفاده می‌دهد و البته سائل



اقتضای راهم دقت نظر نیست. معمولاً $r=11$ تا $r=16$ بهینه است.



با دقت نظر فرسج انحرافات در نسبت پذیرد هاداریم

$$\eta_{GM} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad \eta_{th} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

در سیکل راتینون کار کمپرسور در مقایسه با کار توربین زیار است بر خذف سیکل راتینون که کار کمپرسور در مقایسه با

کار توربین کم است در دلیل آن حجم مخصوص کار است که در قبل جامع بهر بهینه است

$$r_{bw} = \frac{w_c}{w_t}$$

کاربرگشتی :

دو توربین های خارجی انرژی و دمای ورودی به توربین ها 1425°C قابل افزایش و بازدهی سیکل

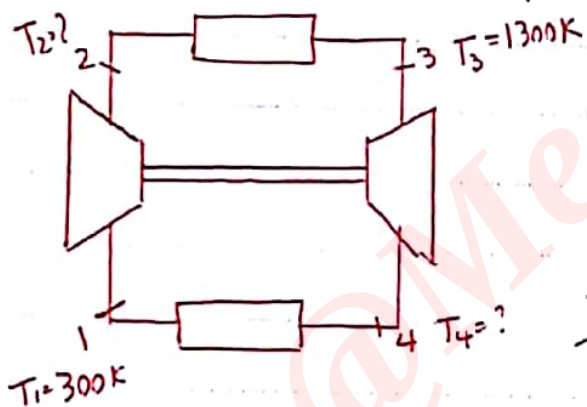
حدود 30% می باشد.

که دمای 400°C در رانگین 1425°C است ؟

مثال : منبع دانه های خارجی را با دمای 300K و دمای 1425°C به توربین برابر

در نسبت فشار 8 در نظر بگیرید. با فرض دانه های آل و متغیر بدلی و نسبت به دما مطلوب

(1) دماهای خروجی کپور و توربین (2) نسبت کاربرگشتی (3) بازده دانه های چرخ



در توربین دگرگشت داریم $ds=0$ پس داریم

$$T ds = dh - v dp \rightarrow dh = v dp$$

$$dh = c_p dT = v dp \quad p v = RT \rightarrow v = \frac{RT}{p}$$

$$\rightarrow c_p dT = \frac{RT}{p} dp \rightarrow c_p \frac{dT}{T} = R \frac{dp}{p} \rightarrow \frac{c_p}{R} \frac{dT}{T} = \frac{dp}{p} \rightarrow \ln \frac{p_2}{p_1} = \int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p}{R} \frac{dT}{T}$$

$$p_r = \exp \left(\int_{T_1}^{T_2} \frac{c_p}{R} \frac{dT}{T} \right)$$

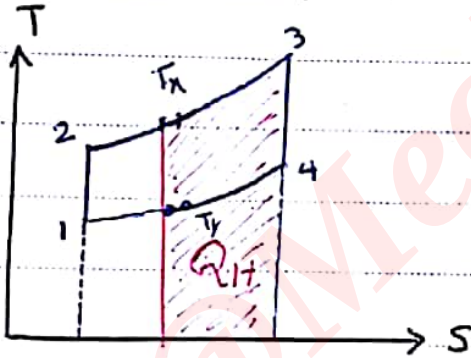
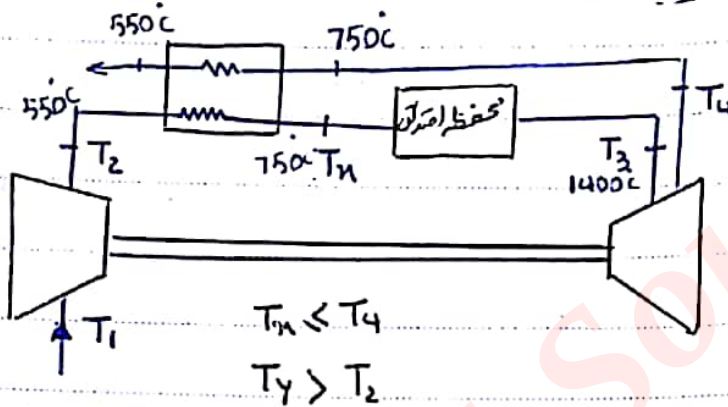
پس فشار کاهش $\frac{p}{p_0}$ برابر است با

چرخه برایتون یا بازتاب (The Bryton cycle with Regenerator)

در موتورهای گازی اغلب به دلیل مولد دمای گاز خروجی از توربین به دلیل از دمای گاز خروجی انکسید است

بنابراین می توان با افزودن یک مبدل حرارتی از دمای گاز خروجی از توربین برای پیش گرم کردن گاز خروجی

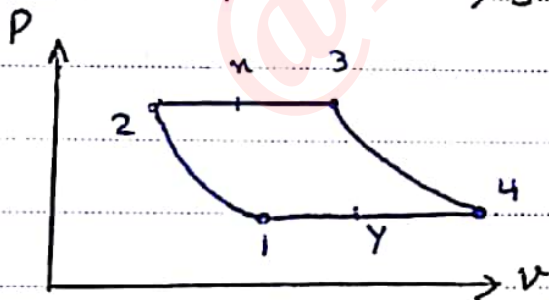
از کمپرسور استفاده نمود و در نتیجه مقدار سوخت مورد نیاز در محفظه احتراق را کاهش داد.



در این صورت Q_H ضریب کوچک می شود

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H}$$

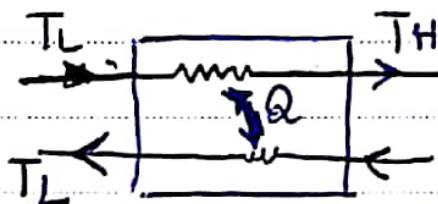
راندمان بالاتر می رود



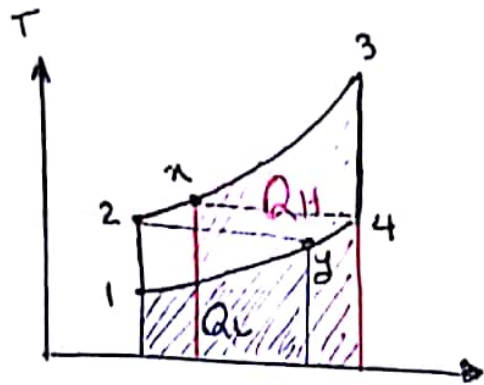
در حالت ایده آل دمای خروجی بخش بر فشار از بازتاب

برابر با دمای خروجی توربین خواهد بود و دمای خروجی

بخش کم فشار از بازتاب برابر با دمای خروجی از کمپرسور می باشد



نکته: در جریان مستقیم جابجایی
محدود می شوند که دما برابر می آید



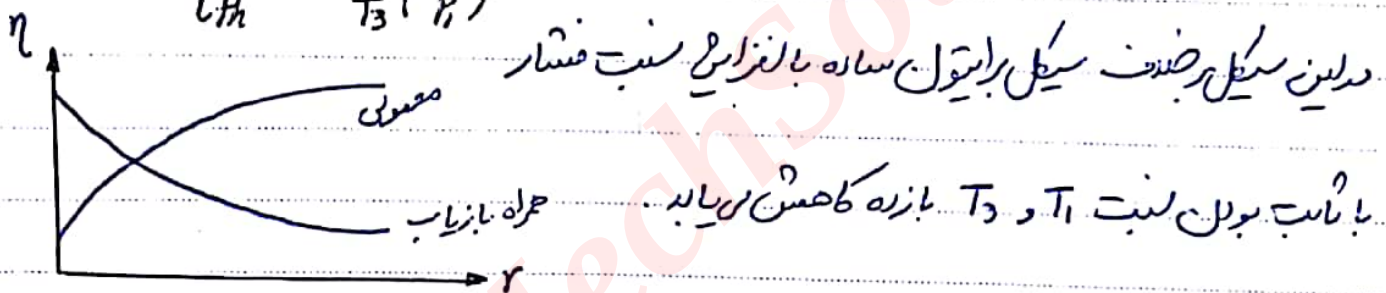
$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H}$$

$$= 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{C_p (T_4 - T_1)}{C_p (T_3 - T_2)}$$

$$T_2 = T_1 \quad T_3 = T_4$$

$$\Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_4} = 1 - \frac{T_1 \left(\left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} - 1 \right)}{T_3 \left(1 - \left(\frac{T_4}{T_3} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \right)} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$

$$\Rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_1}{T_3} \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}$$



در این سیکل رانندگی سیکل برابری ساده با افزایش نسبت فشار
با ثابت بودن نسبت T_3 و T_1 بازده کاهش می یابد

بازده بازتاب (Regenerator efficiency): در حقیقت $T_3 < T_4$ است معلوم

$$\eta_{th} = \frac{h_3 - h_2}{h_4 - h_2}$$

$h_3 < h_4$ و برای افزایش این بازده باید سطح و حجم را بزرگ کرد

حالت انتقال حرارت به طور کامل انجام شود $T_3 = T_4$ و $T_2 = T_1$ نزدیک شود ولی این کار باعث هزینه زیاد

ولفت میسر می شود. در عمل بازده بازتاب تقریباً 85٪ است.

$$\eta_R = \frac{h_x - h_2}{h_4 - h_2} \quad \eta_{hr} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1} \quad \eta_{ca} = \frac{h_{4c} - h_3}{h_{4s} - h_3}$$

بارش راندها: h_{4a} , h_{2a} و h_m را به دست آوریم و با آن

راندها را حساب کنیم که $\eta = 36.9\%$ می شود.

چرخه توان ترکیبی گاز بخار

ماکزیمم دمای سیال عامل در صدی توربین
 شرایط بخار بخار 620
 شرایط توربین 6 گاز 1150

چرخه توربین گاز: به علت دمای منبع گرما بالا قابلیت ایجاد بازده بالاتر را دارد.

دریل کننده سیال توربین گاز را در دمای بالایی ترک می کند از این قابلیت استفاده می شود.

نتیجه: بازده حرارتی توربین گاز کم از بازده حرارتی توربین بخار می باشد و راه حل آن ترکیب

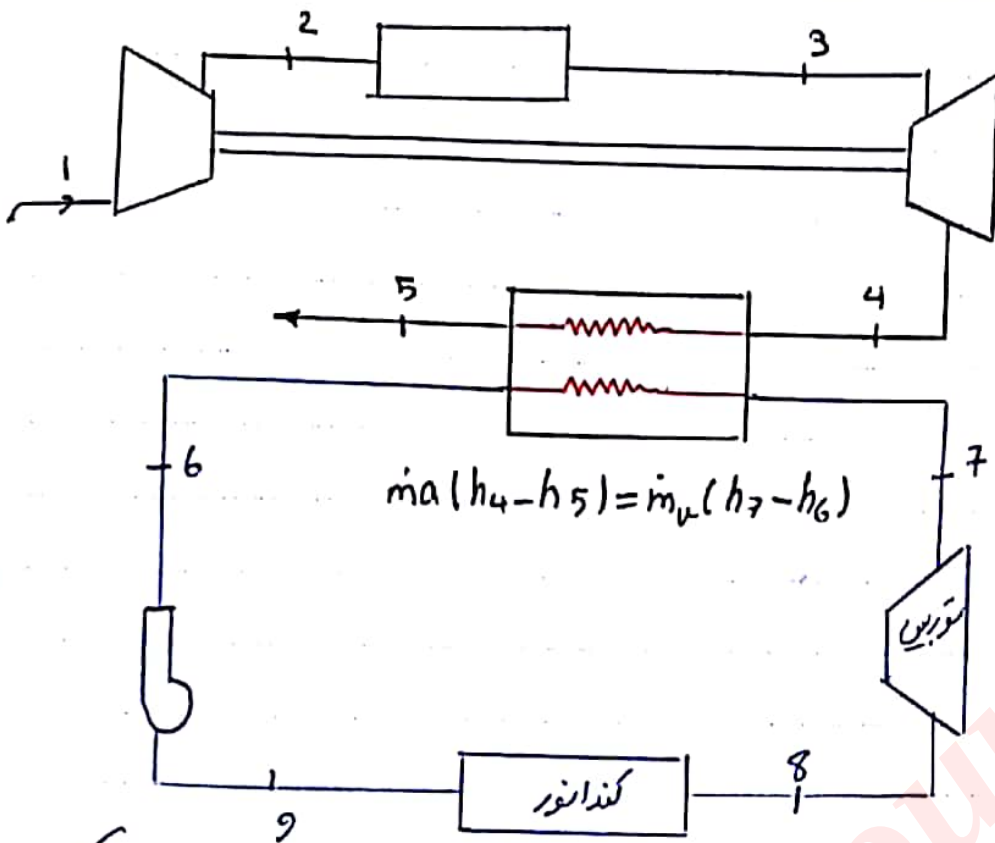
نقطه 6 سیکی گاز با نقطه بخار است که منجر به HRSG خاص می شود.

گازها در سطح دما بالا توربین می گذران منبع انرژی برای چرخه نقطه بخار استفاده می شود.

این عمل در مدل حرارتی HRSG صدق می کند. چرخه بخار می تواند در دماهای بالا

$$\eta = \frac{W_{GT}}{Q_H} \quad \text{توربین گاز} \quad \eta = \frac{W_{GT} + W_{ST}}{Q_H} \quad \text{توربین گاز + نقطه بخار}$$

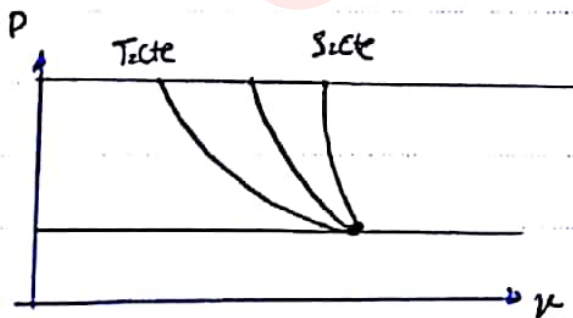
بازده در صد 40 را می باشد.



در سال ۱۹۹۸ شرکت زمین آلمان یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۱۳۵۰ MW طراحی نموده و در شهر آسبارن کرکته
 ساخته شد. بازده آن به ۵۲.۵٪ رسیده است. این نیروگاه شش عدد توربین گاز ۱۵۰ MW و سه عدد
 توربین بخار ۱۷۳ MW دارد.

چرخه توربین گاز با تراکم چند مرحله، فشرکس میانی، لرطوبت مجدد و بازایاب

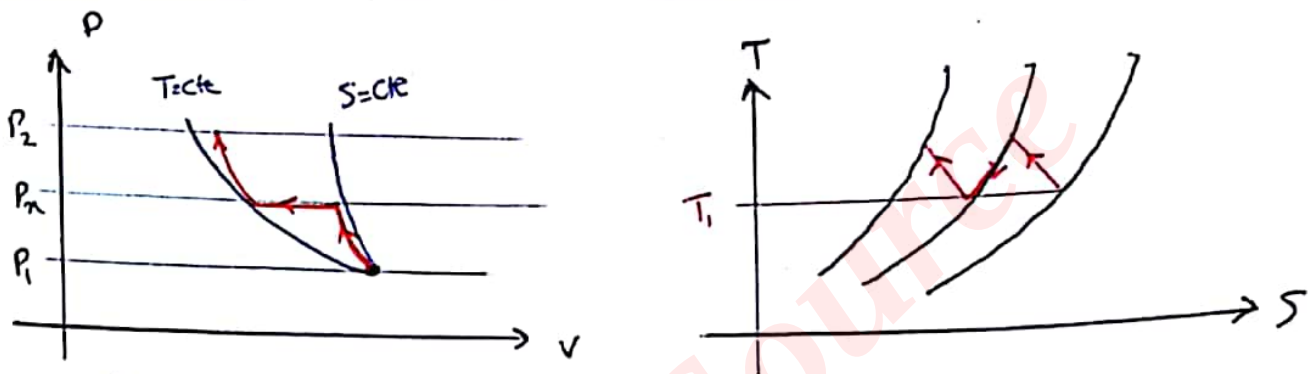
$$w_{net} = - \int v dp$$



همچنانکه در مده در نمودر فرایند تراکم هم دما کمتر
 کلاریتایز دارد

و همچنانکه هم اسباب هم دما بیشتر است کار را تولید می کند

Subject
Date

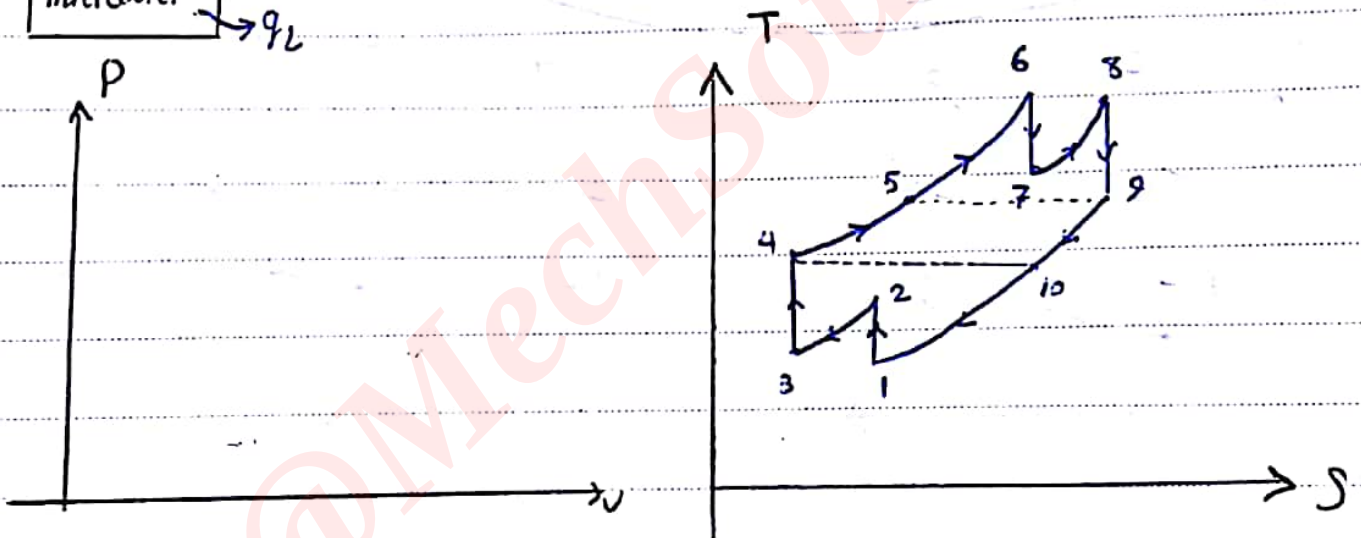
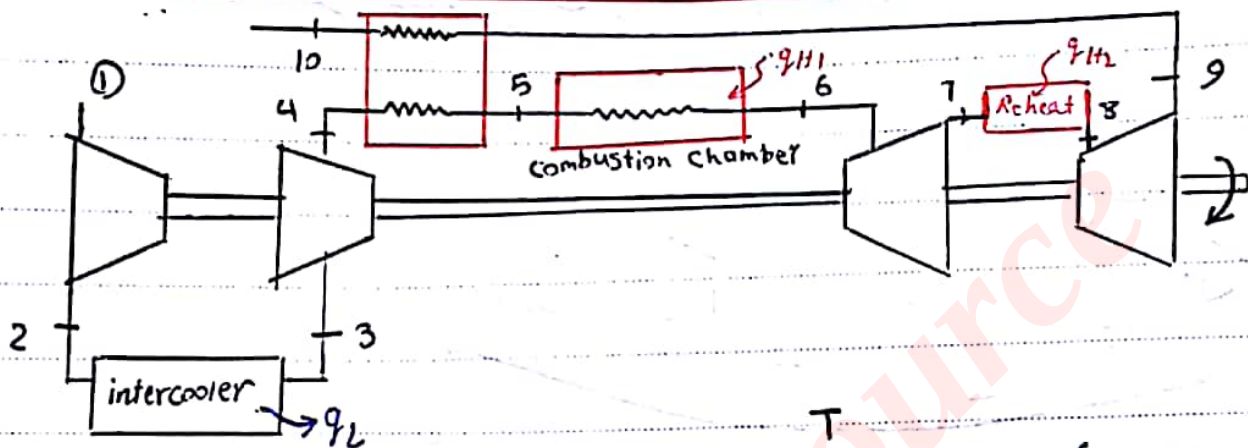


انتقال در سرعت $S = cte$ فشار را زیاد می کنیم پس به نسبت متعکس نسبت اما را کم می کنیم

مسیب تقریباً هم در فشار را زیاد می کنیم و در دما را کم می کنیم.

