

فصل هفتم

قانون دوم ترمودینامیک

بسیاری سیکل ها با وجود اینکه قانون اول را نقض نمی کنند اما عملی نمی باشند. پس باید هر دو قانون اول و دوم ترمودینامیک برقرار باشد تا آن سیکل از لحاظ عملی امکان پذیر باشد. به عبارتی قانون دوم می گوید که فرایندها تنها در یک جهت خاص و نه خلاف آن امکان پذیر است.

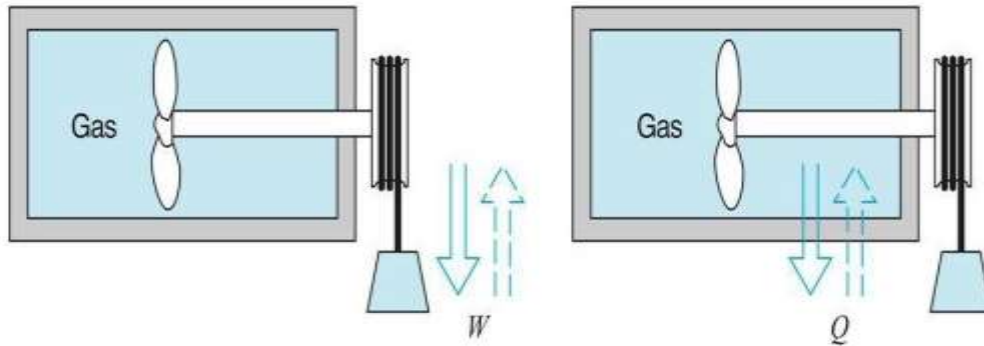


FIGURE 7.1 A system that undergoes a cycle involving work and heat.

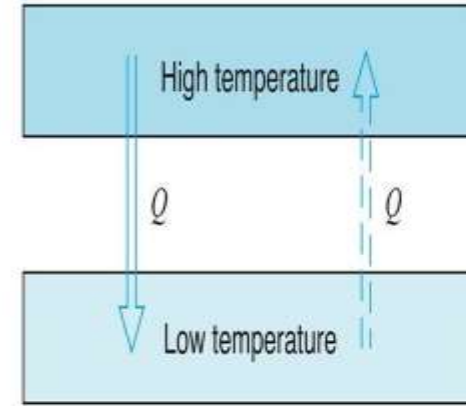


FIGURE 7.2 An example showing the impossibility of completing a cycle by transferring heat from a low-temperature body to a high-temperature body.

2

این دو مثال ما را به سمت بررسی موتور حرارتی و پمپ حرارتی (یخچال) رهنمون می شود.

* در یک موتور حرارتی میتوان سیستمی داشت که سیکلی را طی کند که کار و انتقال حرارت در آن مثبت است

* در یک پمپ حرارتی سیستمی داریم که ضمن کار در یک سیکل، حرارت از محیط سرد به آن منتقل و سیستم حرارت را با جذب مقداری کار به محیط گرم انتقال می دهد.

موتور حرارتی درون سوز:

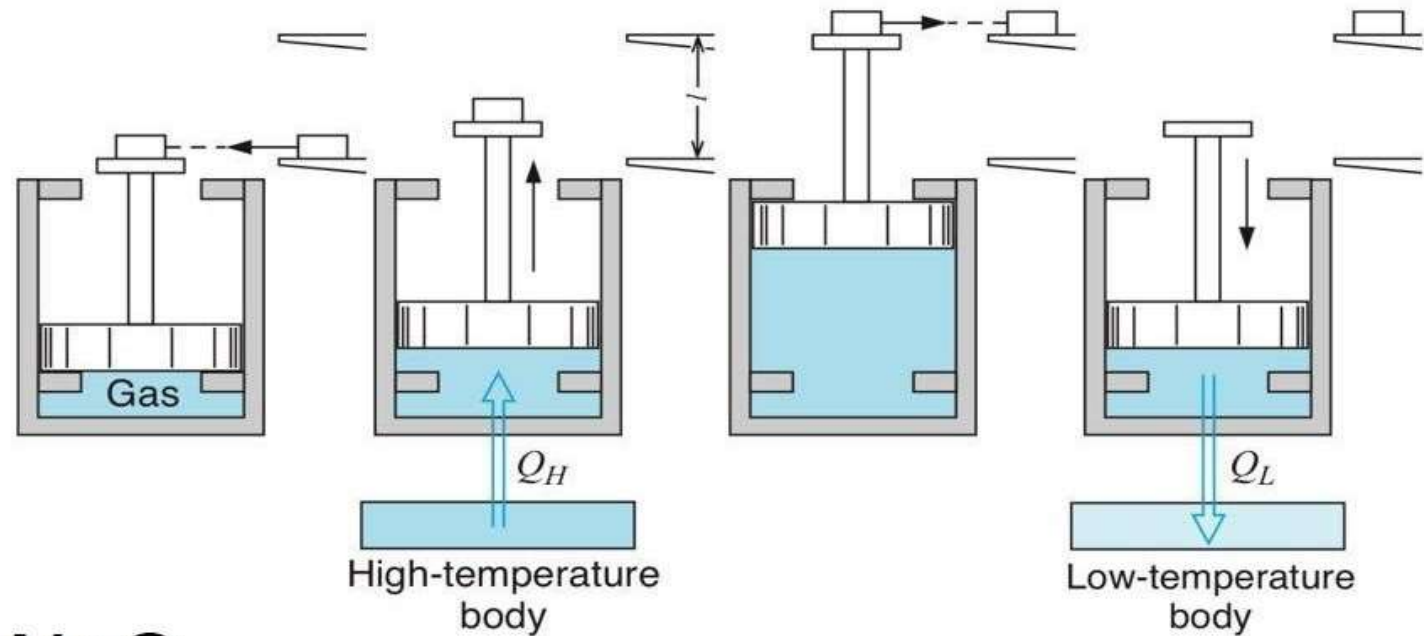


FIGURE 7.3 A simple heat engine.

$$Q_H = W + Q_L$$

3

پس موتور گرمایی عکس فرآیندی که در حالت طبیعی روی می دهد را انجام می دهد یعنی از انرژی حرارتی ایجاد کار مکانیکی می کند ولی مقداری انرژی ضمن آن تلف می شود.

نیروگاه بخاری ساده:

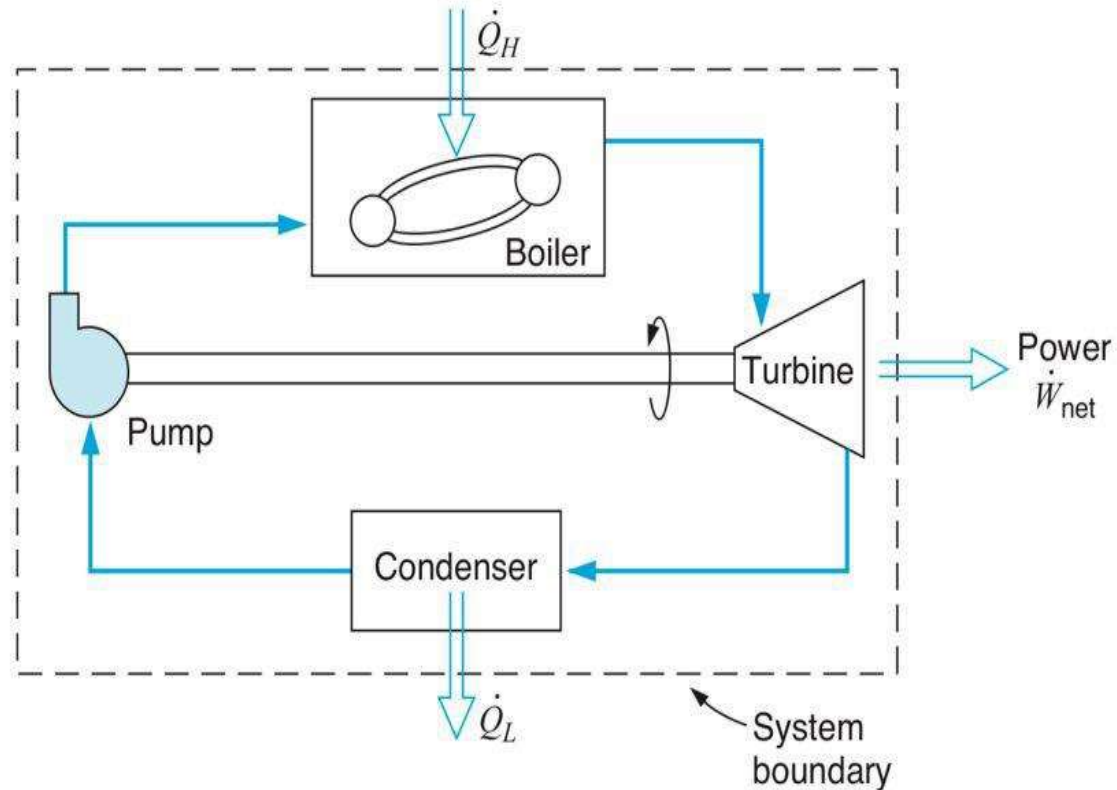


FIGURE 7.4 A heat engine involving steady-state processes.

