جلسه اول

فصل اول: سیکلهای ترمودینامیکی(Thermodynamics Cycles)

سیکل ترمودینامیکی

هرگاه سیال عامل فرآیندهای مختلفی را طی نماید و حالتهای مختلفی را تجربه کند و در نهایت به حالت اولیه خود برسد،گوییم یک سیکل ترمودینامیکی را پیموده است.خواص سیال عامل در ابتدا وانتهای سیکل یکسان است. به عنوان مثال آبی که در یک نیروگاه بخار(Powerplant) به گردش در می آید یک سیکل ترمودینامیکی را طی می نماید، حالت آب در نقاط مختلف سیکل متفاوت است در قسمتی از سیکل آب حرارت دریافت می کند و در بخشی دیگر گرما از دست می دهد و یا در جایی دیگر کار تولید می نماید.

سیال فعال(Working Fluid)

سیال فعال یا سیال عامل به سیالی گفته می‌شود که حرارت را دریافت می‌کند، کار انجام می‌دهد و یا بر آن کار انجام می شود و حرارت را به محیط انتقال می دهد مثلاً در نیروگاه بخار سیال فعال آب است و یا در سیکل موتور اتومبیل، بنزین سیال عامل است.

انواع سیکل های ترمودینامیکی

سیکل های ترمودینامیکی را از نقطه نظر نوع محصولی که تولید می کنند به دونوع تقسیم می کنند:

۱. سیکلهای قدرت (توانی)
۲. سیکلهای تبرید (سرماساز)

سیال عامل است.

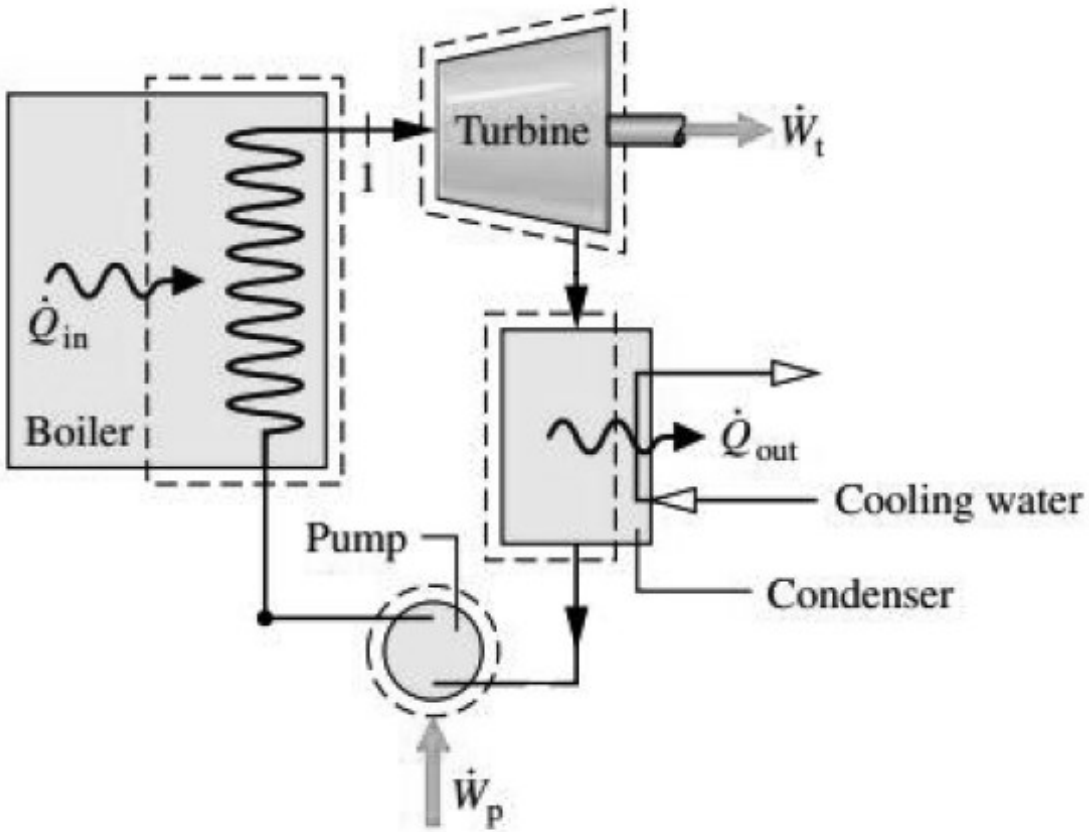
انواع سیکل های ترمودینامیکی

سیکل های ترمودینامیکی را از نقطه نظر نوع محصولی که تولید می کنند به دونوع تقسیم می کنند:

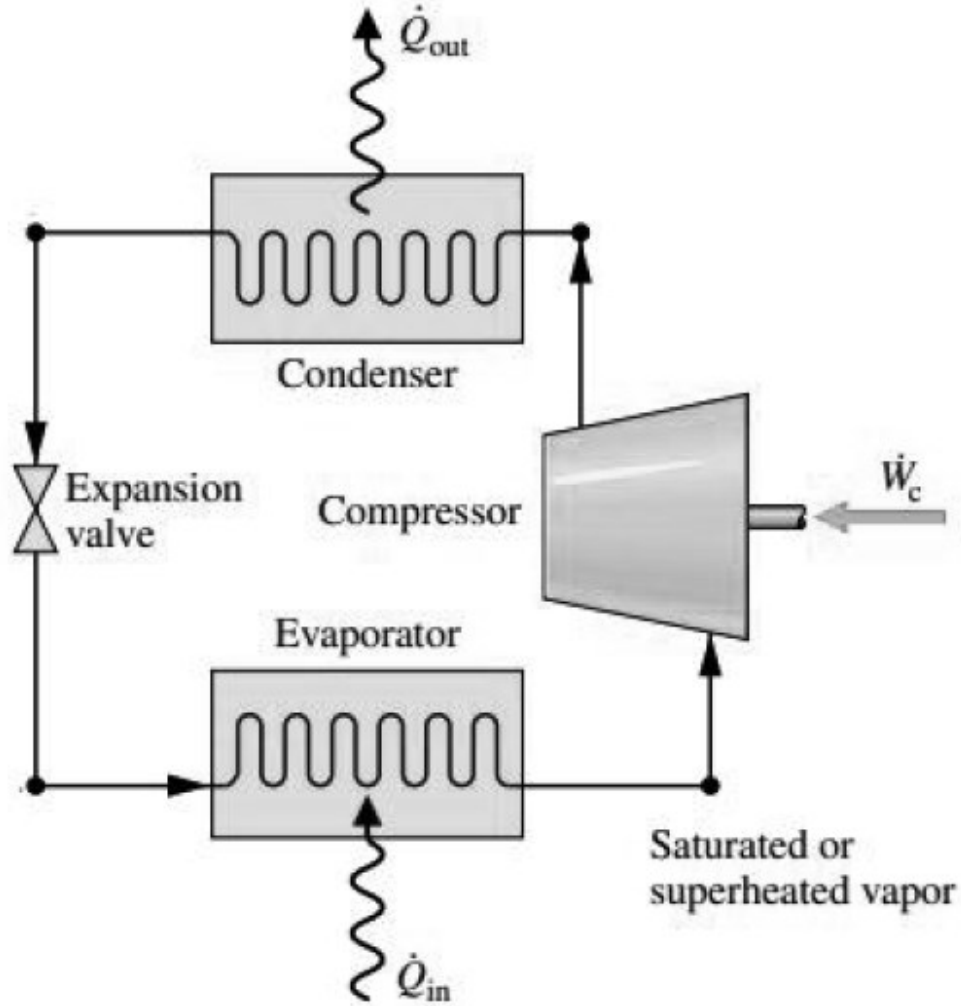
۱. سیکلهای قدرت (توانی)
۲. سیکلهای تبرید (سرماساز)

هرگاه در یک سیکل ترمودینامیکی هدف تولید کار یا قدرت با استفاده از حرارت باشد سیکل را توانی می نامند(Power Cycle)مانند سیکل ساده نیروگاه بخار که پیشتر از آن یاد شد و هرگاه هدف از یک سیکل ایجاد برودت (سرما) با استفاده از کار باشد سیکل را تبرید می نامند.(Refrigeration Cycle) مانند سیکل یخچال.

سیکلها را از نظر حالت سیال عامل می توان به سیکل های بخاری و سیکل های گازی تقسیم بندی نمود. هرگاه سیال عامل در سیکلی تغییر فاز دهد، مثلاً در نقطه ای از سیکل دوفازی و در نقطه دیگری از سیکل در فاز بخارمافوق گرم باشد سیکل را ازنوع بخاری می نامند مانند سیکل ساده نیروگاه بخار و هرگاه در یک سیکل ترمودینامیکی سیال عامل تغییر فاز ندهد و پیوسته در فاز گازی بماند سیکل را از نوع گازی می نامند مانند سیکل توربین گازی و یا سیکل موتورجت.