نسبت گسترش را می بینیم که کار می شود داریم

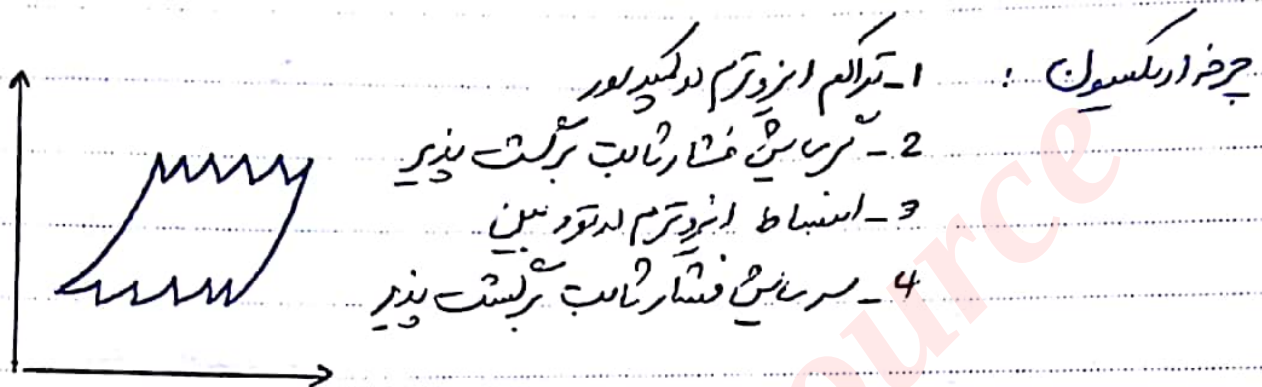
$$P_x = \sqrt{P_1 P_2}$$



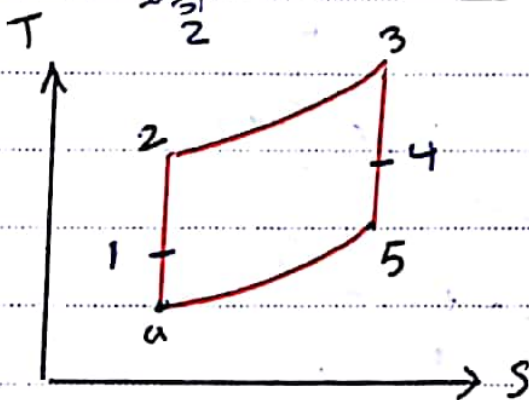
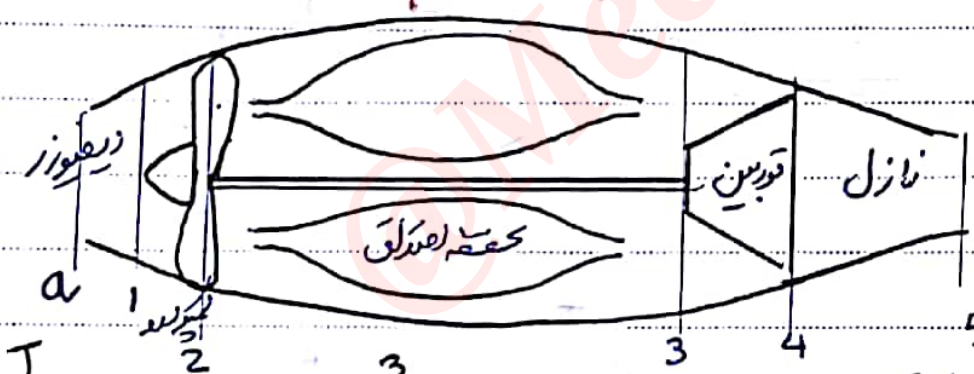
حال اگر چرخه ری هیت Reheat و چرخه intercooler داشته باشیم مطابق شکل زیر

به چرخه آرکلسون نزدیک می شود ولی در هر مرحله افزایش نسبت به حالت قبل

مقدار افزایش بازده کم می شود به همین خاطر از یک تا ۲ لگه در می رانند یا ۲ تا ۳ و ۳ تا ۴



چرخه استاندارد هوا برای رانش جت (The air standard cycle for Jet propulsion)



موتور توربو جت (Turbojet Engine) :

موتورهای جت (توربین گاز) سبک و کم حجم و نسبت توان به وزن بالایی دارند بنابراین به طوره گسترده در هواپیما استفاده می شوند

اجزای اصلی موتور جت

- Diffuser : با کاهش سرعت افزایش فشار داریم
 Compressor : افزایش فشار به صورت آیزنتروپیک
 Combustors : سوختن هود سوخت
 Turbine : کاهنده فشار و تامین کار مورد نیاز کمپرسور
 Nozzle : انبساط گاز داغ و همپای کردن شرایط فرعی به سرعت گاز داغ به بیرون موتور

نکته : چرخه لویه آل رانش جت با چرخه برایتون فرق دارد چون در این چرخه گازها در فرعی توانین
 فشار را کمتر منبسط من شوند بکنه تا چرخه جایی منبسط شوند که کار لازم برای چرخاندن کمپرسور و
 سایر تجهیزات جانبی فراهم گردد.

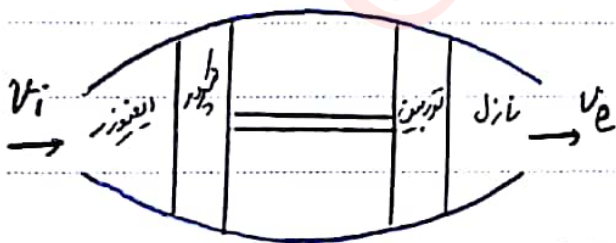
سوزی عکس العمل به وجود آمده در موتور جت به واسطه تغییر اندازه حرکت گاز در ورودی و فرعی

$$\Sigma F_{net} = \Sigma M_{out} - \Sigma M_{in}$$

به موتور می یارند.

$$F = m \cdot v$$

نیس در موتور جت متوال نوشت (در حالت پایا)



$$F = m(v_e - v_i)$$

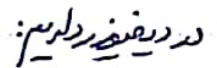
$$\dot{W} = F v_i = m(v_e - v_i) v_i$$

$$\eta_{propulsion} = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}_{in}}$$

نسبت فشار کشیدنی مورد σ_c و دمای عملیاتی 1200 K و ضریب در درجه دما 80 MPa مطابق با σ_c مطلوب است.

$$P_1, P_2, P_3, P_4 \quad (a)$$

بخر و صفت و فرجه از اسرار جنس و در حدیث از اسرار بیخ و نسل صفت نظر از اسرار



$$\cancel{q_a^2} + h_a + \frac{V_a^2}{2} = \cancel{q_a^2} + h_1 + \frac{\cancel{V_a^2}}{2}$$

$$\Rightarrow h_1 = h_a + \frac{V_a^2}{2} \xrightarrow{\text{جول}} P_{a2}, h_{a2} \rightarrow h_1 \text{ به آب}$$

$$h_1 - h_a = \frac{V_a^2}{2} = C_p (T_1 - T_a) \xrightarrow{\text{درایم}} T_1 \text{ بدست می آید} \rightarrow P_1 \text{ بدست می آید}$$

$$\frac{P_1}{P_a} = \frac{P_2}{P_{a1}} \rightarrow P_2 = \frac{P_1 P_{a1}}{P_a} \rightarrow \frac{P_2}{P_1} = 8 \rightarrow P_2 = 8 P_1$$

حالت استاندارد از رابطه ۱

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P_{r2}}{P_{r1}} \rightarrow P_{r2} = \text{بر حسب } T_2 \rightarrow T_2$$

در محفظه ۱ افتد و در ریت است پس h_3 به دست آید $T_3 = 1200K$, $P_3 = P_2$

نقد فقط 4 چوں آنرند و یک است از ۱۲ استفاده نکنیم.

$$h_1 - h_2 = h_4 - h_3 \rightarrow h_4 \checkmark \rightarrow p_{r4} \rightarrow p_4 \rightarrow T_4$$

$$\frac{P_{r5}}{P_{r4}} \cdot \frac{P_5}{P_4} \rightarrow P_{r5} \rightarrow h_5 \quad h_4 = h_5 + \frac{V_5^2}{2} \rightarrow V_5 \checkmark \rightarrow V_5 = 3337 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_5 = 927 \text{ m/s}$$

$$\eta = \frac{\dot{W}}{\dot{Q}}$$

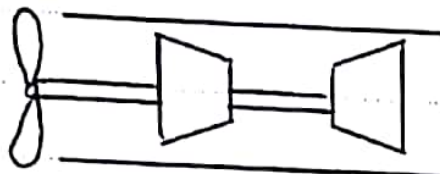
$$\dot{Q} = (h_3 - h_2) \dot{m} \quad \dot{W} = \dot{m} (V_e - V_i) V_i$$

$$\rightarrow \eta = \frac{\dot{m} (V_e - V_i) V_i}{\dot{m} (h_3 - h_2)}$$

غولدر اصولی برای موتورهای توربوجت

- هواپیماهایی که ابتدا ساخته شدند خیلی بکُک ملخ حرکت می‌کردند.
- توان مورد نیاز ملخ هم توسط موتورهای شیبه موتور اتومبیل تأمین می‌شد.
- در هواپیماهای ملخی، تقطیر سرعت در جلو و عقب ملخ کم است در نتیجه باید حجم خیلی زیادی سیال از ملخ عبور کند و در نتیجه در موتورهای جت ریس سیال کم است و ممکن تغییر سرعت زیاد است.

حود موتور توربوجت و ملخی امتیازات و دارایی‌ها به نسبت کمتری نسبت به آن‌ها است.



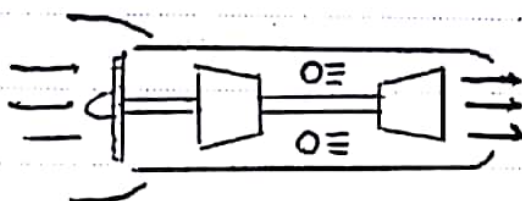
1- موتور توربوپراپ: این موتور یک ملخ توربین گاز

است که در آن با زیاد شدن دمای احتراق منبسط می‌شود و کار خاص تولید می‌کند. مستقیماً پروانه یا ملخ

دیده شده و پروانه نیروی جلو برنده را تأمین می‌کند و برای سرعتی $600 \frac{km}{h}$ مناسب است.

2- توربوفن: بدنه آن شبیه به توربوجت است و مقداری از نیروی جلو برنده توسط انبساط گاز در نازل بدست می‌آید. همچنین یک سری پره با قطر زیاد که به جلوی موتور وصل است به هوای اطراف بدنه موتور شتاب می‌دهد. بنابراین بخشی دیگری از نیروی

جلو برنده بدست می‌آید. این موتورها برای کاربردهای هواپیماهای تجاری با سرعت حدود



$1000 \frac{km}{h}$ استفاده می‌شوند.

3- موتورهای توربوجت یا توربوپن با شعل مانویه (After burner)

در هواپیماهای نظامی، با افزودن یک شعل مانویه بین توربین و نازل، بازه حرارتی و هنوز اکسیدان زیاده را در سوخت تزریق می‌کند. در نتیجه دمای گاز ورودی به نازل افزایش یافته و نیروی جبرنده ترمینالی تولید می‌شود.

4- موتور رم جت: این موتور که کمپرسور دارد و توربین، افزایش فشار در موتور بر رویه ورود هوا

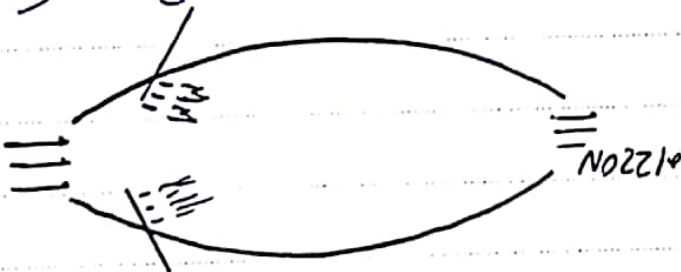
با انرژی جنبشی زیاد ایجاد می‌کند و بنابراین سرعت موتور قبل از اینکه عمل احتراق در آن صورت گیرد

باید به وسیله یک منبع خارجی، بکترکافن افزایش یابد. رم جت بهترین عملکرد را در هواپیماهای با سطح

2 یا 3 دارد و در مقیاس سرعت هوا در دره تا سطح 0.2 کاهش می‌یابد و موجب افزایش عملکرد می‌گردد

سپین هفت به آن اضافه می‌شود و محصولات احتراق با سرعت خیلی زیاد از نازل خارج می‌شود و نیروی جبرنده

ایجاد می‌گردد



موتورهای احتراق داخلی دیزلی و بنزینی و ترکیبی

شرایط کارکرد موتور احتراق داخلی چهار زمانه

فرآیندهای احتراق

↓ دیزل ← پاشش سوخت داریم و فشار ثابت است :

↓ بنزینی ← جرقه داریم و حجم ثابت است .

1- مکش (Intake Stroke) : پیستون ابتدا در نقطه مرز بالا قرار دارد و سوپاپ ورود هوا باز می شود. با حرکت

به سمت پایین، پیستون مخلوط سوخت و هوا را تازه را به داخل سیلندر کشیده می شود.

2- تراکم (Compression Stroke) : پیستون ابتدا در نقطه مرز BDC است و سپس به سمت بالا حرکت می کند

چون هوا و دیزل و فرسودگی هوا به است بنابراین فشار در سیلندر افزایش یافته و حجم مخصوص کاهش یافته

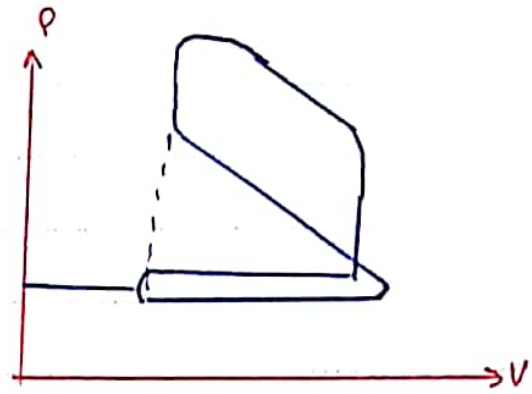
3- مرحله احتراق و انقباض (Power Stroke) : همچنان سوپاپ ها بسته اند. گازها و فشار در پیستون را به سمت

پایین می رانند که منجر می شود در دو پایان این مرحله پیستون در نقطه BDC قرار دارد و کل فشار را بخورد

از تعداد پرتو است.

5- مرحله تخلیه : پیستون به سمت بالا حرکت کرده و با باز شدن سوپاپ خروج محصولات احتراق از آن

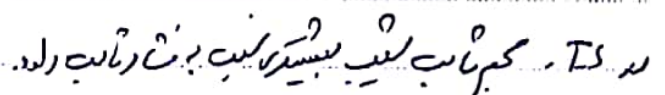
خارج شده و پیستون به TDC برسد.



کے فخر و مجازہ ثابت ہے کہ اگر درجہ السبیط بہ بیست و ولد شود حق کار خالص را بگوید کند و در سبیل

فشار خون به عنوان معیار بدن معالیه بازنه موثرهای رفت و بر نشی : با کار من رد در صورت سربلر بردن

بازنه میبستند و در دو طرف بر سر خط حکم سال و قمران میبستند ای میبستند



این چرخه یک چرخه ایست که برای تقریب زدن موتور بنزینی را به کار می‌گیرد و چهار نقطه در آن مشخص شده است.

- 1- تراکم آدیباتیک
- 2- گرمایی در حجم ثابت
- 3- انبساط آدیباتیک
- 4- دفع گرمایی در حجم ثابت.

با فرض ثابت بودن حجم و دمای هوا و در آنجا بازه سیل را می‌توانیم بدست آوریم.

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_1}{Q_2} = 1 - \frac{U_4 - U_1}{U_3 - U_1} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_v(T_3 - T_1)}$$

در اینجا چون سیستم است و کار جریان نداریم از h استفاده نمی‌کنیم.

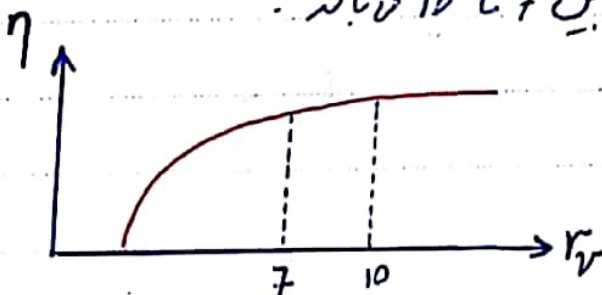
$$\left. \begin{array}{l} p v^k = \text{cte} \\ p v^k = R T \end{array} \right\} \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^{1-k} \rightarrow \eta = 1 - \frac{T_1 \left(\frac{T_4}{T_1} - 1 \right)}{T_2 \left(\frac{T_3}{T_2} - 1 \right)}$$

$$v_1 = v_4, v_2 = v_3 \rightarrow \frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} \rightarrow \frac{T_2}{T_3} = \frac{T_1}{T_4}$$

$$\rightarrow \eta = 1 - \frac{T_1}{T_2} = 1 - \left(\frac{v_1}{v_2} \right)^{1-k} \quad \text{نسبت تراکم } \frac{v_1}{v_2} = r_v \text{ با فرض}$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{r_v^{k-1}}$$

بازه سیل r_v برای خودروهایی که بنزینی بین 7 تا 10 را دارند.



بازده حرارتی یک چرخه اعتدال جرم از واقعیت به علت اصطکاک و اصطلاح نامقن سوخت که منجر به رانندگی می شود نسبت به حالت ایده آل چرخه اتو کمند است.

محدودیت: با بازداشتن نسبت تراکم امکان انفجار سوخت افزایش می یابد که باعث تولید امواج فشاری قوی در سیلندر و صدای زیاد می شود. بنابراین یک نسبت تراکم ماکزیم وجود دارد که به منظور جلوگیری از انفجار بسیار بد از آن تجاوز نموده و با افتادن کرنش تراکم میل سوخت و بهبود خاصیت هنده های آل حدودی از نسبت تراکم افزایش یافته است. همچنین بنزین های بدون سرب هم با خاصیت هنده های مناسب تولید شده است.

مثال: در یک چرخه اتو با نسبت تراکم $r_v = 8$ در شروع فرایند هوا در فشار 100 kPa و 17°C می باشد.