یک موتور حرارتی، دارای کار و انتقال حرارت خالص است که این سیکل، خود به طور طبیعی صورت نمی گیرد.

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_{Net} + \dot{Q}_L$$

بازده حرارتی برای موتور های حرارتی:

5

$$\rightarrow \eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{\text{کار خالص تولیدی}}{\text{هزینه اولیه منتقل شده به سیستم}}$$

$$Q_H = W_{Net} + Q_L \quad \rightarrow \quad W_{Net} = Q_H - Q_L$$

$$\rightarrow \eta_{th} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H} \quad 0 < \eta_{th} < 1$$

پمپ حرارتی:

یک یخچال با دریافت کار در طی سیکل، عمل انتقال حرارت از یک منبع سرد به یک منبع گرم را میسر می‌سازد.

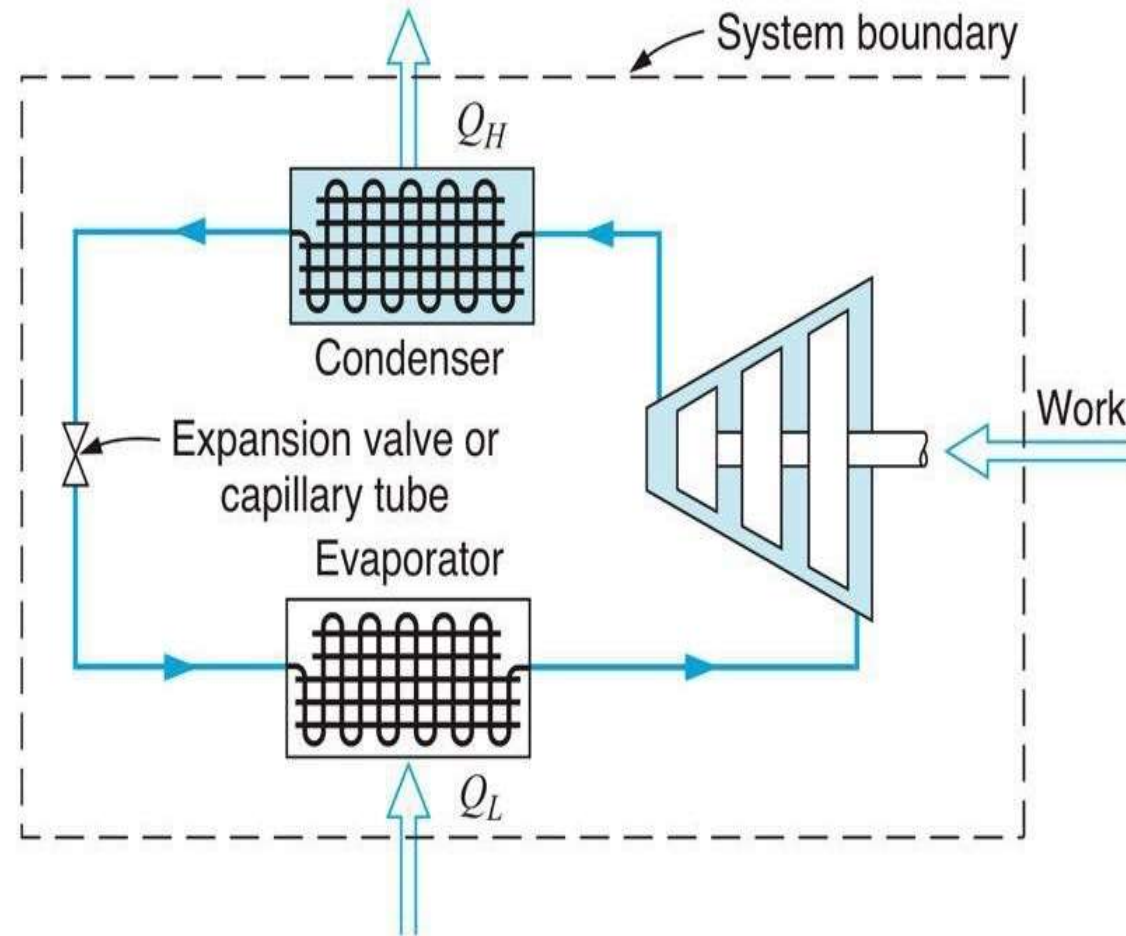


FIGURE 7.6 A simple refrigeration cycle.