سیکل موتور



سیکل یخچال

سیکلها را می توان به دو دسته سیکلهای بسته و باز تقسیم کرد. در سیکل بسته سیال عامل در انتهای سیکل به حالت اولیه خود باز می گردد و از سیکل خارج نمی شود مانند سیکل نیروگاه بخار در حالی که در سیکل باز سیال عامل در انتهای سیکل از سیکل خارج می شود و اصطلاحاً گفته می شود سیال عامل تجدید می شود مانند سیکل موتور احتراق داخلی.

سیکل قدرت یا توانی(Power Cycle)

از سیکل قدرت برای تولید کار با استفاده از حرارت استفاده می شود.سیکل های قدرت را که اصطلاحاَ موتور می نامند به دو دسته موتورهای احتراق خارجی(External Combustion Engine) و موتورهای احتراق داخلی (Internal Combustion Engine))تقسیم می کنند. تفاوت این دو در این است که در موتورهای احتراق داخلی فرآیند احتراق در داخل موتور صورت می گیرد، مانند موتور دیزل یا موتور اتومبیل، در حالی که در موتورهای احتراق خارجی فرآیند احتراق در خارج از موتور صورت می گیرد مانند نیروگاهها.

راندمان سیکل حرارتی(Efficiency)

طبق تعریف راندمان حرارتی از تقسیم کار خالص بدست آمده از سیکل موتور به کل گرمای داده شده به سیکل بدست می آید.

$$\eta = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{Q}_H}$$

راندمان همواره بین صفر و یک خواهد بود (و یا بر حسب درصد بین صفر و ۱۰۰).

انواع سیکلهای توانی (قدرت)

سیکلهای توانی انواع مختلفی دارند که مهمترین آنها عبارتند از کارنو، رانکین، اتو ، دیزل، اریکسون، استرلینگ، و برایتون.

سیکل توانی کارنو(Carnot Power Cycle)

سیکل کارنو یک سیکل ایدآل ترمودینامیکی است که در سال۱۸۰۷ توسط دانشمند فرانسوی سدی کارنو مطرح شد این سیکل را هم به عنوان یک سیکل توانی می توان مطرح کرد و هم به عنوان یک سیکل تبرید.

این سیکل از این رو ایدآل نامیده می شود که در عمل نمی توان به آن دست یافت در ترمودینامیک۱ بیان شد که راندمان سیکل کارنو بیشتر از راندمان هر سیکل دیگری است که بین همان دو منبع دمایی کار می کند.

همچنین بیان شد که راندمان این سیکل تنها به دماهای بالا وپایین سیکل بستگی دارد و مستقل از نوع سیال عامل است.

این سیکل چنانچه به عنوان یک سیکل توانی به کار رود از فرایندهای زیر تشکیل می شود:

۱. انتقال حرارت در دمای ثابت و بازگشت پذیر

در این فرآیند در دمای ثابت، گرما از منبع خارجی به سیال عامل انتقال می‌یابد و سیال عامل از فاز مایع اشباع به بخار اشباع تبدیل می شود.(فرایند۱تا۲)

۲. فرآیند آدیاتیک برگشت پذیر(آیزنتروپیک)