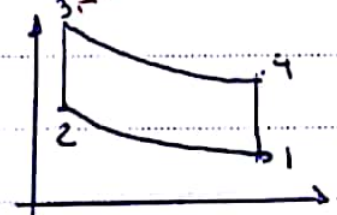
حرکت مستقل شده به هوا می فرایند حجم ثابت تراکم $\frac{1}{8}$ می باشد. با در نظر گرفتن تغییرات صورتی و ترمه بدیه هوا مطلوب است. (نکته: لا این مسائل به جای P_1 از P_2 استفاده می کنیم)

الف) حداکثر فشار در میانی چرخه (P_3, T_3)

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3} = 8$$

ب) بازده حرارتی

ج) فشار متوسط مؤثر چرخه mep



$$T_1 \xrightarrow{\text{حجم}} v_1, u_1 \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{v_4}{v_3} = 8 \rightarrow v_2 \checkmark$$

$$v_2 \xrightarrow{\text{حجم}} u_2, T_2 \quad \checkmark$$

$$q_H = q_{2-3} = u_3 - u_2 + \frac{1}{\chi_3} \Rightarrow u_3$$

$$P_1 V_1 = R T_1 \Rightarrow V_1^{\gamma} \Rightarrow V_2 = \frac{1}{8} V_1 \quad \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_3} = 8 \quad V_3^{\gamma}$$

$$P_3 V_3 = R T_3 \rightarrow T_3 = 1200^{\circ}\text{C} \rightarrow V_3 \rightarrow V_4 = 8 V_3 \rightarrow T_4, U_4 \quad \checkmark$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{q_L}{q_H} = 1 - \frac{U_4 - U_1}{U_3 - U_2} \Rightarrow \text{بجست س آله}$$

$$mep = \frac{W_{net}}{V_{max} - V_{min}} = \frac{q_H - q_L}{V_4 - V_3} = 574.8 \text{ kPa}$$

فشار متوسط 0.1 از فشار ماکزیم است پس در فشارهای بالا کار خاصی انجام نمیدهد

چرخه استاندارد دیزل : Air standard diesel cycle

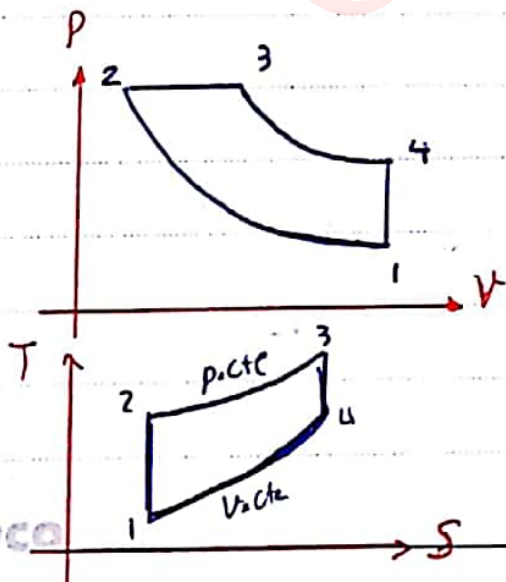
مکانچه چرخه آله برای موتورهای احتراق داخلی تراکم کننده موتور دیزل کم تفاوت آل با موتورهای

بنزینی در نحوه احتراق آنهاست. در موتورهای بنزینی مخلوط سوخت و هوا در ساین تراکم می شود

خود استقامت متراکم می شود پس عمل احتراق با جرقه شمع صورت می گیرد. در موتورهای دیزل، هوا را

در ساین بالاتر تراکم می کنند و سوخت متراکم می شود. آنگاه سوخت ترشح می شود و می تواند سوخت

در نقطه سوخت دهی خود بخود اشتعال می یابد.



1 → 2 → تراکم ایزنتروپیک

2 → 3 → افزودن بار

3 → 4 → تراکم ایزنتروپیک

4 → 1 → هم حجم

در موتورهای دیزل به دلیل اینکه در مرحله تراکم، نقطه هوا متراکم می شود در مکان: نسبت تراکم محسوس می رسد
تقریباً بین 12 تا 24 است. و نسبت دتر این موتورها امکال استفاده از سوختی با پایداری محدود
و قدرت محسوس را دارد.

حال به حالتی بازه سیکل دیزل در نظر می گیریم

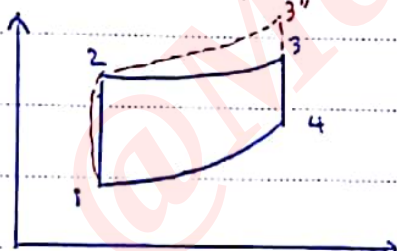
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{u_3 - u_2}$$

با فرض ثابت دتر فرض C_p و C_v داریم

$$\eta_{th} = 1 - \frac{C_v(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} \quad \frac{C_p}{C_v} = K \rightarrow \eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{K(T_3 - T_2)}$$

نسبت جابجایی (cut of ratio) : برابر با نسبت حجم بعدی قبل از احتراق

$$r_c = \frac{V_3}{V_2}$$



احتراق دمای ماکزیم چرخه دیزل مخزن با دمای بازده

مردم چون حفظ حجم ثابت و فشار ثابت عمل می کنند

و انرژی مقدار کار به نسبت بیارکتد از انرژی Q_H خواهد بود.

حقیقت این چرخه دیزل و اتو به حالت اول: اگر فرض کنیم نسبت تراکم دهنده یکسان باشد و حالت قبل از تراکم

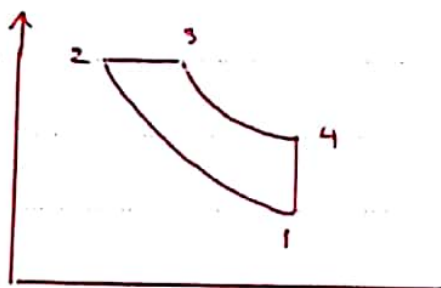
آنها یکی باشد. فقط 4 هم در دو حالت یکسان باشد و اینصورت بازه سیکل اتو محسوس از دیزل است.

حالت ششم: مقایسه رنژل واقع در حالتی که دمای بیسینه سیکل در وضعیت ثابت باشد.

در این حالت از نمودار مشخص است که بازده سیکل رنژل بیسینه فزاینده می‌باشد.

معمولاً بازده سیکل رنژل بین 35 تا 40 است.

مثال: سیکل استانه‌دار را با هر قدرت زیر در نظر بگیرید.



$$T_1 = 300 \text{ K}$$

$$P_1 = 0.1 \text{ MPa}$$

$$\frac{v_1}{v_2} = 18$$

$$\frac{v_3}{v_2} = 2$$

در این حالت v_1, u_1, h_1 معلوم است.

$$T_1 v_1 \rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{v_2}{v_1} \rightarrow v_2 \rightarrow T_2, u_2, h_2 \quad \checkmark$$

در این حالت v_2 و T_2 معلوم است. از رابطه $P_1 v_1 = P_2 v_2$ می‌توان P_2 را پیدا کرد.

$$\frac{P_1 v_1}{T_1} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \rightarrow P_2 \quad \checkmark$$

$$P_3 = P_2 \rightarrow \frac{P_3 v_3}{T_3} = \frac{P_2 v_2}{T_2} \rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{v_3}{v_2} \rightarrow T_3 \quad \checkmark$$

$$T_3 \rightarrow h_3, u_3$$

$$\frac{P_4 v_4}{T_4} = \frac{P_1 v_1}{T_1} \quad \frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$\frac{v_3}{v_4} = \frac{v_3}{v_1} \times \frac{v_1}{v_2} \times \frac{v_2}{v_4} \quad \checkmark \rightarrow \frac{v_3}{v_4} \quad \checkmark$$

$$\frac{v_3}{v_4} \times \frac{v_3}{v_4} \rightarrow v_4 \rightarrow h_4, u_4, T_4 \quad \checkmark$$

$$\frac{P_4 v_4}{T_4} = \frac{P_1 v_1}{T_1} \rightarrow P_4 \quad \checkmark$$

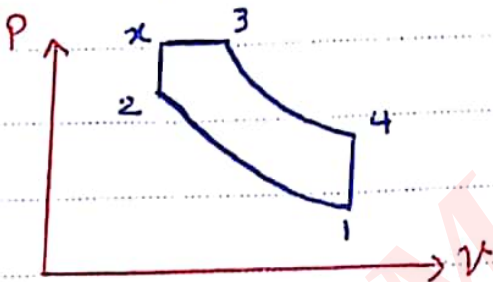
$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{K(T_3 - T_4)} \times \frac{C_p}{C_v} \quad \eta_{th} = 1 - \frac{u_4 - u_1}{h_3 - h_2} \quad mep = \frac{W_{net}}{v_2 - v_1}$$

Subject _____

Date _____

چرخه هوای استاندارد دوگانه (Air Standard dual cycle) :

برای تقریب فرآیند دریافت حرارت در سیکل‌های مربوط به موتورهای بنزینی و دیزلی ساده یک فرضیه
این باشد که فرآیند انتقال یا دریافت حرارت به صورت ترکیبی از فرآیند فشار ثابت و حجم ثابت در نظر گرفته
شود. چرخه حاصل را چرخه نقطه می‌نامند.



چرخه های تبرید

REFRIGERATION CYCLES

1

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

تعاریف

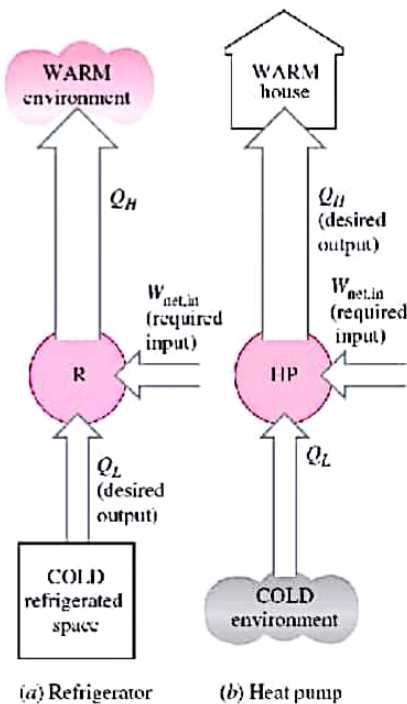
- تعریف تبرید:
- انتقال حرارت از یک نقطه با دمای پایین به نقطه ای دیگر با دمای بالا
- وسایل عامل ایجاد تبرید را Refrigerators (سرد کن ها) می نامند.
- سیکل مربوطه را سیکل تبرید می نامند.
- سیکل های رایج تبرید:
- سیکل تبرید تراکمی بخار
- سیکل تبرید گازی

2

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سرد کن ها و پمپ های حرارتی



- وسیله هایی برای انتقال حرارت از محیط سرد به محیط گرم.
- در واقع هر دو یک وسیله هستند با دو کاربرد متفاوت:
- هدف استفاده از سرد کن: نگه داشتن یک محیط سرد در یک دمای پایین
- هدف استفاده از پمپ حرارتی: نگه داشتن یک محیط گرم در یک دمای بالا

سرد کن ها و پمپ های حرارتی

- عملکرد سردکن ها و پمپ های حرارتی با تعریف ضریب عملکرد سنجیده می شود.

$$\text{COP}_R = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Cooling effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net.in}}} \rightarrow \text{کار ورودی}$$

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{\text{Heating effect}}{\text{Work input}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net.in}}}$$

$$\text{COP}_{\text{HP}} = \text{COP}_R + 1 \quad \longrightarrow \quad \text{COP}_{\text{HP}} > 1$$

- این رابطه نشان می دهد که پمپ حرارتی در بدترین حالت ضریب عملکرد ۱ دارد و همان انرژی که به عنوان کار مصرف می کند به محیط خانه می دهد.

ظرفیت خنک کنندگی

- عبارتست از شدت جذب گرما از فضای سرد شده
- اغلب به صورت تن تبرید بیان می شود
- یک سیستم تبرید که بتواند یک تن (1 ton=2000 lbm) آب مایع در 0°C را به یخ 0°C در مدت زمان ۲۴ ساعت تبدیل کند دارای ظرفیت **یک تن تبرید** می باشد.
- یک تن تبرید معادل 211 kJ/min می باشد.

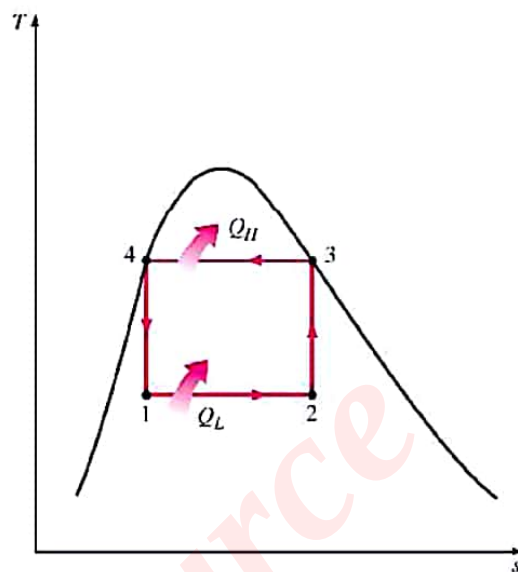
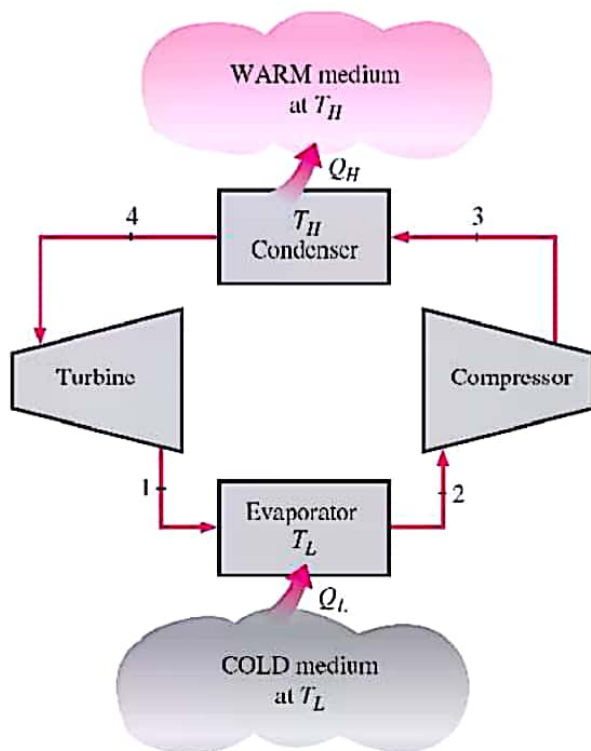
چرخه معکوس کارنو

- از آنجایی که این چرخه کاملاً بازگشت پذیر می باشد، تمام چهار فرآیند آن می تواند معکوس شود.
- در نتیجه معکوس کردن این سیکل، **سیکل معکوس کارنو** بدست می آید که کاراترین چرخه سردکن بین دو سطح دمای معین می تواند باشد.
- سرد کن یا پمپی که بر اساس این چرخه کار کند را **سرد کن کارنو** یا **پمپ حرارتی کارنو** می نامند.

$$\text{COP}_{\text{R,Carnot}} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

$$\text{COP}_{\text{HP,Carnot}} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

شکل یک سردکن کارنو



7

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

مشکلات استفاده از چرخه معکوس کارنو

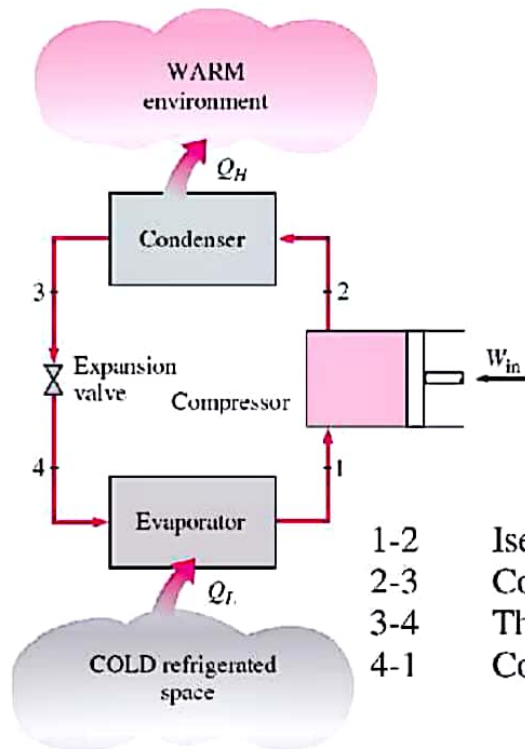
- با وجود اینکه دو فرآیند همدم قابل دستیابی است اما:
 - ❌ فرآیند ۲-۳ که یک فرآیند تراکم مخلوط آب- بخار است نیازمند یک کمپرسور است که در دو فاز کار کند.
 - ❌ فرآیند ۱-۴ نیز یک فرآیند انبساط مبرد با مقدار مایع بالا می باشد.
- ✓ پس سیکل معکوس کارنو را در وسایل واقعی نمی توان بکار برد اما به عنوان یک معیار مقایسه قابل استفاده می باشد.
- ✓ با تبخیر مبرد به طور کامل قبل از تراکم و استفاده از یک شیر انبساط به جای توربین می توان مشکلات بالا را حل کرد و به **سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار** رسید.

8

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار

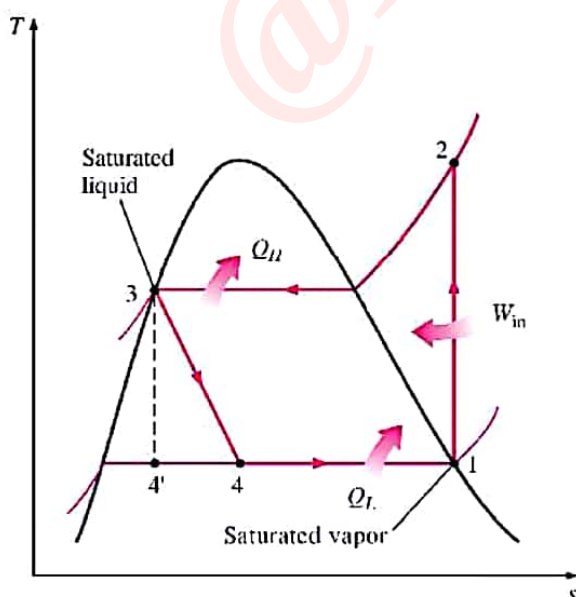


• این چرخه وسیع ترین کاربرد را در یخچالها، سیستم های تهویه هوا و پمپ های حرارتی دارد.

• شامل ۴ فرآیند زیر است:

- 1-2 Isentropic compression in a compressor
- 2-3 Constant-pressure heat rejection in a condenser
- 3-4 Throttling in an expansion device
- 4-1 Constant-pressure heat absorption in an evaporator

سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار



• مبرد در حالت ۱ به صورت بخار اشباع وارد کمپرسور می شود و به صورت ایزنتروپیک تا فشار کندانسور متراکم می شود. (حالت ۲)

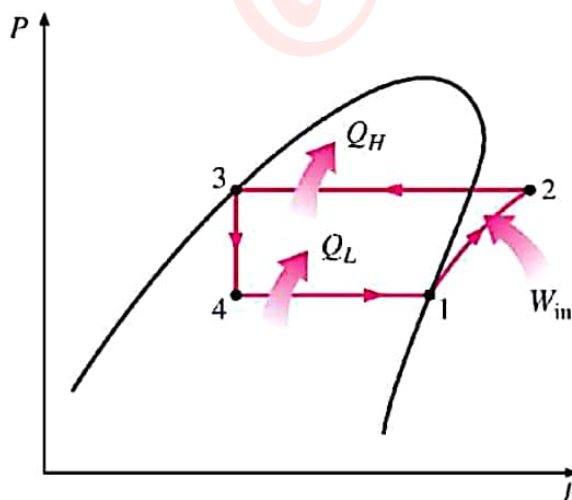
• در کندانسور حرارت را به محیط گرم می دهد و به صورت مایع اشباع آن را ترک می کند. (حالت ۳)

• با عبور از شیر انبساط به فشار اواپراتور می رسد (حالت ۴) و در اواپراتور با گرفتن گرما از محیط سرد کاملاً تبخیر شده و به حالت ۱ می رسد.

سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار

- این سیکل بازگشت پذیر داخلی **نیست**. زیرا شامل یک فرآیند بازگشت ناپذیر (خفکان در شیر انبساط) است.
- با در نظر گرفتن فرآیند خفکان سیکل مدل واقعی تری برای سیکل تبرید تراکمی بخار می باشد.
- اگر به جای شیر انبساط از یک توربین ایزنتروپیک استفاده شود در شکل اسلاید قبل به جای فرآیند ۴-۳، فرآیند ۴'-۳ را خواهیم داشت که باعث افزایش ظرفیت تبرید نیز می شود اما پیچیدگی استفاده از چنین توربینی مقرون به صرفه نیست.

نمودار P-h سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار



- میزان انتقال حرارت در کندانسور و اواپراتور متناسب با طول خطوط مربوط به هر فرآیند است.

معادلات مربوط به سیکل ایده آل تبرید تراکمی بخار

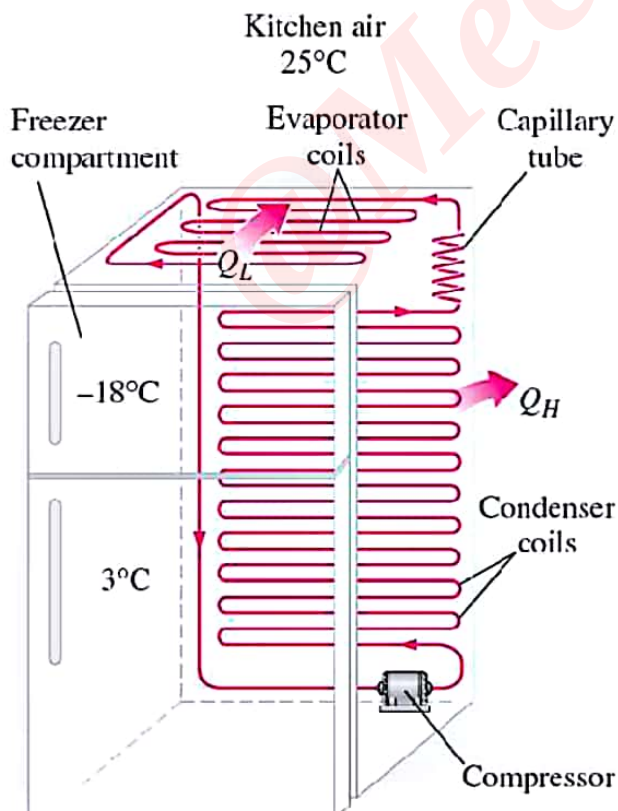
- تمام چهار فرآیند در وسایل جریان پایدار اتفاق می افتند، لذا هر ۴ فرآیند را به عنوان فرآیندهای جریان پایدار تحلیل می کنند.
- معادله انرژی جریان یکنواخت بر مبنای واحد جرم

$$(q_{in} - q_{out}) + (w_{in} - w_{out}) = h_e - h_i$$

- هیچ نوع کاری در کندانسور و اواپراتور نداریم.
- کمپرسور آدیاباتیک در نظر گرفته می شود.
- COP برای سرد کن ها و پمپ های حرارتی که بر اساس این چرخه کار میکنند:

$$COP_R = \frac{q_L}{w_{net,in}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP_{HP} = \frac{q_H}{w_{net,in}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$



یخچال خانگی

- محفظه سرد کننده درون یخچال نقش اواپراتور دارد.
- لوله های مارپیچ پشت یخچال نقش کندانسور دارد.

یک قاعده سرانگشتی A rule of thumb

به ازای هر درجه سانتی گراد که دمای اواپراتور افزایش یا دمای کندانسور کاهش یابد، ضریب عملکرد حدود ۲ تا ۴ درصد افزایش می یابد.

سیکل واقعی تبرید تراکمی بخار

- به دلیل بازگشت ناپذیری هایی که در اجزای مختلف وجود دارد بین سیکل های واقعی و ایده آل تفاوت وجود دارد.
- دو منبع اصلی بازگشت ناپذیری:
 - اصطکاک سیال (باعث افت فشار می شود)
 - تبادل حرارت با محیط

تفاوت های سیکل ایده آل و واقعی

- مبرد در ورود به کمپرسور برای اطمینان از عدم وجود مایع، به صورت بخار فوق گرم باید باشد.
- افت فشار و انتقال حرارت در لوله مابین اواپراتور و کمپرسور قابل توجه است.
- در نتیجه مافوق گرم شدن، گرفتن حرارت در طول لوله رابط، افت فشار در اواپراتور و لوله رابط **افزایش حجم مخصوص** و در نتیجه **افزایش توان ورودی کمپرسور** را خواهیم داشت.

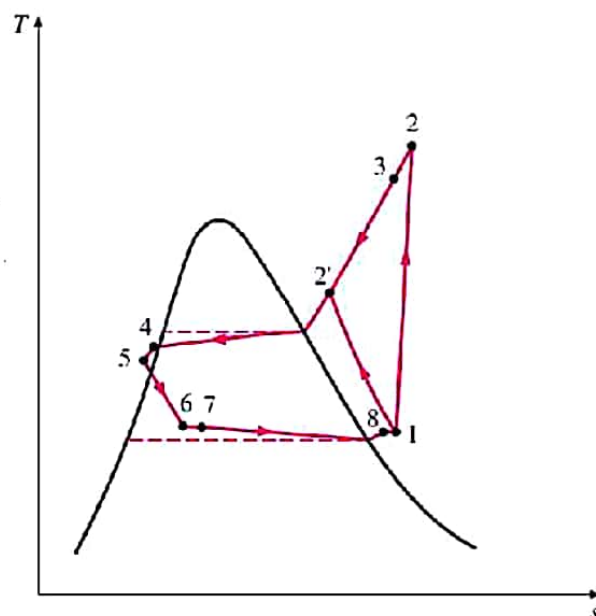
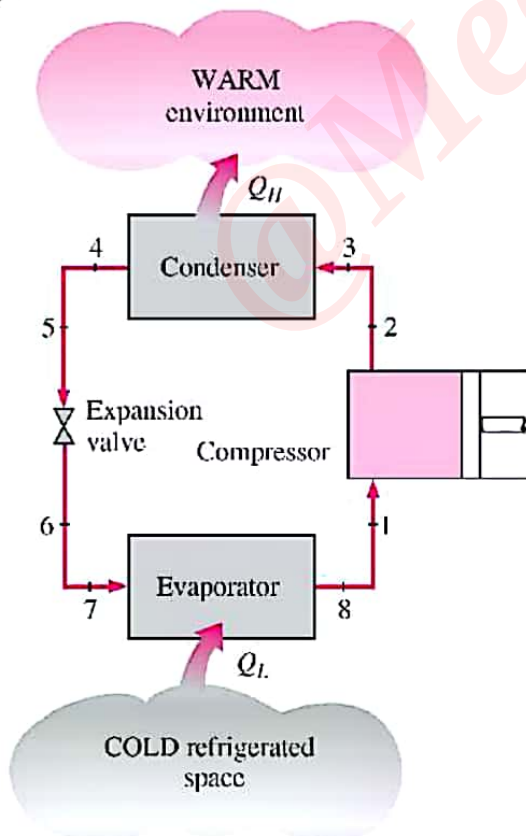
تفاوت های سیکل ایده آل و واقعی

- فرآیند تراکم واقعی ممکن است **افزایش یا کاهش آنتروپی** داشته باشد زیرا اصطاک باعث افزایش آنتروپی می شود.
 - انتقال حرارت که ممکن است کاهش یا افزایش آنتروپی را به همراه داشته باشد.
- ✓ در صورتی که کاهش آنتروپی داشته باشیم مطلوب تر از فرآیند ایزنتروپیک خواهد بود.

تفاوت های سیکل ایده آل و واقعی

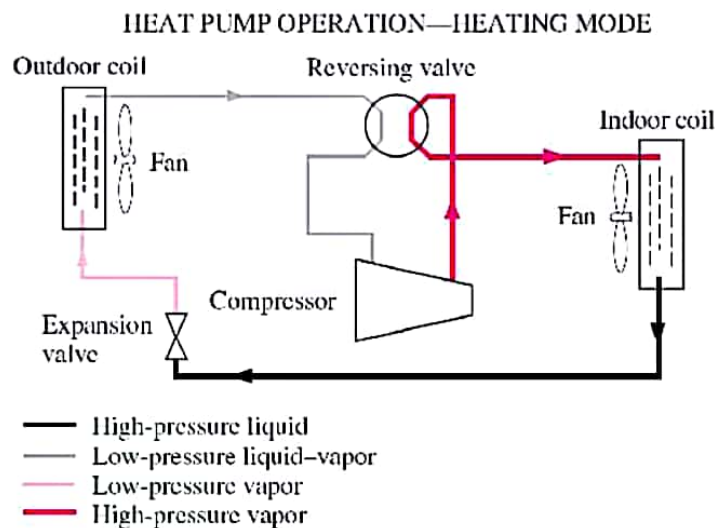
- افت فشار در کندانسور و لوله های رابط بین کمپرسور، کندانسور و شیر انبساط اجتناب ناپذیر است.
- مبرد باید در ورود به شیر انبساط به صورت مایع سرد شده باشد. این عمل حتی باعث افزایش گرمای جذب شده در اواپراتور نیز می شود که مطلوب است.
- افت فشار در لوله رابط بین شیر انبساط و اواپراتور بسیار کم و قابل اغماض است.

سیکل واقعی تبرید تراکمی بخار



سیستم پمپ های حرارتی

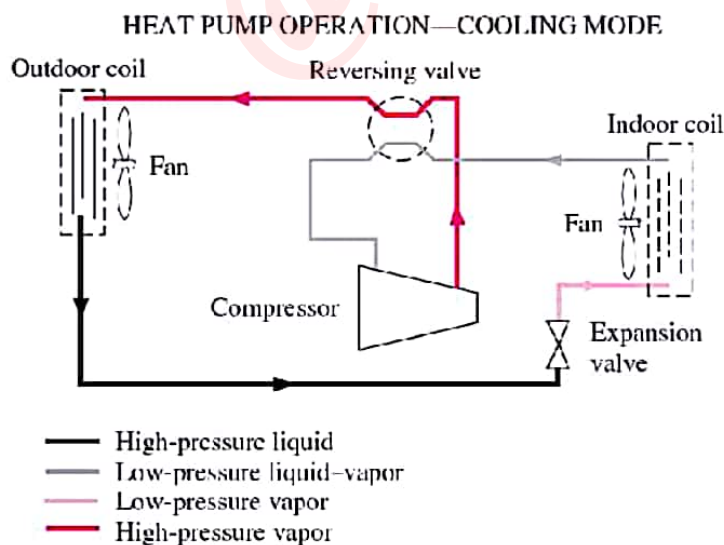
- پمپهای حرارتی قابلیت بکارگیری در دو حالت گرم کننده و سردکننده را دارند.



شکل روبرو یک پمپ حرارتی را در حالت کارکرد گرم کنندگی نشان می دهد.

سیستم پمپ های حرارتی

- شکل پمپ حرارتی با سیکل معکوس برای کارکرد سرد کنندگی



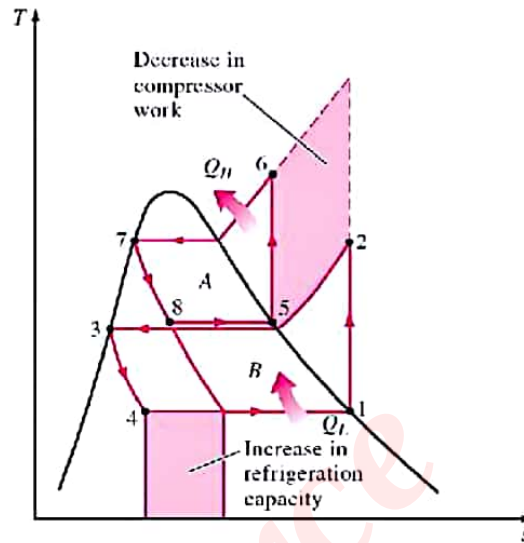
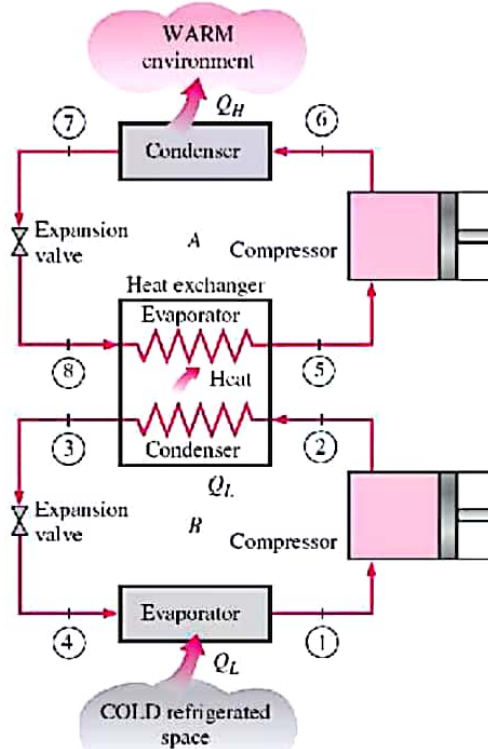
سیستم های تبرید تراکمی بخار جدید

- سیستم های تبرید مرکب
- سیستم های تبرید تراکمی چند مرحله ای
- سیستم تبرید چند منظوره با یک کمپرسور
- میعان گازها

سیستم های تبرید مرکب

- محدوده دمایی بزرگ در سیکل های صنعتی و نیز عملکرد ضعیف کمپرسور رفت و برگشتی باعث رو آوردن به تبرید چند مرحله ای را ایجاد می کند.
- چنین چرخه های تبریدی، چرخه های تبرید مرکب نامیده می شوند.
- چرخه های موجود در یک سیستم مرکب با استفاده از مبدل حرارتی به یکدیگر متصل می شوند.

سیستم تبرید مرکب دو مرحله ای



25

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

معادلات مربوط به سیستم تبرید مرکب دو مرحله ای شکل قبل

- با توجه به ارتباطی که بین دو سیکل وجود دارد نسبت جریان های جرمی به طریق زیر بدست می آید.

$$\dot{m}_A(h_5 - h_8) = \dot{m}_B(h_2 - h_3) \longrightarrow \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_B} = \frac{h_2 - h_3}{h_5 - h_8}$$

- ضریب عملکرد از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\text{COP}_{\text{R,cascade}} = \frac{\dot{Q}_L}{\dot{W}_{\text{net,in}}} = \frac{\dot{m}_B(h_1 - h_4)}{\dot{m}_A(h_6 - h_5) + \dot{m}_B(h_2 - h_1)}$$

- از نمودار شکل قبل مشاهده می شود که کار کمپرسور کاهش و مقدار گرمای جذب شده از فضای سرد افزایش یافته است که در نتیجه COP افزایش می یابد.

26

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

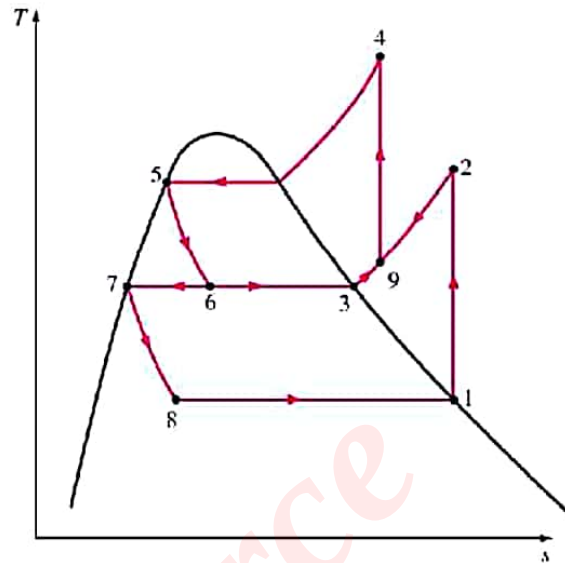
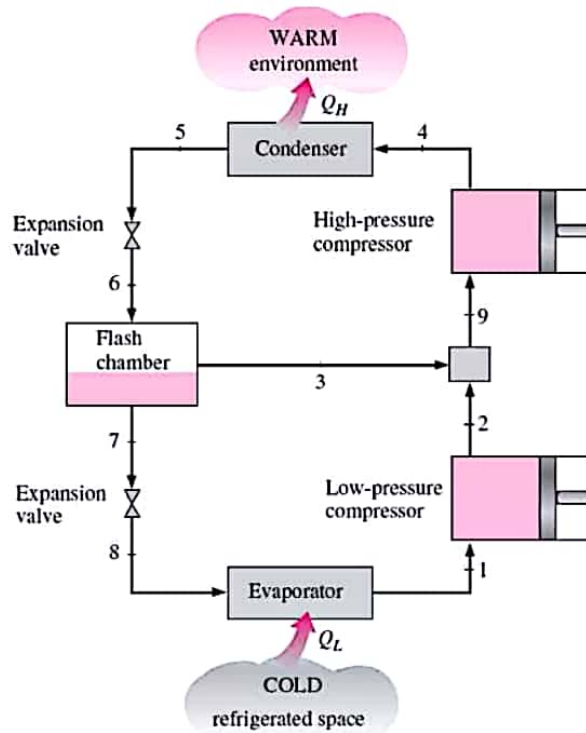
سیستم های تبرید تراکمی چند مرحله ای

- اگر سیال مورد استفاده در کل سیکل مرکب یکسان باشد، می توان به جای استفاده از مبدل حرارتی از محفظه اختلاط استفاده نمود. (انتقال حرارت بهتر)
- چنین سیستمی تبرید تراکمی چند مرحله ای نام دارد.
- فرآیند تراکم در این سیکل، یک فرآیند تراکم دو مرحله ای خواهد بود که باعث کاهش کار کمپرسور خواهد شد.

سیستم های تبرید تراکمی چند مرحله ای

- در سیستم نشان داده شده در شکل، مبرد مایع در اولین شیر انبساط، تا فشار محفظه پاشش انبساط می یابد. بخاری که در این فرآیند بوجود می آید (حالت ۳) با بخاری که از کمپرسور فشار پایین می آید (حالت ۲) مخلوط می شود و وارد کمپرسور فشار بالا می شود. (حالت ۹)
- مایع اشباع (حالت ۷) نیز در شیر انبساط دوم منبسط می شود و به طرف اواپراتور می رود.