$$Q_H = W_C + Q_L$$

ضریب عملکرد پمپ های حرارتی:

7

$$\text{ضریب عملکرد} = \frac{\text{انرژی جذب شده}}{\text{انرژی هزینه شده}}$$

$$\beta = \frac{Q_L}{W_C} = \frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L} - 1} \quad \text{یخچال}$$

$$\beta' = \frac{Q_H}{W_C} = \frac{1}{1 - \frac{Q_L}{Q_H}} \quad \text{گرمکن}$$

$$0 < \beta' \text{ و } \beta < \infty$$

دو بیان کلاسیک برای قانون دوم ترمودینامیک:

8

بیان کلوین-پلانک (بیان موتور حرارتی):

ساخت یک موتور حرارتی که انرژی گرمایی را بطور کامل به کار تبدیل کند یعنی راندمان 100% داشته باشد ممکن نیست. به عبارتی امکان ندارد موتور حرارتی فقط با یک منبع حرارتی کار کند.

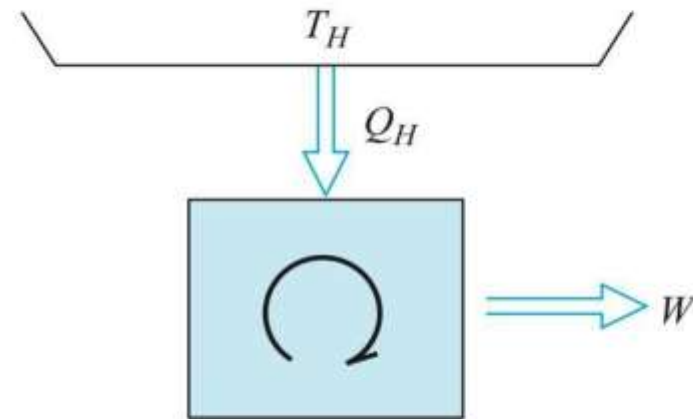


FIGURE 7.8 The Kelvin-Planck statement.

بیان کلازیوس (بیان یخچالی):

9

غیر ممکن است پمپ حرارتی بدون انجام کار انرژی را از منبع سرد به منبع گرم منتقل کند یعنی $\beta = \infty$ غیر ممکن است.

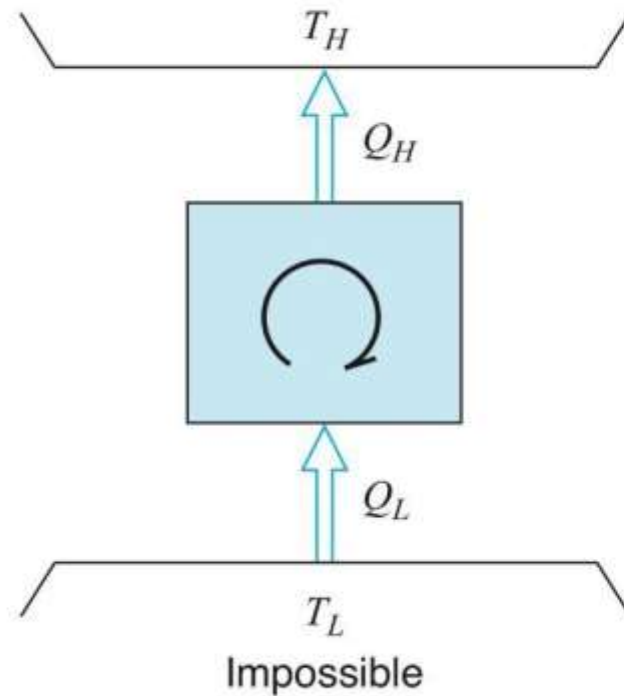


FIGURE 7.9 The Clausius statement.

هر دو بیان قانون دوم معادل اند یعنی با نفی یکی دیگری نیز نقض می شود.