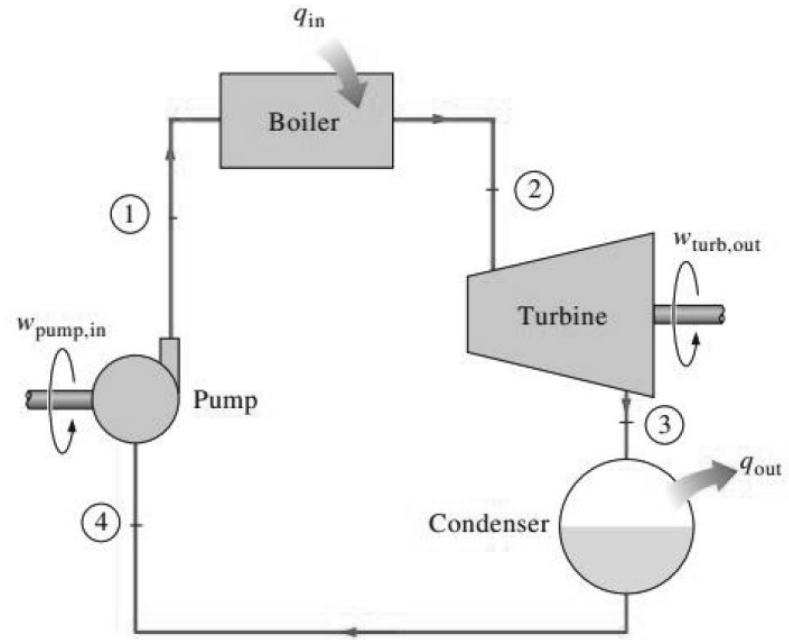
در این فرآیند سیال عامل به صورت آیزنتروپیک(آنتروپی ثابت) در توربین کار انجام می‌دهد و سیال عامل از فاز بخار اشباع به حالت دو فازی تغییر می یابد.(فرایند۲تا۳)

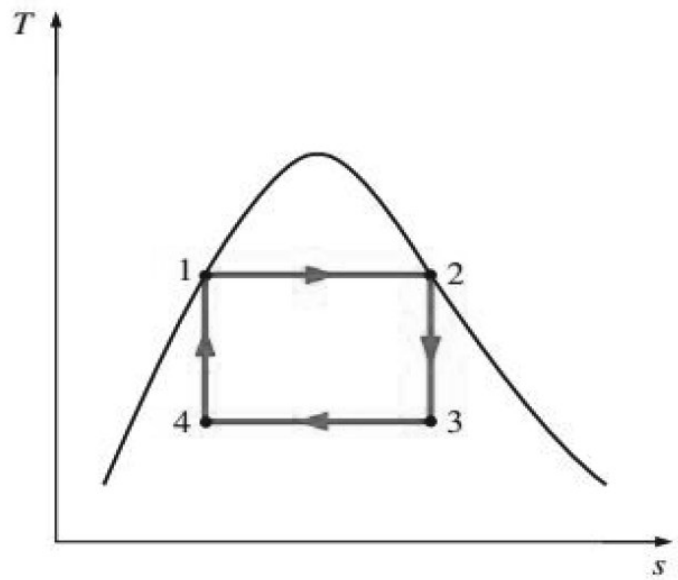
۳. فرآیند انتقال حرارت در دمای ثابت و بازگشت پذیر

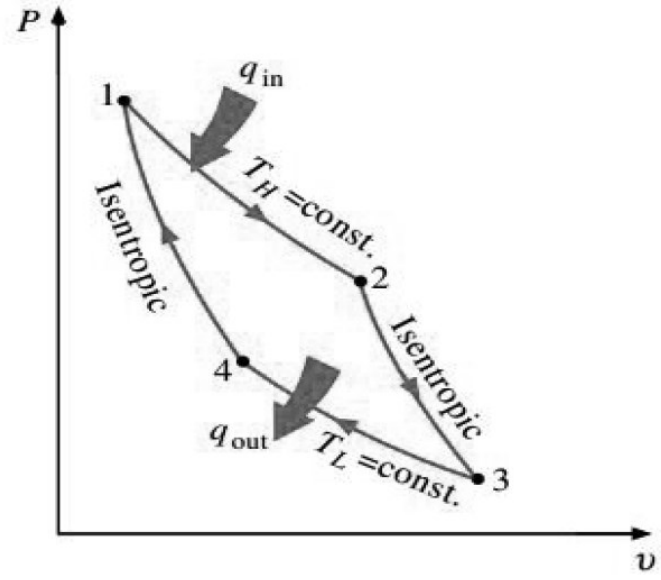
در این فرآیند در دمای ثابت سیال عامل به محیط گرما پس می‌دهد و سیال عامل از حالت دوفازی نزدیک به بخار اشباع به حالت دوفازی نزدیک به مایع اشباع در می آید.(فرایند۳تا۴)

۴. فرآیند آدیاباتیک بازگشت پذیر(آیزنتروپیک)

در این فرآیند سیال عامل با ورود به پمپ به صورت آیزنتروپیک(آنتروپی ثابت) فشار آن افزایش می‌یابد و از حالت دوفازی نزدیک به مایع اشباع به حالت کاملا اشباع تغییر می یابد.(فرایند۴تا۱)


q_{in}
Boiler
1
2
$w_{turb,out}$
Turbine
$w_{pump,in}$
Pump
3
q_{out}
4
Condenser