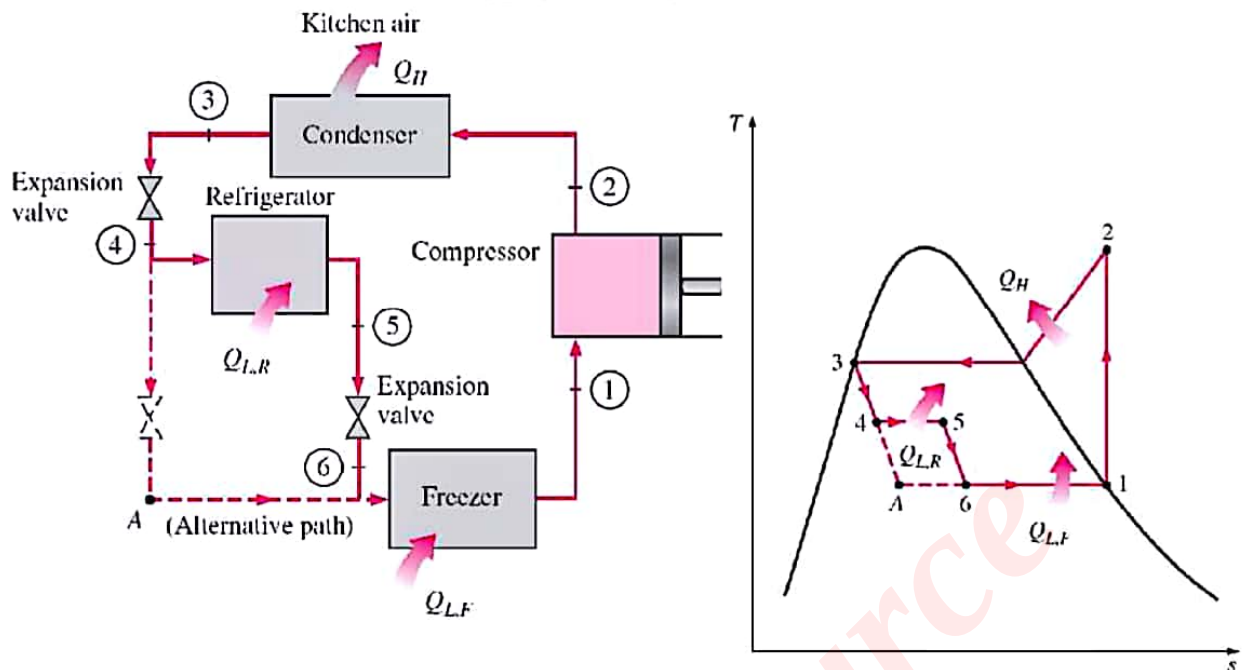
یک سیستم تبرید تراکمی دو مرحله ای با محفظه پاشش



سیستم تبرید چند منظوره با یک کمپرسور

- بعضی از کاربردها به تبرید در بیش از یک دما نیاز دارند.
- در این سیستم ها، تمامی جریان هایی که از اواپراتورهای بیرون می آیند را به یک کمپرسور هدایت کرده تا فرآیند تراکم صورت پذیرد.
- یخچال-فریزر نمونه ای از این سیستم ها می باشد که فضای یخچال در دمای بالاتری نسبت به فضای فریزر قرار دارد.

سیستم تبرید چند منظوره با یک کمپرسور مربوط به یک یخچال-فریزر



31

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

میعان گازها

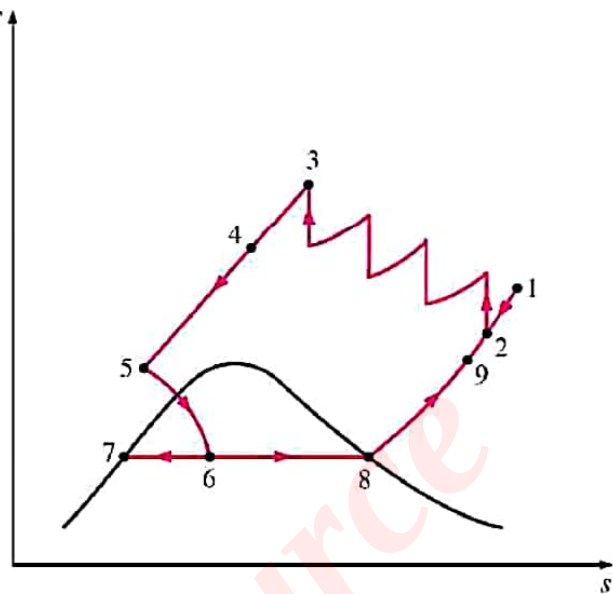
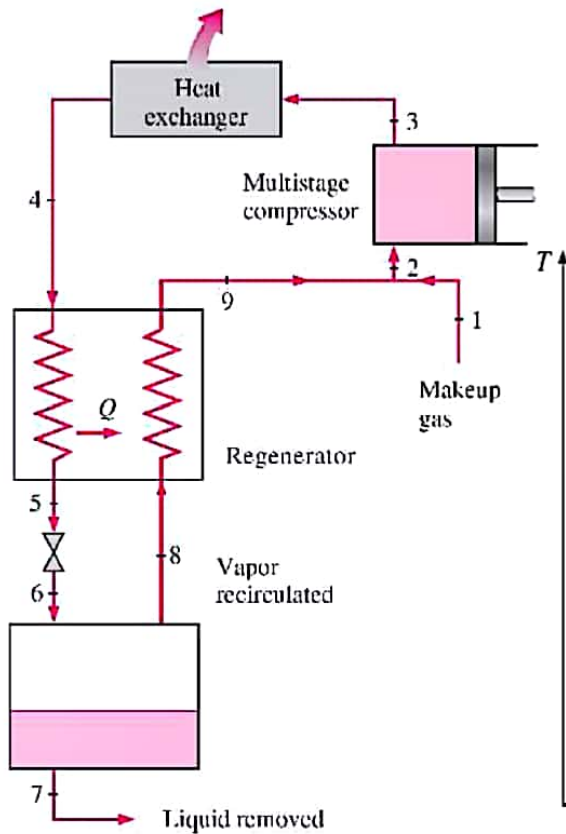
- بسیاری از فرآیندهای مهندسی در دمای کریوژنیک (دماهای بسیار پایین) بستگی به گازهای میعان یافته دارند.
- یک ماده در دمای بالاتر از دمای بحرانی تنها در فاز گازی وجود دارد. پس برای داشتن حالت مایع ماده‌هایی نظیر هلیوم (دمای بحرانی -268°C) و نیتروژن نیاز به دماهای بسیار پایین داریم.
- دماهای بسیار پایین با روش‌های معمولی تبرید حاصل نمی‌شوند و نیاز به چرخه‌های متفاوتی است.
- چرخه لیند-همپسون یک نمونه از این چرخه‌ها می‌باشد.

32

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

دستگاه لیند-همپسون برای میعان گازها



33

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیکل های تبرید گازی

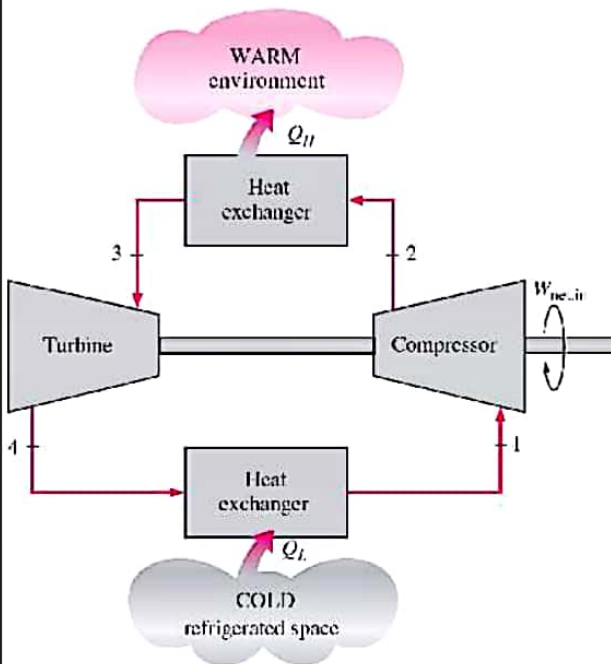
- همانطور که با معکوس کردن سیکل کارنو، معیاری برای سیکل های تبرید به دست می آید، سایر سیکل های توانی نیز با معکوس کردن می توانند به عنوان سیکل های تبرید به کار روند.
- سیکل تبرید تراکمی بخار معکوس سیکل رانکین اصلاح شده می باشد.
- سردکن های استرلینگ بر مبنای چرخه معکوس استرلینگ کار میکنند.
- سیکل تبرید گازی در واقع سیکل برایتون معکوس می باشد.

34

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیکل ساده تبرید گازی



• شامل ۴ فرآیند برگشت پذیر داخلی است:

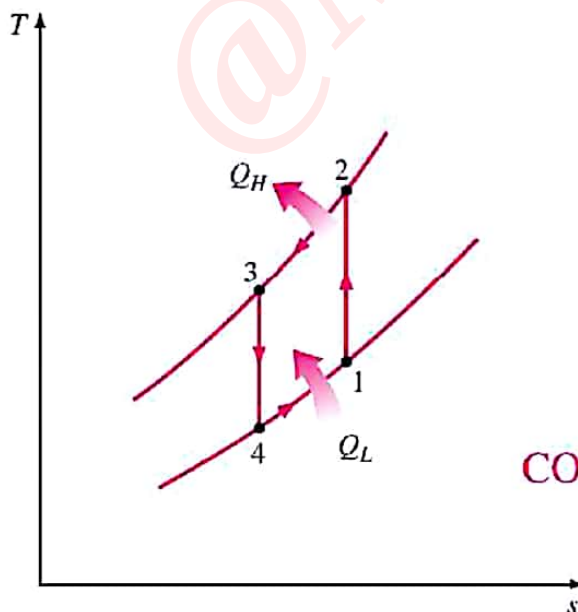
- ۱-۲ فرآیند تراکم گاز
- ۲-۳ حرارت دادن به محیط در فشار ثابت
- ۳-۴ انبساط آیزنتروپیک تا دمای T_4
- ۴-۱ گرفتن حرارت از فضای سرد

35

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیکل ساده تبرید گازی



$$q_L = h_1 - h_4$$

$$w_{\text{turb,out}} = h_3 - h_4$$

$$w_{\text{comp,in}} = h_2 - h_1$$

$$\text{COP}_R = \frac{q_L}{w_{\text{net,in}}} = \frac{q_L}{w_{\text{comp,in}} - w_{\text{turb,out}}}$$

36

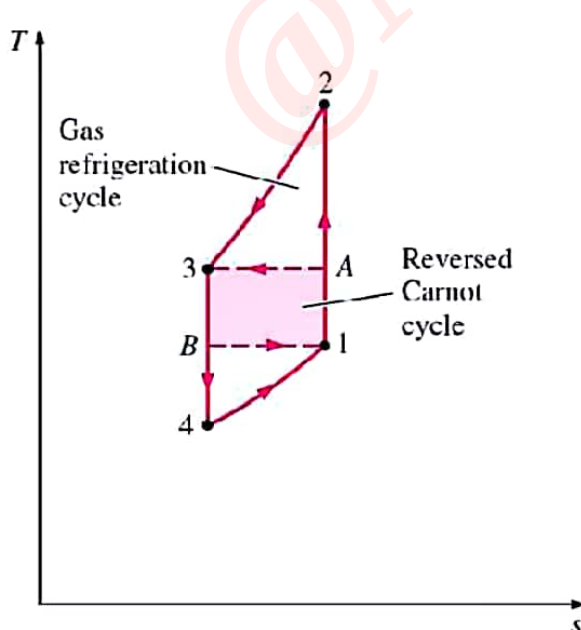
K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

- از آنجا که دما در طی فرآیند انتقال حرارت در سیکل های تبرید گازی تغییر می کند، COP این سیکل ها نسبت به سیکل کارنو و سیکل تبرید تراکمی بخار کمتر است.

- مزیت سیکل های تبرید گازی:
 - دارای اجزا ساده و سبک می باشند که برای خنک کردن هواپیما مناسب می باشند.
 - می توانند با بازیاب همراه شوند تا برای میعان گازهای و کاربردهای کریوژنیک مناسب می باشند.

مقایسه بین سیکل تبرید گازی و سیکل معکوس کارنو

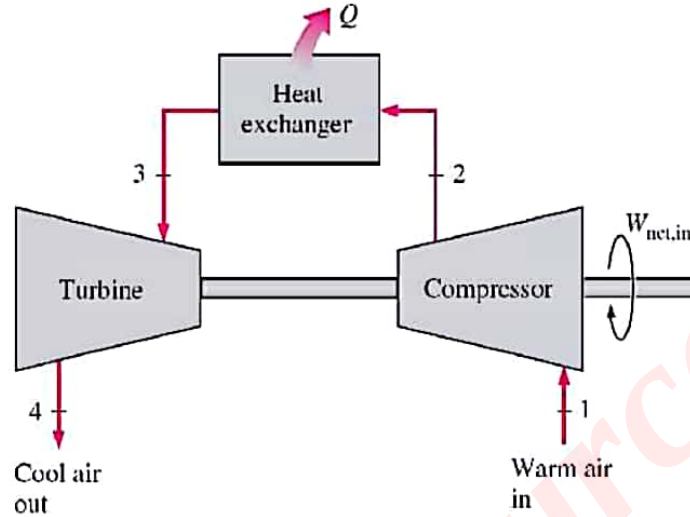


- سیکل معکوس کارنو
 - ☑ تبرید بیشتری ایجاد میکند (سطح زیر B1)

- ☑ کار کمتری مصرف میکند (سطح 3A2)

سیستم خنک کننده هواپیما

- در یک چرخه باز عمل می کند.
- هوای اتمسفری بوسیله کمپرسور فشرده می شود و سپس بوسیله هوا خنک می شود و در یک توربین انبساط می یابد. این هوای خنک وارد کابین می شود.

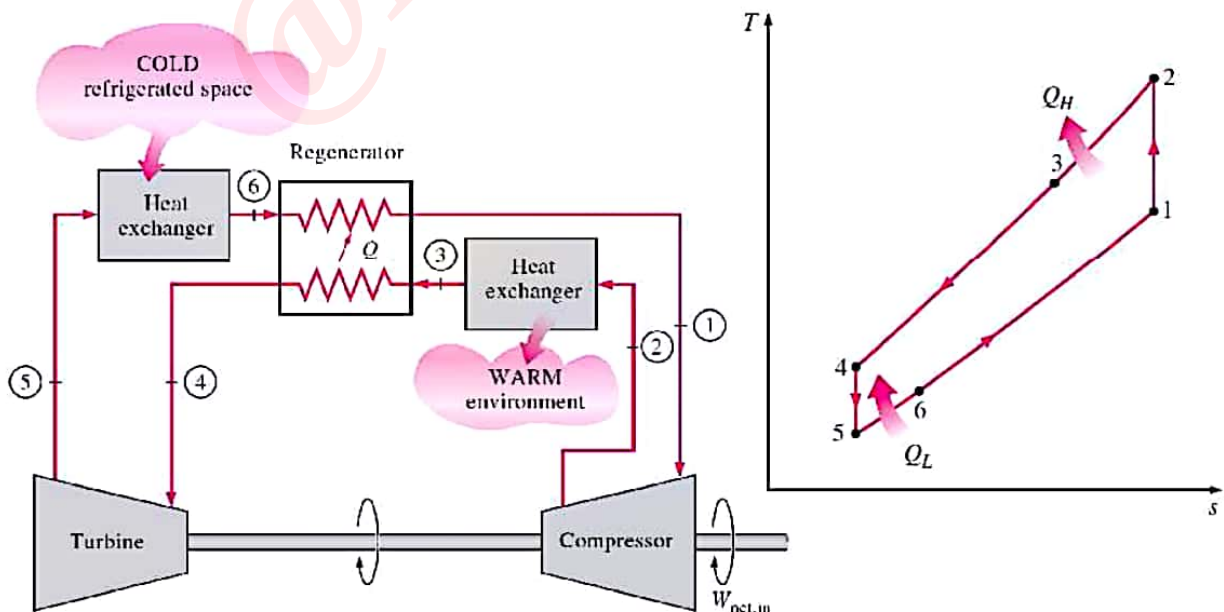


39

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیکل تبرید گازی با بازیاب



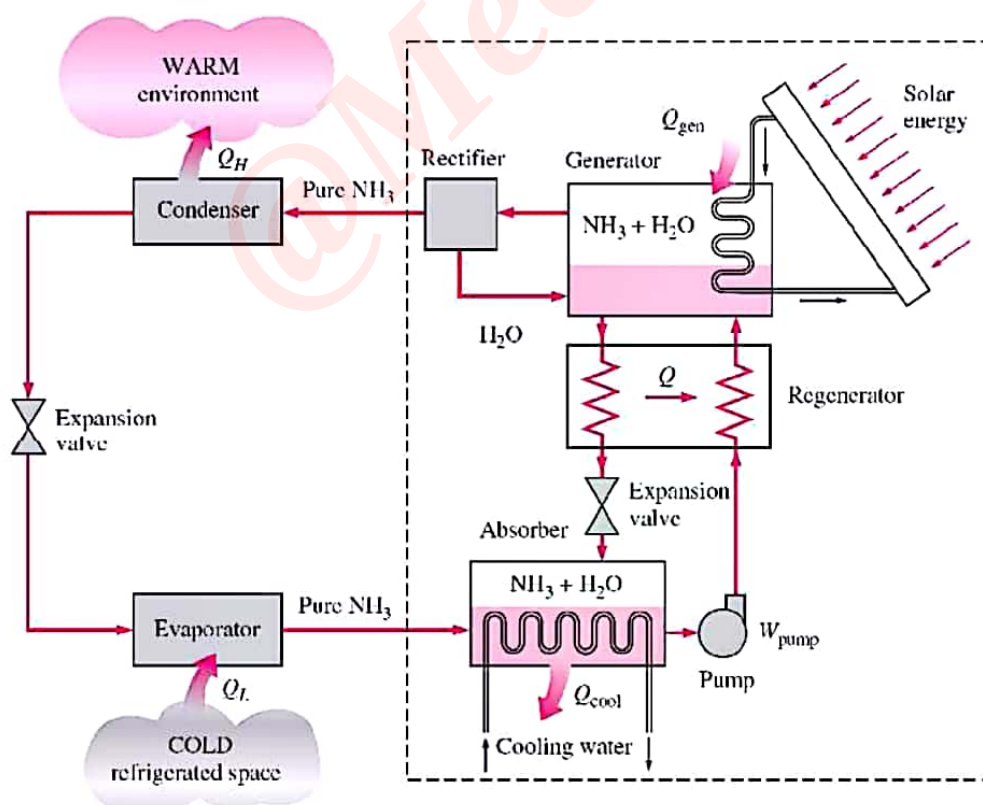
40

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

سیستم های تبرید جذبی

- در صورت وجود یک منبع ارزان انرژی در دمای ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد، سیستم تبرید جذبی بسیار اقتصادی و مناسب خواهد بود.
- منابع انرژی ارزان مانند: انرژی خورشیدی، انرژی گرمایی زمین (geothermal)، انرژی تلف شده در نیروگاه های بخار و حتی گاز طبیعی در صورتی که به قیمت ارزان در دسترس باشد.
- سیستم های تبرید جذبی شامل جذب کننده یک ماده مبرد به وسیله یک واسط انتقال می باشند.
- معمولترین سیستم تبرید جذبی سیستم آب- آمونیاک است که در آن آمونیاک به عنوان مبرد و آب به عنوان واسطه انتقال عمل میکند.
- سیستم های آب- لیتیم برومید و آب- لیتیم کلرید که آب به عنوان مبرد در آن ها عمل می کند نیز محدود به کاربردهای تهویه مطبوع می باشند.



سیستم تبرید جذبی

سیستم تبرید جذبی آب-آمونیاک

- بخار آمونیاک پس از ترک اواپراتور، در جذب کننده (Absorber) با آب واکنش شیمیایی داده و NH_3H_2O تولید می کنند.
- طی واکنش آب با آمونیاک گرما آزاد میشود که برای سرد کردن ابزوربر از آب خنک کننده استفاده میشود تا میزان آمونیاکی که آب جذب میکند افزایش یابد.
- محلول آب آمونیاک به ژنراتور پمپ می شود و در آنجا با گرما دادن بخار تولید شده و با عبور این بخار از یک جدا کننده، بخار آب به ژنراتور باز گردانده شده و بخار آمونیاک وارد کندانسور میشود.
- در کندانسور آمونیاک حرارت خود را از دست می دهد و با عبور از یک شیر انبساط وارد اواپراتور میشود.

سیستم های تبرید جذبی

- مزیت اصلی سیستم های تبرید جذبی:
✓ به جای بخار، یک مایع فشرده می شود که کار ورودی کمتری نیاز دارد.
- این سیستم های حجیم، پیچیده و گرانند و در صورتی که یک منبع انرژی در حال تلف شدن باشد (یا انرژی ارزان در دسترس باشد) از لحاظ اقتصادی قابل رقابت با سایر سیستم ها هستند.
- چون نیاز به یک منبع حرارت خارجی دارند به عنوان سیستم های با محرک گرمایی طبقه بندی می شوند.