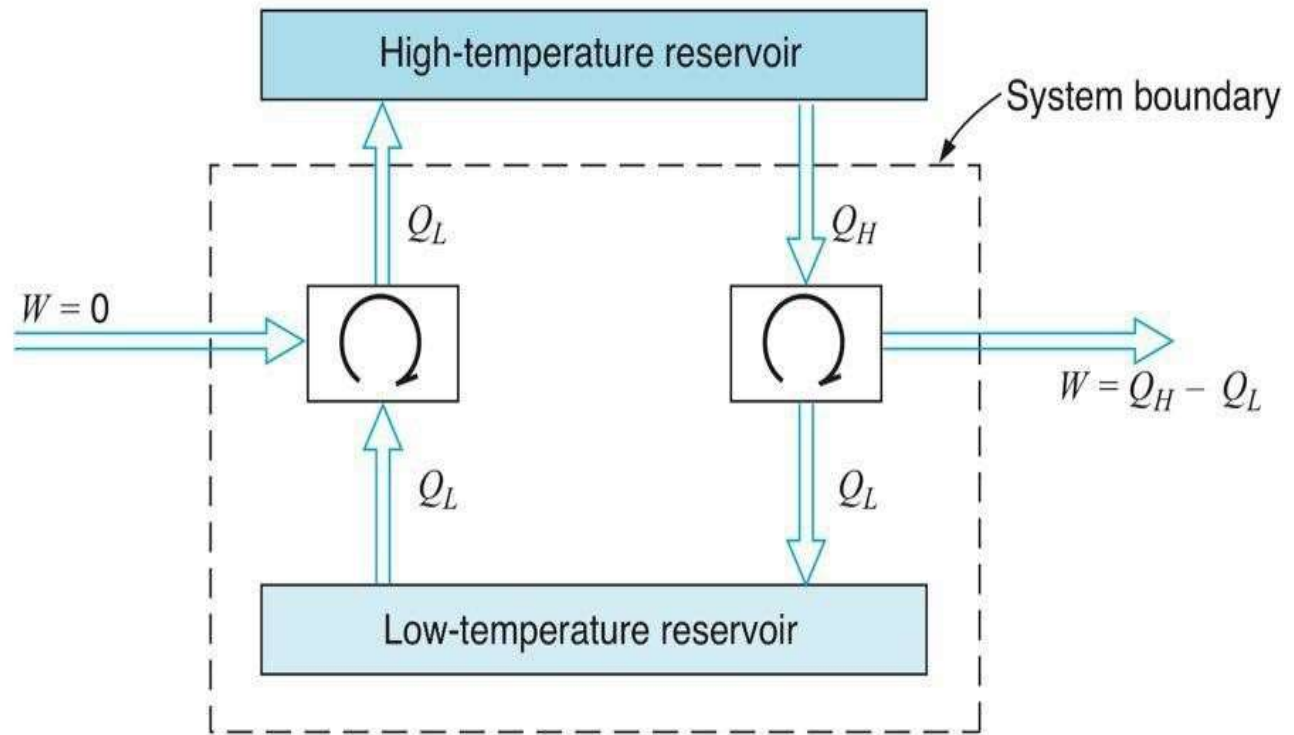


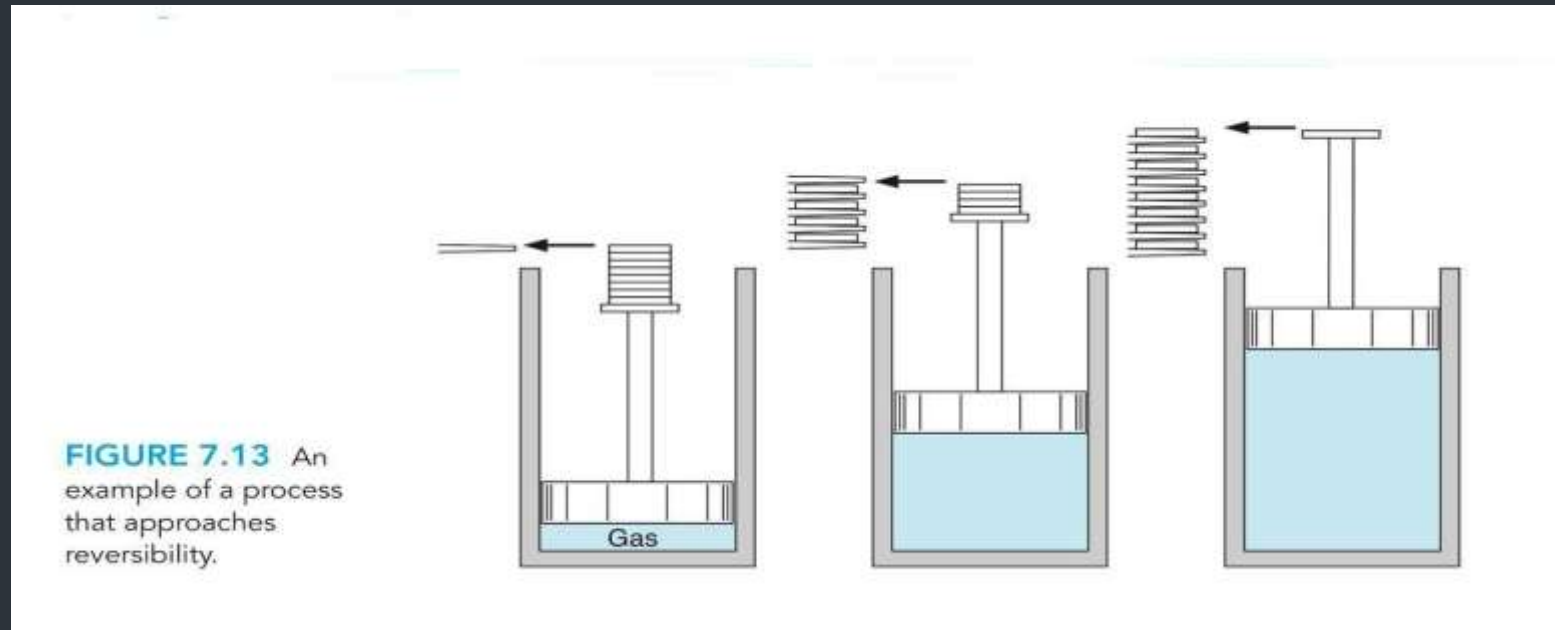
FIGURE 7.10
Demonstration of the equivalence of the two statements of the second law.