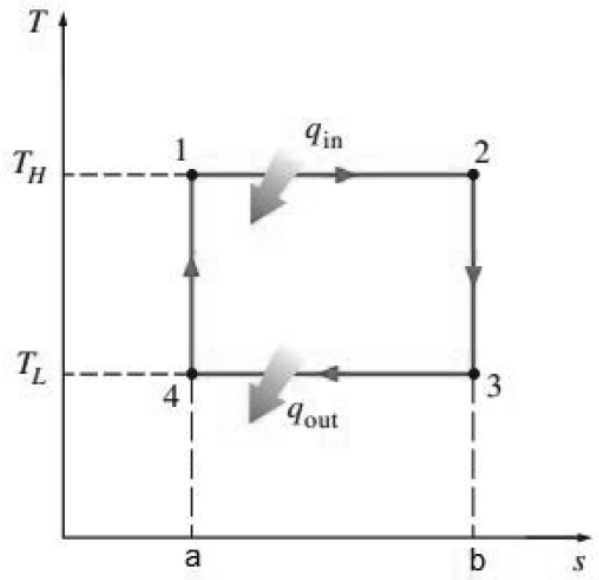

T
1
2
4
3
s


P
q_{in}
1
T_H =const.
Isentropic
2
Isentropic
4
q_{out}
T_L =const.
3
v

سیکل کارنو به دلایل زیر قابلیت اجرایی ندارد ودر عمل نمی توان به آن رسید:

اول این که در حالت ورود به پمپ آب به ناچار در ناحیه دو فازی قرار می گیرد که این مسئله مشکلاتی را برای پمپ به همراه خواهد داشت و دیگر آنکه در خروجی توربین کیفیت بخار بسیار پایین است که این مسئله باعث افزایش رطوبت در پره های توربین و نهایتاَ خوردگی پره ها می شود. حتی اگر از این دو مشکل هم صرف نظر کنیم باتوجه به اینکه خروجی بویلر در حالت بخار اشباع قرار دارد توان تولید شده توسط این سیکل علیرغم بالا بودن راندمان، پایین است.

یک سیکل کارنو مطابق شکل زیر در نظر بگیرید:



به طور کلی در یک سیکل بازگشت پذیر مساحت زیر نمودار فرآیند جذب گرما در نمودار T-S برابر کل گرمای داده شده به سیال عامل در طی سیکل و مساحت زیر نمودار فرآیند دفع حرارت برابر مقدار حرارت دفع شده از سیکل است، همچنین سطح داخل نمودار T-S بیانگر کار تولیدی خالص در طی سیکل است. با معکوس کردن جهت فرآیندها در نمودار T-S سیکل کارنو (جهت پادساعتگرد) می توان به سیکل کارنو تبرید دست یافت که شرح آن در مبحث سیکلهای تبرید خواهد آمد.

فرض می کنیم دبی جرمی سیکل واحد باشد، از ترمودینامیک۱ می دانیم در فرایند دماثابت بازگشت پذیر $\Delta s = \frac{q}{T}$ پس برای فرایندهای۱تا۲ و ۳تا۴ می توان نوشت:

$$s_2 - s_1 = \frac{q_{in}}{T_H} \Rightarrow q_{in} = q_H = T_H (s_2 - s_1) = A_{a-1-2-b-a}$$

$$s_4 - s_3 = \frac{-q_{out}}{T_L} \Rightarrow q_{out} = q_L = T_L (s_3 - s_4) = A_{a-4-3-b-a}$$

کار خالص و راندمان سیکل بصورت زیر بدست می آیند:

$$w_{net} = w_{turbine} - w_{pump} = q_H - q_L = A_{a-1-2-b-a} - A_{a-4-3-b-a} = A_{1-2-3-4-1}$$

$$\eta = 1 - \frac{q_L}{q_H} = \frac{w_{net}}{q_H} = \frac{A_{1-2-3-4-1}}{A_{a-1-2-b-a}}$$

$$\frac{q_L}{q_H} = \frac{T_L (s_3 - s_4)}{T_H (s_2 - s_1)}$$

اما

$$s_2 = s_3$$

$$s_1 = s_4$$

در نتیجه:

$$\frac{q_L}{q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$

$$\boxed{\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}}$$

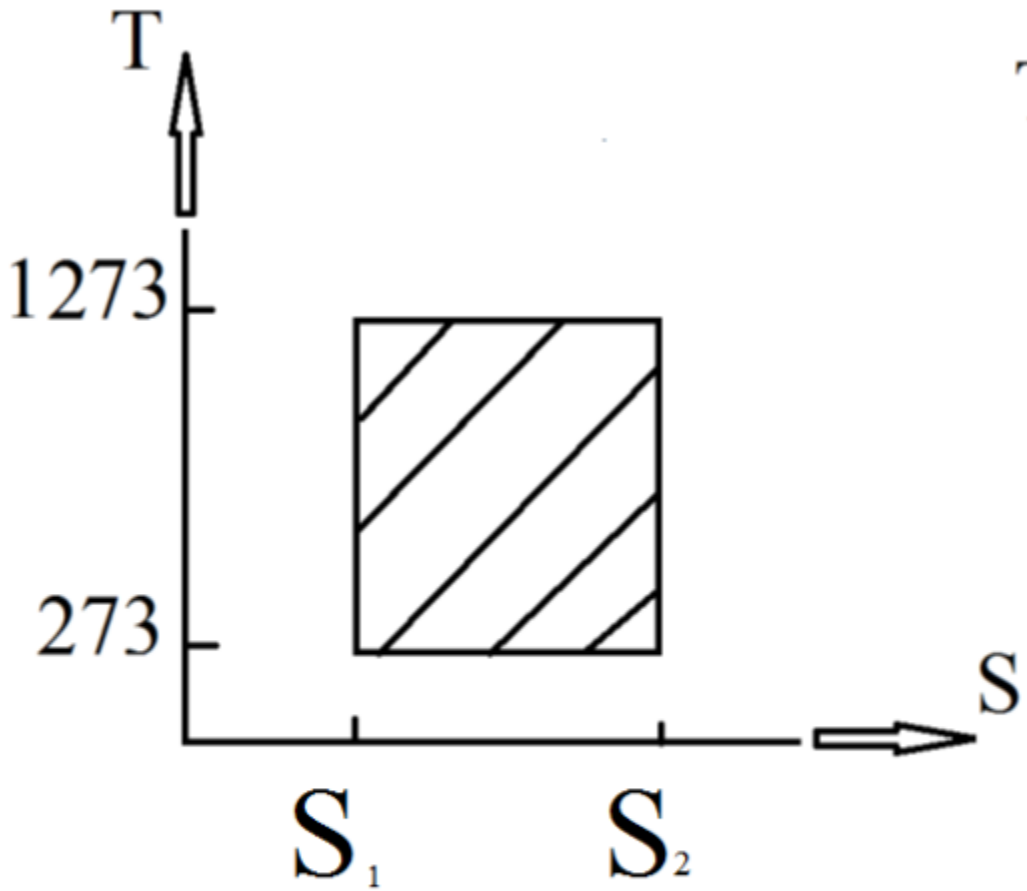
دقت داشته باشید دماها در این رابطه حتما بر حسب کلوین باید بیان شوند.

درصورتیکه دبی جرمی برابر $\dot{m}$ باشد در روابط حرارت جذب شده، دفع شده و کار خالص $\dot{m}$ ضرب می شود.

مثال

یک موتور حرارتی را در نظر بگیرید که در سیکل کارنو و بین دو منبع با درجه حرارتهای1000C و0C کار می کند.اگر این موتور1000kJ/kg حرارت از منبع با درجه حرارت بالا دریافت کند،

- الف) سیکل را روی نمودارT-s نشان دهید.
- ب) مقدار کار خالص و کارایی سیکل را محاسبه کنید.
- ج) تغییر انتروپی منابع درجه حرارت بالا و پایین را بدست آورید.



$T_L = 0 + 273 = 273\ K$

$T_H = 1000 + 273 = 1273\ K$

$$\frac{q_L}{q_H} = \frac{T_L}{T_H}$$

$q_H = 1000\ j/kg$

$$\frac{q_L}{1000} = \frac{273}{1273}$$

$$q_L = 214.45\ j/kg$$

$$w = q_H - q_L$$

$$= 1000 - 214.45 = 785.55 \quad \text{j/kg}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta = 1 - \frac{273}{1273} = 0.786 = 78.6\%$$