↓
heat-driven systems

COP سیستم های جذبی

- برای یک سیستم تبرید جذبی واقعی:

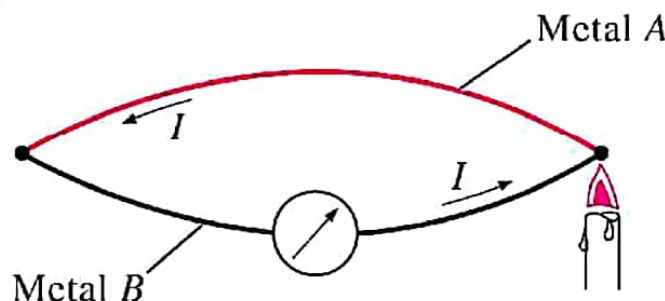
$$\text{COP}_{\text{absorption}} = \frac{\text{Desired output}}{\text{Required input}} = \frac{Q_L}{Q_{\text{gen}} + W_{\text{pump.in}}} \cong \frac{Q_L}{Q_{\text{gen}}}$$

- در صورتی که طی ملاحظات سیستم تبرید جذبی بازگشت پذیر در نظر گرفته شود برای حداکثر ضریب عملکرد داریم:

$$\text{COP}_{\text{rev,absorption}} = \frac{Q_L}{Q_{\text{gen}}} = \eta_{\text{th,rev}} \text{COP}_{\text{R,rev}} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) \left(\frac{T_L}{T_0 - T_L}\right)$$

ترموالکترونیک

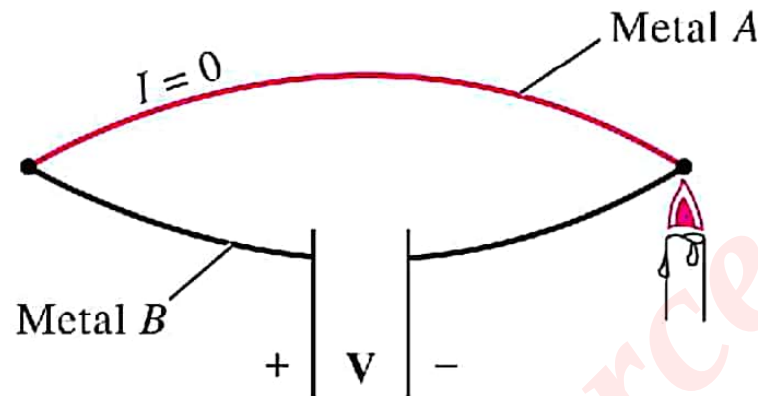
- اثر سیبک (Seebeck): وقتی دو سیم در دو انتها به یکدیگر متصل شده باشند و یکی از دو انتها گرم شود، یک جریان الکتریکی پیوسته درون مدار ایجاد خواهد شد.



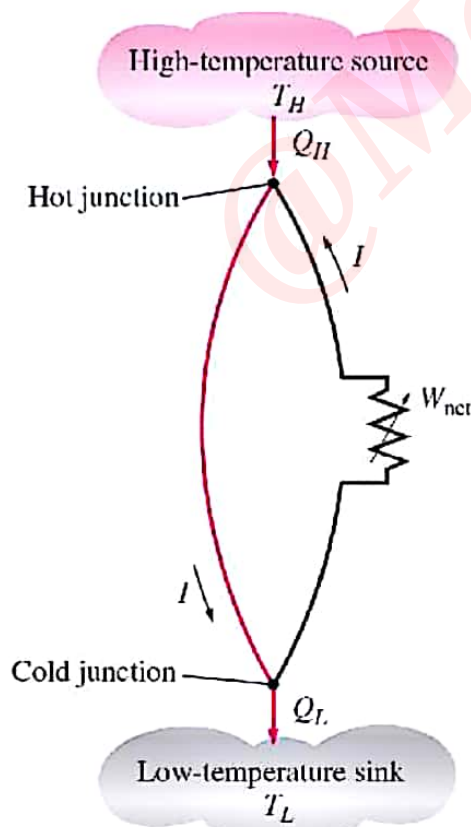
- مداری که تاثیرات الکتریکی و گرمایی با هم داشته باشد مدار ترموالکترونیک و دستگاهی که تحت این مدار کار کند را دستگاه ترموالکترونیک می نامند.

کاربرد اثر سبیک: اندازه گیری دما

- اندازه گیری دما: در صورتی مدار ترموالکتریک قطع شود، اختلاف پتانسیل بوجود آمده تابعی از دما خواهد بود که **ترموکوپل** ها بر همین اساس دما را اندازه گیری می کنند.



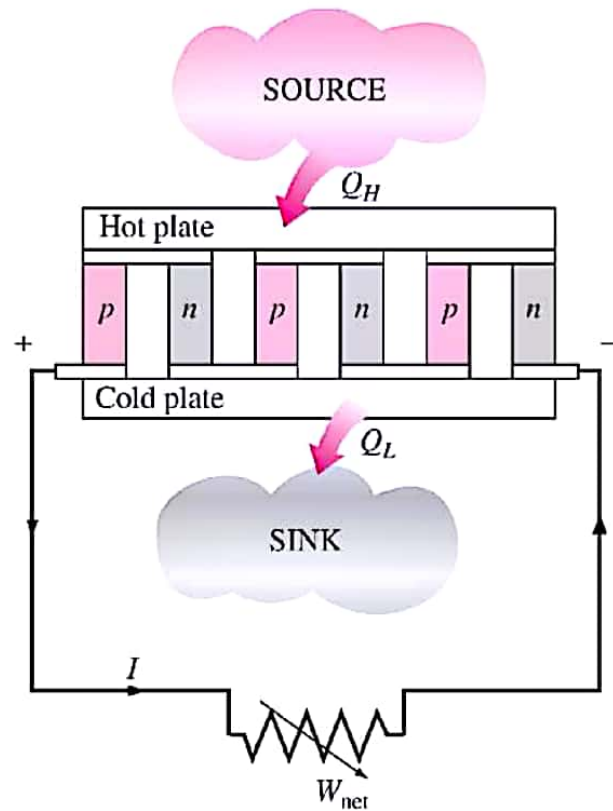
کاربرد اثر سبیک: تولید توان



- با گرفتن حرارت از یک منبع گرم و دادن حرارت به منبع سرد، تفاوت این دو مقدار توان الکتریکی تولید شده خواهد بود.

- می توان گفت الکترون ها در اینجا نقش سیال عامل در موتور حرارتی را ایفا میکنند.

- در غیاب هر نوع بازگشت ناپذیری مولد ترموالکتریک بازده کارنو خواهد داشت.



یک مولد توان
ترموالکتریک

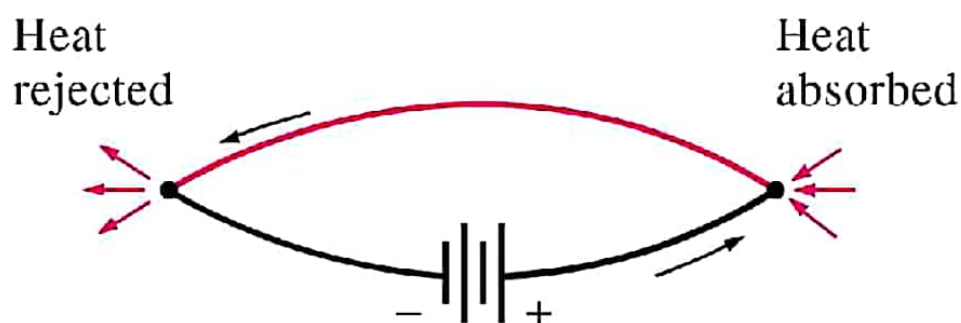
49

K. N. Toosi University of Technology

Thermodynamics II

اثر پلیر (Peltier)

- پلیر کشف کرد که: وقتی جریان کوچکی از اتصال دو سیم غیر همجنس عبور کند، اتصال سرد می شود.
- اثر پلیر اساس تبرید ترموالکتریکی است.



50

K. N. Toosi University of Technology

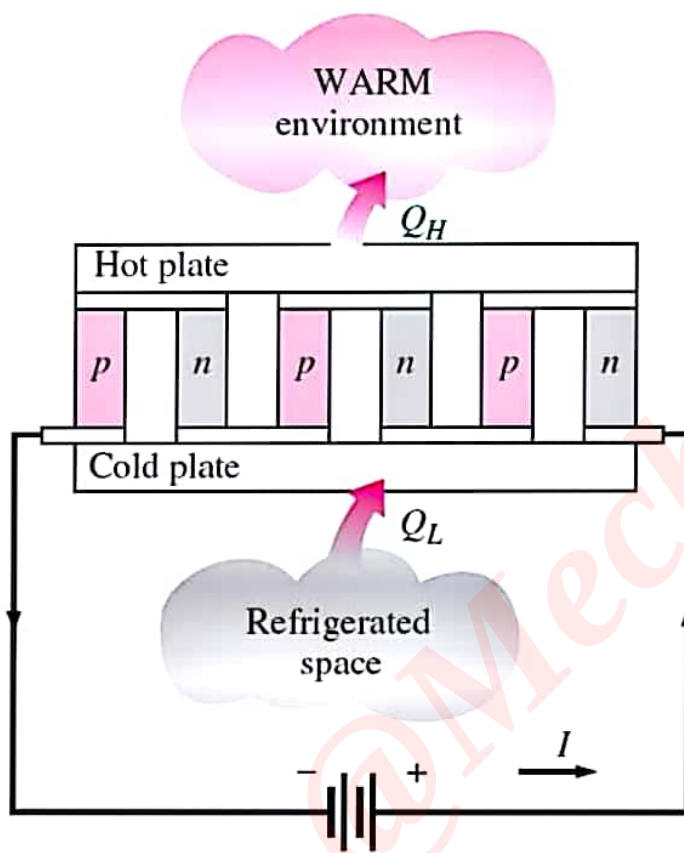
Thermodynamics II

یک سرد کن ترموالکتریکی

- با گرفتن انرژی الکتریکی حرارت را از فضای سرد به فضای گرم منتقل میکند.

- ضریب عملکرد این سرد کن ها پایین است.

- به سبب کوچکی اندازه، سادگی و بی صدا بودن در مواردی ارجح می باشند.



(ماده خالص)

کاربردی دارد و به صورت مایع

پاراکریستالین، ماده خام، ماده‌ای است که در ترکیب شیمیایی ثابت مانند آب

ماده‌ای خالص می‌تواند در فازهای مختلف وجود داشته باشد (ماده جامد، مایع، گاز) تاکنون سیستم‌هایی

را بررسی کرده‌ایم که صرفاً از یک ماده‌ای خالص تشکیل شده بود، اما مقدار زیادی از سیستم‌های آمورف یا پلی

سازم مخلوط مواد خالص هستند

ابتدا در مورد مخلوط‌های نیاز داریم صحبت می‌کنیم که تأثیری برهم ندارند. در حالت واقعی در فشارهای بالا

به علت تأثیر مولکول‌های اطراف بر یکدیگر این فرض صحیح نیست.

مخلوط ما می‌تواند ماده‌ای خالص فرض کرد اگر خواص آن همگن باشد.

مخلوط‌های ایده‌آل (Mixture of ideal gases)

فرض کنیم که یک مخلوط گازی تشکیل شده از N جزء داشته باشیم (به ماده‌ای خالص مختلف)

$$\text{جرم کل مخلوط} = m_1 + m_2 + \dots = \sum_{j=1}^n m_j$$

$$\text{تعداد مول} = \sum_{j=1}^n n_j$$

$$\text{نسبت جرم هر جزء به جرم کل} = G_i = \frac{m_i}{\sum_{j=1}^n m_j} = \frac{m_i}{m_{\text{کل}}}$$

$$\text{نسبت مول هر جزء به مول کل} = y_i = \frac{n_i}{\sum_{j=1}^n n_j} = \frac{n_i}{n_{\text{کل}}}$$

$$C_i = \frac{m_i}{m_{tot}} = \frac{\overset{\text{تعداد مول}}{n_i} M_i}{\sum n_i M_i} \quad \text{هم مولی} \quad \frac{\div n_{tot}}{\div n_{tot}} \quad \frac{y_i \mu_i}{\sum z_j \mu_j}$$

$$y_i = \frac{\frac{n_i}{\mu_i m_{tot}}}{\sum \frac{n_j}{\mu_j m_{tot}}} = \frac{C_i / \mu_i}{\sum C_j / \mu_j}$$

برای برخی مخلوط‌ها مانند هوا با توجه به کم‌تر شدن ویاز جدول‌های خواص ترمودینامیکی وجود دارد ولی اگر نخواهیم برای مخلوطی خاص، خواص را بدست آوریم باید یک سری روابط که ارتباط خواص اجزا را به خاصیت کل مخلوط برقرار می‌کند - داشته باشیم.

خواص جزئی مولی (partial molar properties)

خواص هر یک از اجزا بر واحد مول در شرایط مخلوط (مختلط) برای آنالیز مخلوط‌ها

- ۱- مدل دالتن (Dalton model)
- ۲- مدل آمالگات (Amagat)

مدل دالتن - فرض: خواص هر گاز برابر است با آن گاز اگر آن گاز به تنهایی در همان حجم و دمای مخلوط قرار داشته باشد.



ما فرض گاز ایده آل

$$P_A V = n_A R T \Rightarrow n_A = \frac{P_A V}{R T}$$

$$P_B V = n_B R T \Rightarrow n_B = \frac{P_B V}{R T}$$

$$n_{tot} = n_A + n_B$$

}

$$n_{tot} = \frac{P_A V + P_B V}{R T}$$

فرض دوم: تاثیر دما داریم

$$P V = n_{tot} R T$$

$$\Rightarrow n_{tot} = \frac{P_{tot} V}{R T}$$

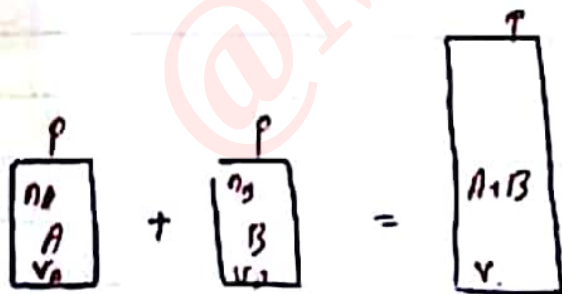
$$\Rightarrow \left\{ P_{tot} = P_A + P_B \right\} \Rightarrow \frac{P_A}{P_{tot}} + \frac{P_B}{P_{tot}} = 1$$

بنابراین برای مخلوط گازها، فشار مخلوط گاز برابر مجموع فشارهای اجزای گازهای تشکیل دهنده مخلوط است

توجه: عبارت فشار جزئی فقط برای گازهای ایده آل است در واقع فرض بدین است که مولکولهای

هر گاز تحت تاثیر گازهای دیگر قرار نمی گیرند.

دلیل آماری: فرض: خواص هر گاز در مخلوط برابر خواص آن گاز در فشار و دمای مخلوط می باشد.



فرض دوم: گاز ایده آل است

$$n_A = \frac{P_A V}{R T}$$

$$n_B = \frac{P_B V}{R T}$$

$$n_{tot} = \frac{P_{tot} V}{R T}$$

}

$$\Rightarrow \left\{ V_A + V_B = V_{tot} \right\} \Rightarrow \frac{V_A}{V_{tot}} + \frac{V_B}{V_{tot}} = 1$$

فرض دوم

Subject:

Year:

Month:

Date:

$$\frac{V_A}{V_{tot}} = \frac{P_A}{P_{tot}} = \frac{n_A}{n_{tot}} = y_A \quad \text{گاز}$$

در محاسبه خواص ترمودینامیکی بیشتر از مدل حالت گسسته استفاده می شود، در مورد گاز ایده آل حول

انرژی داخلی و انتالپی فقط تابع دما می باشد

$$U = n \bar{u} = n_A \bar{u}_A + n_B \bar{u}_B$$

$$H = n \bar{h} = n_A \bar{h}_A + n_B \bar{h}_B$$

آنترپبی گاز ایده آل تابع فشار و دما می باشد و کمی متفاوت است

	y_i	M_i	m_i
CO_2	0.08	44	3.52
H_2O	0.11	18	1
O_2	0.07	32	1.98
N_2	0.74	28	2.24

محاسبه کنید، 1- وزن مولکولی مخلوط

2- ثابت گاز مخلوط

3- جزء جرمی متغیر $\frac{m_i}{m_{tot}}$

$$M_{mix} = \frac{\sum y_i M_i}{\sum y_i} = \frac{28.46}{1} \text{ kg/kmol}$$

$$R_{mix} = \frac{\bar{R}}{M_{mix}} = \frac{8.314}{28.46} = 0.292 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

Subject:

Year:

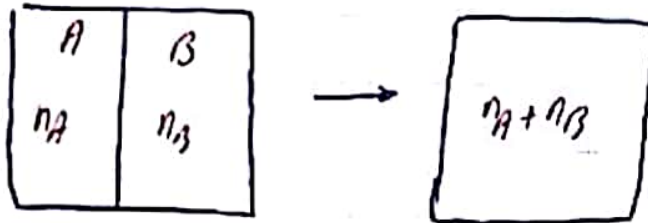
Month:

Date:

()

مثال: ۱ مول از گاز A و ۱ مول از گاز B با هم در یک ظرف قرار داده می شود. حجم ثابت آریابانند

مخلوط می شود، افزایش آنتروپی ناشی از این فرایند بدست آورید



در حالت

$$ds = \bar{C}_p \frac{dT}{T} - \bar{R} \frac{dP}{P} \rightarrow \bar{S}_2 - \bar{S}_1 = \int_1^2 \bar{C}_p \frac{dT}{T} - \bar{R} \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$\frac{P_{2A}}{P_{1A}} = \frac{n_A}{n_{tot}} = y_A \rightarrow P_{2A} = y_A P_{tot}$$

$$\rightarrow \bar{S}_{2A} - \bar{S}_{1A} = -\bar{R} \ln \frac{y_A P_{tot}}{P_{1A}} = -\bar{R} \ln y_A$$

$$\bar{S}_{2B} - \bar{S}_{1B} = -\bar{R} \ln y_B$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 = -\bar{R} (n_A \ln y_A + n_B \ln y_B) = -\bar{R} (\ln y_A^{n_A} y_B^{n_B})$$

Subject: _____

Year. _____ Month. _____ Date. _____ ()

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

در سیستم داریم

$$Tds - pdv = du$$

اگر برکت پذیر باشد داریم $\delta Q = Tds$ ، $\delta W = pdv$ پس داریم

$$\rightarrow Tds = du + pdv$$

این رابطه چنانچه با این ضوابط است پس در همه جا برقرار است

$$\frac{P}{T} = \frac{R}{v}$$

$$\leftarrow du = C_v dT, \quad p v = RT$$

با فرض گاز ایده آل

$$\rightarrow ds = \frac{du}{T} + \frac{p}{T} dv = \frac{C_v dT}{T} + \frac{R}{v} dv$$

$$\int ds = \int \frac{C_v dT}{T} + R \int \frac{dv}{v}$$

اگر برکت پذیر باشد

$$\rightarrow S_2 - S_1 = \int C_v \frac{dT}{T} + R \ln \frac{v_2}{v_1}$$

$$Tds = du + pdv$$

$$h = u + pv \rightarrow dh = du + pdv + vdp$$

$$\rightarrow du + pdv = dh - vdp$$

$$\rightarrow Tds = dh - vdp$$

$$\text{با فرض گاز ایده آل} \quad dh = C_p dT \quad \frac{R}{P} = \frac{v}{T}$$

$$\div T \quad ds = \frac{dh}{T} - \frac{v}{T} dp = \frac{C_p dT}{T} - \frac{R}{P} dp$$

$$\rightarrow S_2 - S_1 = \int C_p \frac{dT}{T} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

اگر برکت پذیر باشد

در مدل دالتون فرض می کنیم حجم ثابت است و هر جز مخلوط کل حجم را اشغال کرده است.