*فرآیند ایده آل یا برگشت پذیر:

11

فرآیندی است که اگر جهت فرآیند را عوض کنیم هیچ گونه تغییری در سیستم یا محیط نداشته باشیم.

اگر در یک سیکل همه پرده ها برگشت پذیر باشند، آن سیکل را کارنو گویند.



*عوامل ایجاد کننده برگت ناپذیر:

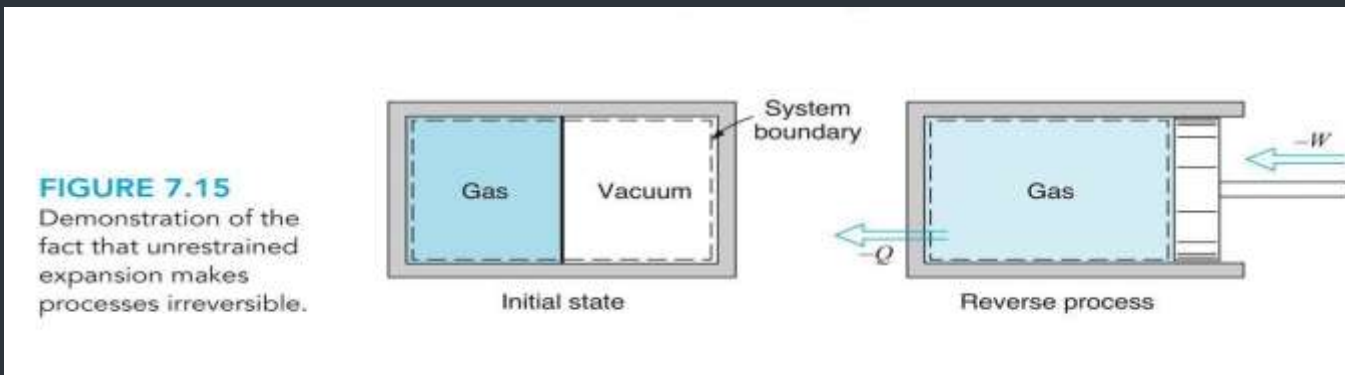
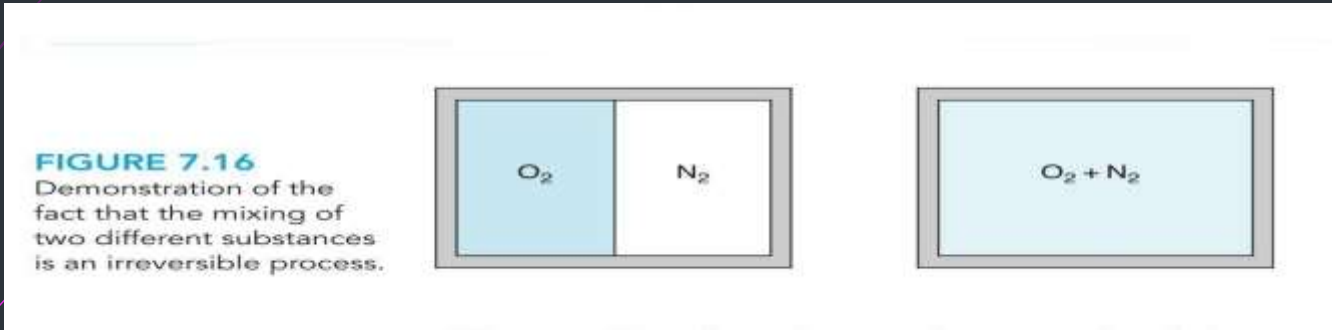
12