در مدل آمالت فرض می کنیم هر جز مخلوط با فشار معادل با فشار مخلوط ولی با حجم متفاوت وجود دارد

و در مدل مدل دمای مخلوط و دمای اجزاء با هم برابر است.

مخلوط بخار و گاز : در اینجا گاز را در دمای مافوق بحرانی فرض می کنیم بنابراین در معوضه مایع

قرار نمی گیریم و بخار در محدوده دمای اشباع است و امکان صیقل برای آن مطرح است

مقدار اولی که از مخلوط گاز بخار : مخلوط بخار آب است. در اینجا یک مدل ساده از مخلوط بخار آب و هوا

برای یک فرضیات زیر ارائه می گردد. 1- گاز مایع مذکور حل شده در هوا است

ترمودینامیک

2- گاز را با گاز ایده آل مدل می کنیم 3- گنداضفه (مایع) و بخار در حالت تعادل

یعنی فشار جزئی بخار آب همان فشار آب در دمای مخلوط باشد.

تغایر سطح برای مخلوط هوا- بخار آب

1- نقطه شبنم (Dew point) : دمای است که هوا یا بخار آب در فشار ثابت تا آن که رسوب شود

چگالش بخار شروع می شود. در فشار 1 atm برای هوا فشار بخار آب در دمای 0.02 atm است

2- دمای اشباع (saturated air) : همان زمانی که بخار موجود در آن در حالت اشباع و دمای اشباع باشد هوای اشباع می نامند.

3. رطوبت نسبی (Relative humidity) (ϕ) : نسبت رطوبت آب (شماره در حال) به رطوبت اشباع P_g

جول: نقطه آلودگی آلودگی در فضا $0 < \phi = \frac{P_v}{P_g} \times 100 < 100$

$P_v V_v = RT$ و $P_g V_g = RT$ — $\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{V_g}{V_v}$

4. نسبت رطوبت (رطوبت مطلق به جرم هوای خشک) $W = \frac{m_v}{m_{air}}$

$P_v V = m_v R_v T_v \rightarrow m_v = \frac{P_v V_v}{R_v T_v}$ $m_{air} = \frac{P_{air} V_{air}}{R_{air} T_{air}}$

$\rightarrow W = \frac{P_v \cdot R_{air}}{P_a R_v}$ or $W = 0.622 \frac{P_v}{P_a}$ $P_{tot} = P_v + P_{air}$

$\rightarrow W = 0.622 \frac{P_v}{P_{tot} - P_v}$

مسئله: 1. اتاقی داریم به ابعاد $5 \times 5 \times 3 \text{ m}^3$ و دمای هوا 25°C و فشار مطلق 100 kPa و رطوبت نسبی

75٪ است. مطلوب است: الف) دمای نسبی ب) نسبت رطوبت W

ج) فشار جزئی هوای خشک د) جرم هوای خشک و جرم بخار آب در اتاق

$\phi = \frac{P_v}{P_g} \times 100 = 0.75$ $T = 25^\circ\text{C} \xrightarrow{\text{Sat}} P_g = 3.169 \text{ kPa} \rightarrow P_v = 2.38 \text{ kPa}$

$P_v = 2.38 \xrightarrow{\text{B.1.2}} T_{sat} = \text{دمای نسبی} = T_{dp} = 20.2^\circ\text{C}$ @ P_v

$P_v + P_{air} = 100 \text{ kPa} \rightarrow P_{air} = 100 - 2.38 \text{ kPa} = 97.62 \text{ kPa}$

2000 $\rightarrow W = 0.622 \frac{P_v}{P_{air}} = 0.015$

Subject:

Year. Month. Date. ()

$$m_{air} = \frac{P_{air} V}{RT} = 85.61 \text{ kg}$$

جرم هوای خشک

$$m_v = \frac{P_v V}{RT} = 1.3 \text{ kg}$$

$$m v_1 = m v_2 + m_l \xrightarrow{\div m_a} w_1 = w_2 + \frac{m_l}{m_a}$$

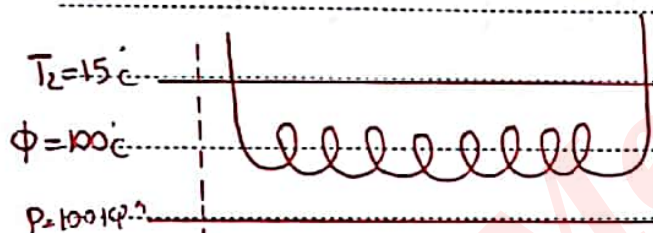
$$m_l = m_a (w_1 - w_2) \quad w = 0.622 \frac{P_{v2}}{P_{tot} - P_{v2}}$$

$$w_2 = 0.622 \frac{0.8721}{100 - 0.8721} \quad P_{v2} = 0.8721 \text{ kPa} \leftarrow P_{v2} = P_{sat} @ 5^\circ \text{ است پس } T_2$$

$$\rightarrow 85.61 \text{ kg}$$

$$w_2 = 0.0055$$

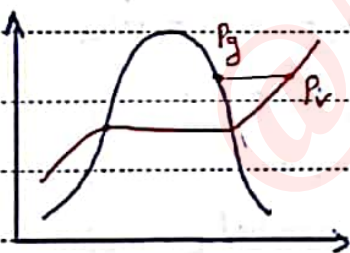
$$m_l = m_a (0.015 - 0.0055) = 0.083 \text{ kg}$$



$$T_1 = 30^\circ \text{C} \quad \dot{V} = 10 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}$$

$$\phi = 80\% \quad P_1 = 105 \text{ kPa}$$

طوبه است. این جرم آب به قطره در هوا و حرارت انتقالی



$$\text{برای هوا} \quad \dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2}$$

$$\text{آب} \quad \dot{m}_{v1} = \dot{m}_{v2} + \dot{m}_{l3}$$

$$\rightarrow \frac{\dot{m}_{v1}}{\dot{m}_a} = \frac{\dot{m}_{v2}}{\dot{m}_a} + \frac{\dot{m}_{l3}}{\dot{m}_a} \rightarrow \dot{m}_{l3} = \dot{m}_a (w_1 - w_2)$$

$$\text{برای هوا} \quad P_v = m R T \rightarrow P \dot{V} = \dot{m} R T \quad \phi_1 = \frac{P_{v1}}{P_{g1}} \rightarrow 0.8 = \frac{P_{v1}}{P_{g1} = P_{sat} @ 30^\circ}$$

$$\rightarrow 0.8 = \frac{P_{v1}}{4.246 \text{ kPa}} \rightarrow P_{v1} = 3.4 \text{ kPa} \quad P_{air} = P_{tot} - P_{v1} \rightarrow P_{air1} = 105 - 3.4$$

2000

$$\rightarrow P_{air} = 101.6 \text{ kPa}$$

$$P_{air} \dot{V}_1 = \dot{m} R T \rightarrow \dot{m}_a = 11.68 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$W = 0.622 \frac{P_v}{P_{tot} - P_v} \begin{cases} W_1 = 0.622 \times \frac{3.4}{105 - 3.4} = 0.0208 \frac{\text{kg water}}{\text{kg air}} \\ W_2 = 0.622 \times \frac{P_{v2}}{P_{tot} - P_{v2}} \end{cases}$$

$$T_2 = 15^\circ \rightarrow P_{v2} = P_g(15^\circ) = 1.705 \text{ kPa} \rightarrow W_2 = 0.0108$$

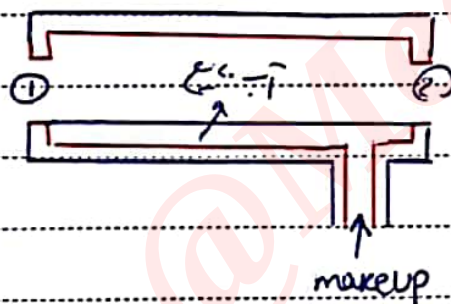
$$X = 1$$

$$\rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_a (W_1 - W_2) = 0.114 \frac{\text{kg}}{\text{min}}$$

$$\dot{Q}_{cv} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{W}_{cv} + \sum \dot{m}_o h_o$$

$$\dot{Q}_{cv} + \dot{m}_a h_a + \dot{m}_{v1} h_{v1} = \dot{m}_{v2} h_{v2} + \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_L h_L (15^\circ \text{C})$$

$$\rightarrow \frac{\dot{Q}_{cv}}{\dot{m}_a} + h_{a1} + W_1 h_{v1} = W_2 h_{v2} + h_{a2} + (W_1 - W_2) h_L$$



روشنی به دست آورده شد

فرایند خنک و رطوبت زدایی

$$\phi = 100\%$$

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

$$\dot{m}_{v1} + \dot{m}_L = \dot{m}_{v2}$$

$$\rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_{v2} - \dot{m}_{v1}$$

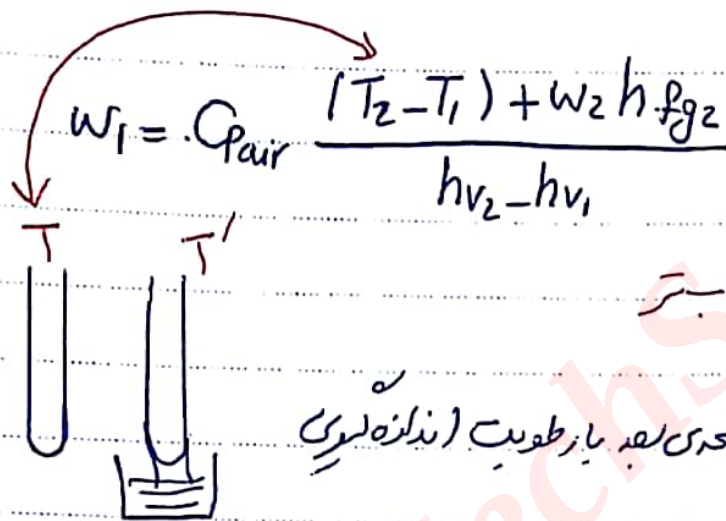
$$\rightarrow \dot{m}_L = \dot{m}_a (W_2 - W_1)$$

$$\cancel{\dot{Q}_{cv}} + \sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_o h_o + \cancel{\dot{W}_{cv}}$$

$$\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{v1} h_{v1} + \dot{m}_L h_L = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{v2} h_{v2} \xrightarrow{\div \dot{m}_a}$$

$$h_{a1} + W_1 h_{v1} + (W_2 - W_1) h_L = h_{a2} + W_2 h_{v2}$$

Date _____



این را هم

دمای جابجایی و دمای جابجایی

یکبار دما بین را بدولن، رطوبت و دمای بعد از رطوبت (اندازه گیری)

می کنند و دمای رطوبت $T - T'$ و $T_2 = T$

دما برای می بینی w_1 لازم نیست از جدول بالا استفاده کرد و می توان از جدول دما را استفاده کرد

۹۶، ۹، ۱۸

باقی مساوی : $\dot{m} a_1 = \dot{m} a_2 = \dot{m} a$

در آب : $\dot{m}_1 u_1 + \dot{m}_2 = \dot{m} u_2 \Rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m} u_2 - \dot{m} u_1 \Rightarrow \dot{m}_2 = \dot{m} a (w_2 - w_1)$

$\frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_a} = w_2 - w_1$

$w_2 = \frac{0.622 P_{v2}}{P_{t,2} - P_{v2}} \Rightarrow w_2$
 $T_2 \Rightarrow P_{v2} = P_g(T_2) \checkmark$

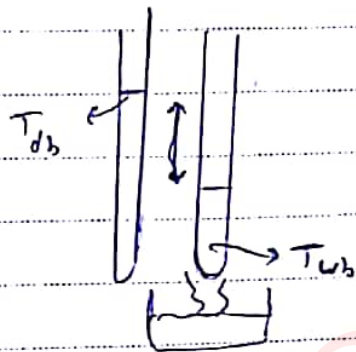
$\dot{Q}_{cu} + \sum \dot{m}_i h_i = \dot{Q}_{cu} + \sum \dot{m}_e h_e$

$\dot{m}_a h_{a1} + \dot{m}_{u1} h_{u1} + \dot{m}_a (w_2 - w_1) h_{f2} = \dot{m}_a h_{a2} + \dot{m}_{u2} h_{u2}$

$h_{a1} + w_1 h_{u1} + (w_2 - w_1) h_{f2} = h_{a2} + w_2 h_{u2}$

$\Rightarrow w_1 = \frac{C_p (T_2 - T_1) + w_2 h_{f2}}{h_{u2} - h_{f2}}$

دای بولب خشک و دای بولب تر

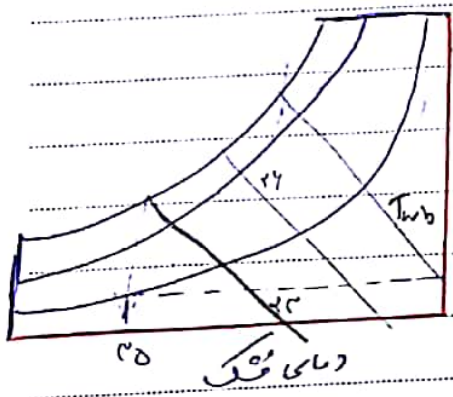


dry bulb = T_{db}

wet bulb = T_{wb}

۹۶، ۹، ۲۰

مثال / اتاقی را در نظر بگیرید که فشار هوای درون آن 100 kPa ، دمای هوا 35°C ، رطوبت نسبی $\phi = 60\%$ است.



- الف - رطوبت مخصوص w ؟
- ب - آنتالپی مخصوص ؟
- ج - دمای تر (T_{wb}) ؟
- د - دمای نقطه شبنم ؟

ب) از روی نمودار از نقطه متقاطع دمای 35°C با $\phi = 60\%$ مستقیم بالا می رویم تا به h برسیم (این نمودار ناقص هست)

$h = 90 \text{ kJ/kg}$

(ج) T_{wb} را از نمودار می‌خوانیم $T_{wb} = 23.7^\circ C$

(د) از روی نمودار $T_{dp} = 19.4$ دمای نقطه شبنم

۱۱. فصل سوم

(Thermodynamics relations)

روابط ترمودینامیکی

در فصول قبل جدول خواص ترمودینامیکی را معرفی نمودیم و به صورت گسترده از آن‌ها استفاده نمودیم.

سوال: این جدول چگونه تهیه می‌شوند؟ چگونه خواص معمول از تعدادی خواص مورد تعیین می‌شوند؟

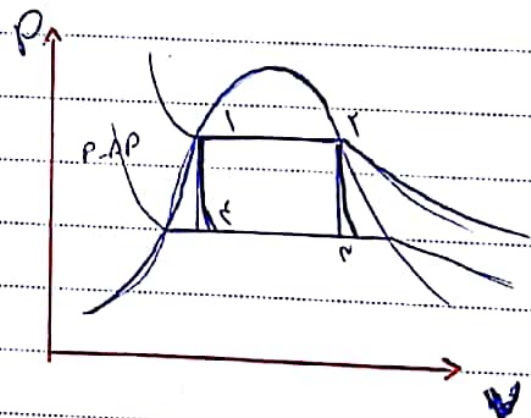
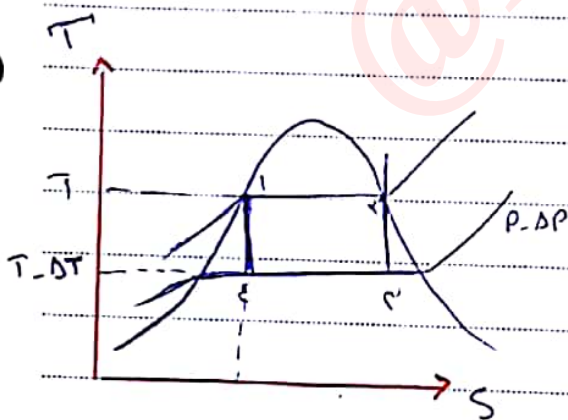
مستقیم اندازه‌گیری می‌شوند: T, P, v, m

انواع خواص: به سادگی از خواص قابل اندازه‌گیری مناسب می‌شوند: P, v

رابطه‌ای ساده برای مناسب آن‌ها وجود ندارد.

معادله کلایپرون (Clapeyron):

حالت: بررسی در دگرگشت می‌گیریم: ۱- تغییر خواص بین دو فاز و ۲- در یک فاز



* چنانچه از نمودارها مشاهده می‌شود، چهار متغیر T, S, P, v داریم:

$$q_H = T(s_2 - s_1) = T s_{fg}$$

$$q_L = (T - T_c)(s_2 - s_1) = (T - T_c)(s_{fg})$$

۹۲، ۹۸.

$$W = - \int_1^2 v dp - \int_2^3 v dp - \int_3^4 v dp - \int_4^1 v dp$$

$$= - \left(\frac{v_2 + v_1}{2} \right) \Delta P - \left(\frac{v_3 + v_4}{2} \right) \Delta P = \Delta P V_{fg}$$

چون اختلاف v_2 و v_1 کم است

$$q_H - q_L = W \Rightarrow T s_{fg} - (T - \Delta T) s_{fg} = \Delta P V_{fg}$$

$$\boxed{\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{s_{fg}}{V_{fg}}}$$

رابطه ریاضی برای یک فاز همگن:

$$① \quad x = f(y, z) \rightarrow dx = \left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z dy + \left(\frac{\partial x}{\partial z} \right)_y dz$$

$$② \quad y = f(x, z) \rightarrow dy = \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_z dx + \left(\frac{\partial y}{\partial z} \right)_x dz$$

$$③ \quad z = f(x, y) \rightarrow dz = \left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_y dx + \left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_x dy$$

$$dz = Mdx + Ndy \rightarrow \left(\frac{\partial M}{\partial y} \right)_x = \left(\frac{\partial N}{\partial x} \right)_y$$

هـ رابطه‌ی ④ و ④ را با یکدیگر می‌نویسیم

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

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

$$\left(\frac{\partial x}{\partial y} \right)_z = \frac{1}{\left(\frac{\partial y}{\partial x} \right)_z} \quad \text{آر جی ثابت باشد داریم: (رابطه متعکس)}$$

$$y = f(x) \rightarrow \frac{dy}{dx} = \frac{1}{\frac{dx}{dy}}$$

رابطه‌ی متعکس زمانی برقرار است که تمام متغیرها با هم

والرید متغیره بانه $\frac{\partial y}{\partial x} \neq \frac{1}{\frac{\partial x}{\partial y}}$ برقرار نخواهد بود.

مترادف: ح ثابت بانه.