۱- اصطکاک

۲- اختلاط گازها

۳- انبساط آزاد

۴- احتراق



دو قضیه درباره بازده یک سیکل کارنو:

13

۱- بیشترین بازده بین دو منبع حرارتی مربوط به موتوری است که برگشت پذیر باشد.

۲- کلیه موتور هایی که بین دو منبع حرارتی قرار دارند و باسیکل کارنو کار می کنند بازده یکسانی دارند.

* مشاهده شده است که بازده یک سیکل کارنو مستقل از ماده ی عامل و تنها تابع دماست لازم است:

$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{f(T_H)}{f(T_L)}$$

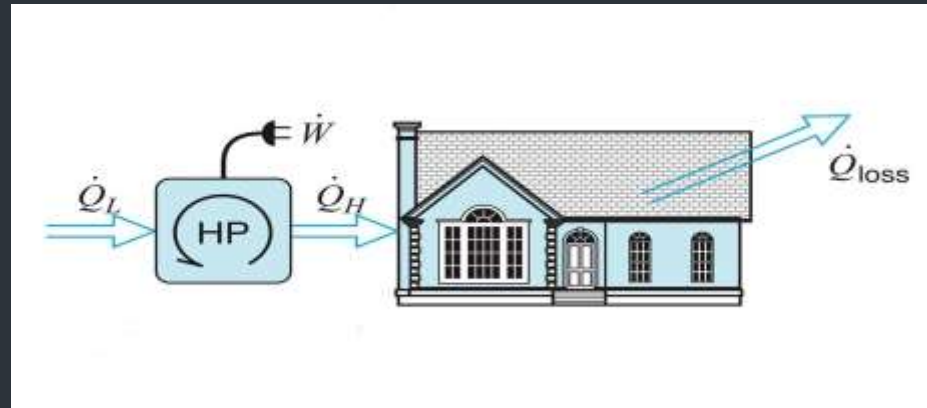
$$\frac{Q_H}{Q_L} = \frac{T_H}{T_L}$$

که f یک رابطه تابعی است. لرد کلوین تابع روبرو را پیشنهاد می کند:

$$\eta_{carno} = \eta_{max} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

بازده کارنو:

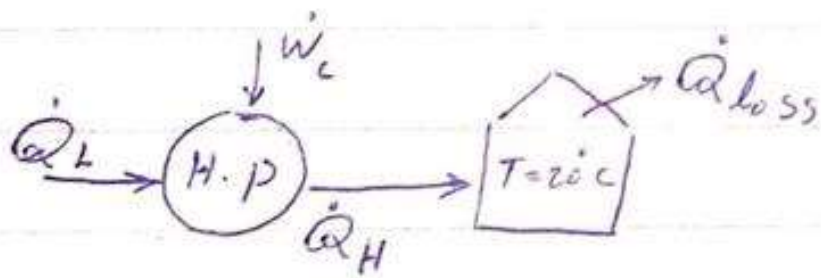
برای گرمایش خانه ای در زمستان، یک پمپ حرارتی پیشنهاد می شود. دمای خانه باید در همه حال، در 20 درجه ی سانتی گراد ثابت می ماند. هنگامی که دمای بیرون 10 - درجه ی سانتی گراد است، شدت اتلاف حرارت از خانه، 25 کیلو وات تخمین زده شده است. حداقل توان برقی لازم برای راندن پمپ حرارتی چقدر است؟



ضریب عملکرد پمپ حرارتی ۲۵٪ بیشترین ضریب عملکرد نظری است و منزل را در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد نگه می دارد و طبق رابطه ی زیر حرارت را به بیرون انتقال می دهد. حداقل دمای بیرون را برای حداکثر توان ورودی یک کیلو وات بدست آورید بطوریکه پمپ گرما پاسخ گوی نیاز منزل باشد.

$$Q_{LOSS} = 0.6(T_H - T_L)kw$$

سؤال 7-48 : برای گرمایش خانه‌ای در زمستان یک پمپ حرارتی را پیشنهاد می‌کنیم. (هزینه خانه در همه حال برابر در 20°C ثابت بماند. هزینه گرمایش در زمستان -10°C است، سددت انتقال حرارت از خانه 25 kW تخمین زده می‌شود. حداقل توان برقی لازم برای راه‌اندازی پمپ حرارتی چقدر است؟



$$T_{\text{surr}} = -10^\circ\text{C} = T_L$$

$$\dot{Q}_{\text{loss}} = 25\text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{min}} = ?$$

$$\dot{Q}_H = 25\text{ kW}$$

حداقل توان لازم در سیکل کارنوی باشد. $T_H = 20^\circ\text{C}$

$$\beta' = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_P} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{\text{min}}} = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{Q}_H - \dot{Q}_L} = \frac{T_H}{T_H - T_L}$$

$$\Rightarrow \dot{W}_P = \dot{Q}_H \left(\frac{T_H - T_L}{T_H} \right) = \dot{Q}_H \left(1 - \frac{T_L}{T_H} \right) = 25 \left(1 - \frac{263.15}{293.15} \right) = 2.58\text{ kW}$$

سؤال 7-74 : ضریب عملکرد یک یخچال عوارثی از 25 است. ضریب

عملکرد نظری است و منزل را در دمای $T_H = 20^\circ\text{C}$ نگهداری دارد و طبق رابطه $\dot{Q} = 0.6(T_H - T_L)$ kW

حرارت را به بیرون انتقال می دهد. حداقل دمای بیرون، T_L را برای حداکثر توان ورودی

5 1 kW بدست آورید به طوری که کمترین یا سخوی نیاز منزل باشد.

$$\beta = \frac{\dot{Q}_H}{\dot{W}_{H.P}} , \dot{W}_{H.P} = 1 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_H = 0.6(T_H - T_L) \rightarrow \beta' = \frac{0.6(T_H - T_L)}{\dot{W}_{H.P}} = \frac{0.6(293 - T_L)}{1} \quad (1)$$

$$10 \beta' = 0.25 \beta'_{\text{Carnot}} \quad (2)$$

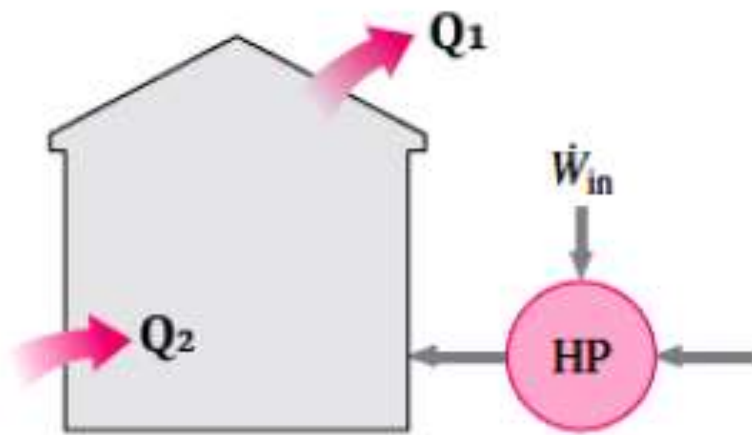
$$\beta'_{\text{Carnot}} = \frac{T_H}{T_H - T_L} = \frac{293}{293 - T_L} \quad (3)$$

$$\text{با (2) و (3)} \rightarrow 0.6(293 - T_L) = 0.25 \times \frac{293}{293 - T_L}$$

15

$$\Rightarrow \left. \begin{array}{l} T_{L1} = 281.9 \text{ K} \\ T_{L2} = 264.04 \end{array} \right\}$$

$$\rightarrow T_L = 281.9 \text{ K} \rightarrow T_L = 8.9^\circ\text{C}$$



از یک پمپ حرارتی برای نگهداری یک خانه در دمای ثابت 23°C استفاده می شود. خانه در حال از دست دادن گرمای هوا از طریق دیوارها و پنجره ها با نرخ $60,000\text{kJ/h}$ است، در حالی که انرژی حاصل از خانه ، ساکنین، چراغ ها و وسایل مورد نیاز در داخل خانه $4,000\text{kJ/h}$ است. اگر COP پمپ حرارتی برابر 2.5 باشد ، توان مورد نیاز برای پمپ حرارتی را تعیین کنید.