والر $dx=0$ بانه داریم (رابطه چرخشی) $\left(\frac{\partial x}{\partial y}\right)_z \left(\frac{\partial y}{\partial z}\right)_x \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)_y = -1$

روابط ماکسول: این روابط معادلاتی هستند که مشتقات خردی خواص S, v, T, p را برای یک

سیستم ساده ترانم پذیریم به هم ربط می دهند.

$$\begin{cases} du = Tds - pdv \\ dh = Tds + vdp \end{cases}$$

با توجه به اینکه این روابط علاوه بر ds, dh, dv تشریح دارند، قابل اندازه گیری نیستند پس برای

دست آوردن S مناسب نیستند پس؛ برای روابط ترمودینامیکی

الف) تابع هلمهولتز $Helmholtz$: $a = u - Ts$

$$da = \underbrace{du}_{-pdv} - Tds - SdT \rightarrow da = -pdv - SdT$$

ب) تابع گیبس $Gibbs$:

$$g = h - Ts$$
$$dg = \underbrace{dh}_{vdp} - Tds - SdT \rightarrow dg = vdp - SdT$$

حال چنانچه y را رابطه را روابط گیبس بوییم

$$\begin{cases} du = Tds - pdv \\ dh = Tds + vdp \\ da = vdp - SdT \\ dg = -pdv - SdT \end{cases}$$

چون دیتالین کا مل ہند ہیں داریم :

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

$$\left(\frac{\partial T}{\partial p}\right)_s = \left(\frac{\partial v}{\partial s}\right)_p$$

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

$$\left(\frac{\partial s}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v$$

و روابط دیگر را نیز برقرار نوشتیم مثلاً :

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

مثال : اعتبار رابطہ $\left(\frac{\partial v}{\partial T}\right)_p = -\left(\frac{\partial s}{\partial p}\right)_T$ را برای بنی رآب در شرایط دما 250°C و فشار

$$\left(\frac{\Delta v}{\Delta T}\right)_{300\text{ kPa}} \approx \left(-\frac{\Delta s}{\Delta p}\right)_{250^\circ\text{C}} \quad \text{300 kPa بر روی کنید}$$

$$\left[\frac{v(300) - v(200)}{300 - 200}\right]_{300\text{ kPa}} = -\left[\frac{s(400) - s(300)}{400 - 200}\right]_{250^\circ\text{C}} \quad \text{از جدول داریم :}$$

$$\Rightarrow 0.00165 = 0.00159 \rightarrow \text{رابطه حدود 14\% افتد را نیز داریم}$$

اعداد جیل حفظ نیستند

روابطی برای du ، dh و ds :

① تغییرات انرژی داخلی (Internal energy) فرض کنیم u تابعی از حجم و دما باشد :

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

$$S = S(T, v) \quad \text{دھڑین}$$

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

$$du = T ds - p dv \quad \text{دھڑین داسٹم}$$

$$\Rightarrow du = T \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_v dT + \left[T \left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T - p \right] dv = \underline{C_p} dT + \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T dv$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_v = C_p \rightarrow \left(\frac{\partial s}{\partial T} \right)_v = \frac{C_p}{T} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T \left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T - p = \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T \end{array} \right.$$

$$\left(\frac{\partial s}{\partial v} \right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \quad \text{دھڑین داسٹم}$$

$$\Rightarrow T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p = \left(\frac{\partial u}{\partial v} \right)_T$$

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

پس شکل داسٹم

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

$$\Rightarrow u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \int_{v_1}^{v_2} \left(T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v - p \right) dv$$

(2) تفسیر داسٹم: بروڈن مسابہ قبل رینال اثبات کر۔

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

$$\Rightarrow h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT + \int_{p_1}^{p_2} \left(v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right) dp$$

Subject _____

Date _____

$$S = S(T, v)$$

(3) تغییر انتروپی

$$dS = \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_v dT + \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T dv \quad \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_v = \frac{C_p}{T} \\ \left(\frac{\partial S}{\partial v}\right)_T = \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v \end{array} \right.$$
$$\rightarrow S_2 - S_1 = \int_{T_1}^{T_2} C_p \frac{dT}{T} + \int_{v_1}^{v_2} \left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_v dv$$

مثال: در محدوده کوچکی از فشار و دما معادله حالت یک ماده خاص با بقت فوقی با رابطه زیر داده شده در زیر

$$\frac{pv}{RT} = 1 - C' \frac{p}{T^4} \quad v = \frac{RT}{p} - \frac{C}{T^3} \quad \text{که } C \text{ و } C' \text{ اعداد است}$$

عبارت زیر برای تغییر انتروپی در این ماده را بدست آورید

$$h_2 - h_1 = \int_{p_1}^{p_2} \left(v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right) dp \quad \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p = -\frac{RT}{p^2} - \frac{3C}{T^4}$$
$$\rightarrow h_2 - h_1 = \int_{p_1}^{p_2} \left(\frac{RT}{p} - \frac{C}{T^3} + \frac{RT^2}{p^2} + \frac{3C}{T^3} \right) dp \quad \text{تحت } T$$

$$\Rightarrow h_2 - h_1 = -\frac{4C}{T^3} (p_2 - p_1)$$

محدوده تغییر انتروپی تغییر بدست می آید

استخراج جدول ترمودینامیکی برای نتایج تجربی:

۱- اطلاعات تجربی دمنده فشار - دمای اشباع

۲- فشار، حجم محلول در مدار دینامیکی یا (به این منظور یک محفظه سته حاوی مقدار مشخص ماده

که تماماً به محفظه گاز است در نظریه ترمودینامیکی یا سرد کردن آن فشار و دما آن تفسیر می‌گردد

ولی حجم محلول ثابت باقی می‌ماند. این کار را می‌توان برای حجم محلول‌های مختلف تکرار کرد

۳- خطای مایع اشباع و فشار و دمای بحرانی

۴- ترمای ویژه را می‌توان به کمک کاری متدی و یا روابط اسپلند و مگویی (طیف لینی) و ترمودینامیکی آماری بدست آورد

که با روش اطلاعات فوق می‌توان جدول خواص ترمودینامیکی مایع اشباع، بخار اشباع و بخار را

بدست آورد.

مراحل بدست آوردن جدول ترمودینامیکی

قدم اول: معادله فشار دما در حالت بخار اشباع با Curve fitting بدست می‌آید:

$$\ln P_{sat} = A - \frac{B}{T_{sat}} + C \ln T_{sat} + D T_{sat}$$

A, B, C, D ثابت هستند با استفاده از روش Curve fitting بدست می‌آیند.

قسم نهم: برپایه کراچ معادله‌ی حالت برای مایه‌ی باری (برای این راه حل P, V, T)

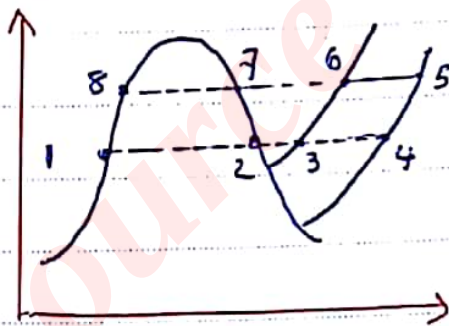
در مایه‌ی غوطه‌ور شده در تانک حجم مخصوص را بر حسب فشار و دما بدست آوریم.

قسم نهم: محاسبه‌ی انتالپی و انتروپی: با توجه به اینکه مقدار اختلاف این دو پارامتر اهمیت دارد

لذا برای نقطه‌ی ۵ در تانک معادله‌ی انتالپی و انتروپی را هم در نظر گرفت

$$\frac{dP_{sat}}{dT} = \frac{h_{fg} = h_g - h_f}{T(v_g - v_f)} \rightarrow h_{g,v}$$

$$s_{fg} = \frac{h_{fg}}{T} = \frac{h_g - h_f}{T} = s_g - s_f \rightarrow s_{g,v}$$



در حالت ۳ داریم:

$$dh = C_p dT + \left(v - T \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \right) dp \rightarrow h_{3,v}$$

$$ds = C_p \frac{dT}{T} - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_p dp \rightarrow h_{3,v}$$

برای نقطه‌ی ۴ نیز عیناً مانند ۳ عمل می‌کنیم و برای نقطه‌ی ۵ چون فشار و دما مشخص است

بین در تانک رفتار را در فرایند ۴ تا ۵ می‌توانیم با رابطه‌ی آدل در نظر بگیریم.

$$h_5 - h_4 = \int_4^5 C_p dT \rightarrow h_{5,v} \quad [s_5 - s_4]_p = - \int_4^5 C_p \frac{dT}{T} \rightarrow s_{5,v}$$

برای انرژی داخلی می‌توانیم داریم:

$$h = u + pv \rightarrow u = h - pv$$

رفتار گازها واقعی | Real gas behavior

یادآوری: برای گاز واقعی داریم $PV = ZRT$ که Z ضریب تراکم پذیری است و جدول آن بر این

$$P_r = \frac{P}{P_{cr}} \quad T_r = \frac{T}{T_{cr}} \quad \text{در کتاب آمده است}$$

از نمودار Z بر حسب P_r و T_r نتیجه می گیریم

1- اگر $P_r < 2$ در نتیجه $Z = 1$ یعنی در فشارهای کم میتوان بدون توجه به دما از زنی گاز ایده آل استفاده نمود

2- اگر $T_r > 2$ در نتیجه $P_r = 40$ یا 5 میتوان Z را از ایده آل زنی کرد و داریم $Z = 1$

3- اگر $T_r < 2$ و فشار بزرگ باشد رفتار گاز نسبت به رفتار گاز ایده آل انحراف دارد $Z \neq 1$ است

برای گاز واقعی ضریب معادله حالت داریم

$$P = \frac{RT}{v-b} - \frac{a}{v^2} \quad \text{معادله وان در والس (1873):}$$

در حالت فشار و دمای بحرانی حجم مولکول ها $\frac{1}{1000}$ حجم کل است ولی وقتی فشار و دما افزایش می یابد حجم مولکول ها

نسبت بزرگتری خواهند داشت با ضریب b نشان داده می شود و ضریب a نیز نیروی جاذبه بین مولکول را

نشان می دهد $\frac{a}{v^2}$ نیروی جاذبه بین مولکول ها

b حجم اشغال شده توسط مولکول ها

Subject

Date

نقطه بحرانی



تعیین دو ثابت موجود در این معادله بر اساس T_c

اینکه منحنی در این نقطه مماس افقی است، بدست

می آید.

$$\left(\frac{\partial P}{\partial v}\right)_{T_c, v_{cr}} = 0$$

$$\left(\frac{\partial^2 P}{\partial v^2}\right)_{T_c, v_{cr}} = 0$$

$$\Rightarrow a = \frac{27 R^2 T_c^2}{64 P_{cr}}, \quad b = \frac{R T_c}{8 P_{cr}}$$

معادله ردلیج و کوانت: در سال ۱۹۴۹ پیسنه درنگ، تحقیق ترلز معادله وال سولس

کے معادله حالت بنزنیک - وب - راسن BWR در سال ۱۹۴۵ پیسنه درنگ و بعداً اصلاحاتی

ندان صفت می کشد.

$$P = \frac{RT}{v} + \frac{RTB_0 - A_0 - C/T^2}{v^2} + \frac{RTb - a}{v^3} + \frac{a\alpha}{v^6} + \frac{c}{v^3 T^2} \left(1 - \frac{\gamma}{v^2}\right)^{-\frac{\gamma}{c v^2}}$$

Subject:

Year. Month. Date. ()

معادله ای برای p داریم...

$$p = \frac{RT}{v} + \frac{a(T)}{v^2} + \frac{b(T)}{v^3} + \frac{c(T)}{v^4} + \frac{d(T)}{v^5} + \dots$$

در اینجا a, b, c, d برای هر ماده و دما متفاوت است و به صورت تابعی از T بیان می شود.

a, b, c, d برای هر ماده و دما متفاوت است و به صورت تابعی از T بیان می شود.

مثال: فشار گاز نیتروژن در شرایط $T = 175 \text{ K}$ ، $v = 0.00375 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ را با استفاده از معادله ای برای p محاسبه کنید.

فشار گاز نیتروژن در شرایط $T = 175 \text{ K}$ ، $v = 0.00375 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$ را با استفاده از معادله ای برای p محاسبه کنید.

$$p = \frac{RT}{v} = 13860 \text{ (این)}$$

این گاز ایده آل است.

$N_2 \Rightarrow p_c = 3.39 \text{ MPa}$
 $A.2$
 $T_c = 126.7 \text{ K}$

ب. واندروالس

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

BWR (2)

$$v_c = 0.0878 \frac{\text{m}^3}{\text{kmol}}$$

$$a = \frac{27R^2T_c^2}{64p_c} = 0.175 \frac{\text{m}^6 \text{ kPa}}{\text{kg}^2}$$

$$\Rightarrow p = 2465 \text{ kPa}$$

$$b = \frac{RT_c}{8p_c} = 0.00138 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$p = \frac{RT}{v} = RTB_0 - \frac{A_0}{v^2} - \frac{C_0}{T^2} + \frac{RT(b-a)}{v^3} + \frac{a^2}{v^6} + \frac{c}{v^3 T^3} \quad (2)$$

$$\Rightarrow A_0 = 1.1725 \quad B_0 = 0.0458 \quad C_0 = 0.0002 \quad (1 + \frac{r}{v^2}) e^{-\frac{r}{v^2}}$$

2000

$$p = 10009$$

Subject:

Year:

Month:

Date:

$$Z = \frac{P_r T_r}{v_r} = 1 + \frac{B}{v_r} + \frac{C}{v_r^2} + \frac{D}{v_r^3} + \frac{C_4}{T_r^2 v_r^2} \left[\frac{B+r}{v_r} \right] \exp\left(\frac{-I}{v_r^2}\right)$$

Lee-Kesler

$$B = \frac{b_1}{T_r} - \frac{b_2}{T_r^2} - \frac{b_3}{T_r^3}$$

$$D = \frac{d_1 + d_2}{T_r}$$

P.3

$$C = \frac{c_1}{T_r} - \frac{c_2}{T_r^2} + \frac{c_3}{T_r^3}$$

$$v_r = \frac{v}{RT_c/P_c}$$

مقدار خواص ترمودینامیکی را می توان از این معادله بدست آورد

$$(h_2 - h_1)_T = \int_1^2 \left(v - \left(\frac{\partial v}{\partial T} \right)_P \right) dp$$

$$(u_2 - u_1)_T = \int_1^2 \left(T \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right) - p \right) dv$$

$$h_2 - h_1 = (u_2 - u_1) + (p_2 v_2 - p_1 v_1) = u_2 - u_1 + RT(z_2 - z_1)$$

$$\Rightarrow p = \frac{ZRT}{v} \Rightarrow \left(\frac{\partial p}{\partial T} \right)_v = \frac{ZR}{v} + \frac{RT}{v} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_v$$

$$u_2 - u_1 = \int_1^2 \frac{RT}{v} \left(\frac{\partial z}{\partial T} \right)_v dv$$

$$\xrightarrow{v = v_r \frac{RT_c}{P_c}} dT = T_c' dT_r$$

$$h_2 - h_1 = \int_1^2 \left(\frac{\partial h}{\partial T} \right)_P dT$$

$$\frac{dv}{v} = \frac{dv'}{v'} \quad \frac{dT}{T} = \frac{dT_r}{T_r}$$

$$\boxed{Y} \text{ YEKTA } \frac{1}{RT_c} (h_2 - h_1) = \int_1^2 \left(\frac{\partial z}{\partial T_r} \right) \frac{T_r^2}{v_r} dv_r'$$

در D.2 هم شده

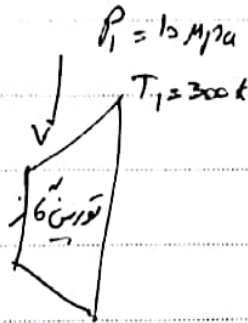
Subject:

Year:

Month:

Date:

مسئله: با استفاده از داده های زیر، این گاز را در یک توربین گازی بررسی کنید.



SSSF

$\dot{Q} = 0$

$\Delta KE = \Delta PE = 0$

$P_2 = 4 \text{ MPa}$

$T_2 = 245 \text{ K}$

$W \approx h_1 - h_2$

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

Nitrogen

A.2

$\Rightarrow$

$T_c = 1262 \text{ K}$

$P_c = 3.39 \text{ MPa}$

$T_{r1} = \frac{300}{126.2} = 2.38$

$P_{r1} = \frac{10}{3.39} = 2.95$

$T_{r2} = \frac{245}{126.2} = 1.94$

$P_{r2} = \frac{4}{3.39} = 1.18$

$$\begin{cases} P_{r1} \checkmark \\ T_{r1} \checkmark \end{cases} \rightarrow \frac{h_1^* - h_1}{RT_c} \approx 0.5 \Rightarrow h_1^* - h_1 = 18.73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{cases} P_{r2} \checkmark \\ T_{r2} \checkmark \end{cases} \rightarrow \frac{h_2^* - h_2}{RT_c} \approx 0.31 \Rightarrow h_2^* - h_2 = 11.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$T_1 = 300 \text{ K} \xrightarrow{A.8} h_1^* = 54 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$

$T_2 = 245 \text{ K} \xrightarrow{A.8} h_2^* = -154.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}$

Y EYKTA

Subject :

<https://t.me/MechSource>

Year :

★ Month :

🕒 Date :

$$\frac{h_1^* - h_2^*}{M} = \frac{54 - 1 - 1545}{28} = 57.11 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

$$W = -18.73 + 57.11 = 38.38 \frac{\text{kg}}{\text{kg}}$$

خطا در نقطه فرضی گاز ایده آل 14 %

$$\frac{s^* - s}{R} \rightarrow \text{اعداد } p.3$$

اعداد فرضی تغییر آنتروپی در حالت

رابطه ای $p-v-T$ برای مخلوط گازی واقعی

در فصل 12 خواص حلال جنبی مطابق طرح شدنی صرف این خطا محدود به گاز ایده آل بود.

در این فصل به خواص مخلوط گازی ایده آل می پردازیم.

اعداد حلال مخلوط

$$h = \sum h_i = h_1 + h_2 + \dots + h_i$$

$$y_i = \frac{h_i}{n}$$

$$\sum y_i = 1$$

مجموع

روش اول به کار بردن معادله حالتی نه برای گاز خالص هرچند شود

طبیعی است که به این ترتیب حلال اجزای مخلوط در محاسبات ثابت در نظر گرفته شود. به عنوان مثال برای



YEKTA

معادله واندروالس تابعی به صورت زیر می شود

$$a_m = \left(\sum y_i a_i^{1/2} \right)^2$$

$$b_m = \sum y_i b_i$$

<https://t.me/MechSource>

Subject:

Year:

Month:

Date:

(استفاده از نموداری فرار (P_1, P_2, P_3))

روش دوم: برای این منظور باید جدولی داشته باشیم که به حسب مقادیر اجزای مخلوط و فشار و دمای جوی

مقادیر را برای حل مخلوط به دست آوریم. جدولی که برای ارائه شده که ساده ترین آن جدول Kay است.

$$(T_{cr})_{mix} = \sum y_i T_{cr,i}$$

$$(P_{cr})_{mix} = \sum y_i P_{cr,i}$$

به کمک $(T_{cr})_{mix}$ و $(P_{cr})_{mix}$ و اینجانب آنتالپی و آنتروپی (Z)

و هم می توانیم محاسبه کنیم.

مثال: یک مخلوط شامل 0.18 mol (CH_4) و 0.274 mol بوتان (C_4H_{10})

در حجم 0.291 m^3 در دمای 238°C و فشار جوی 68.9 Bar می باشد.

فشار مخلوط را با استفاده از روشی زیر محاسبه کنید.

1- با استفاده از 2- قانون Kay 3- مقادیر ثابت واکنش

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{T}{(T_{cr})} \quad \left\{ \begin{array}{l} (T_{cr})_{mix} = 332.3 \\ T_{cr} = 190.4 \end{array} \right. \quad \text{برای محاسبه} \quad P = \frac{\bar{R}T}{\bar{V}} = \frac{8.3145 (511)}{0.291} \\ P_{cr} &= \frac{P}{(P_{cr})_{mix}} \quad \left\{ \begin{array}{l} (P_{cr})_{mix} = 4.1166 \\ P_{cr} = 4.6 \text{ MPa} \end{array} \right. \quad \bar{V} = 0.291 \text{ m}^3 \\ &= \frac{P}{P_{cr}} \quad \left\{ \begin{array}{l} P = 60.1 \\ P_{cr} = 425.2 \end{array} \right. \quad \text{بوتان} \quad \bar{V} = 0.18 + 0.274 = 0.454 \text{ m}^3/\text{mol} \\ &= P_r \quad \Rightarrow P_r = 0.14 \quad T_{cr} = 425.2 \quad \Rightarrow P = 60.1 \text{ Bar} \end{aligned}$$



YEKTA

$$\Rightarrow P_r = ZRT = 1 \quad P = 70.41$$

$$P_{cr} = 3.8 \text{ MPa}$$

16

$$Z = \frac{0.18}{0.454} = 0.396$$