قلم را آن زبان نبود که سرّ عشق گوید باز
ورای حد تقریر است شرح آرزومندی
درین بازار اگر سودی ست با درویش خرسند است
خدایا منعمم گردان به درویشی و خرسندی

فصل ششم: قانون دوم ترمودینامیک

The 2nd Law of Thermodynamics

اکبر اقبالی

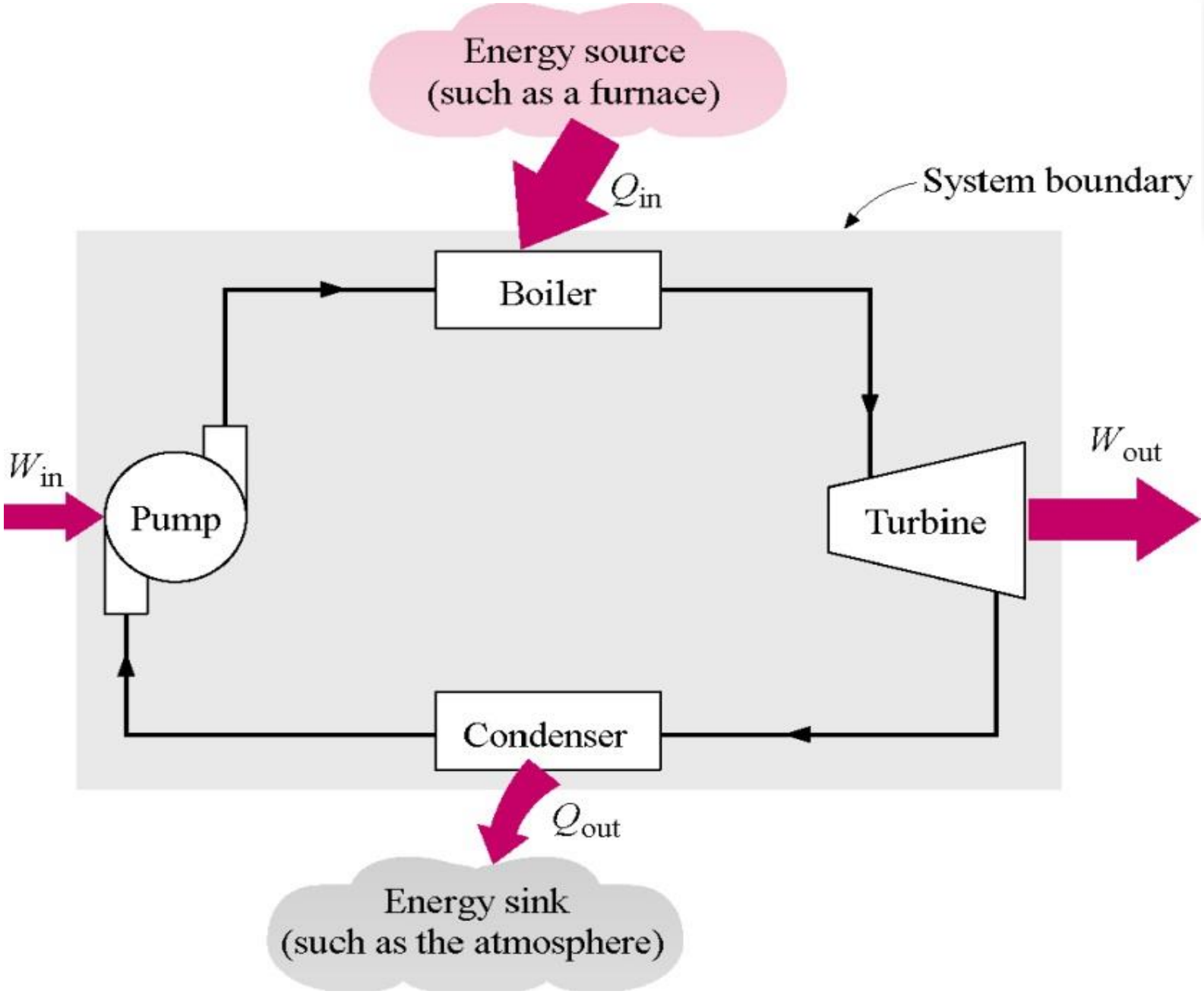
WWW.AEGHBALI.BLOG.IR
EGHBALI.D@GMAIL.COM

1393

مقدمه

- قانون دوم بیان می کند که فرآیند در جهت مشخصی پیش می رود.
  - آب از بالای آبشار به پایین می ریزد.
  - حرارت از جسم دما بالا به جسم دما پایین منتقل می شود.
  - جریان سیالات از محل پر فشار به محل کم فشار صورت می گیرد.
- یک فرآیند خود به خودی نمی تواند بدون صرف هزینه معکوس شود.
- دلیل جهت غالب در فرآیندها، وجود عواملی چون اصطکاک است.
- قانون اول حرفی از جهت جریان نمی زند.
- ژول عنوان کرد که حرارت نمی تواند تماما تبدیل به کار شود.
- قانون دوم عنوان می کند برای تولید کار چه میزان حرارت نیاز است.

تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو



تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

بازده گرمایی

- عبارتست از نسبت کار خروجی یا مطلوب به حرارت ورودی یا هزینه.

$$\eta_{th} = \frac{\text{Desired Result}}{\text{Required Input}}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net,\,out}}{Q_{in}}$$

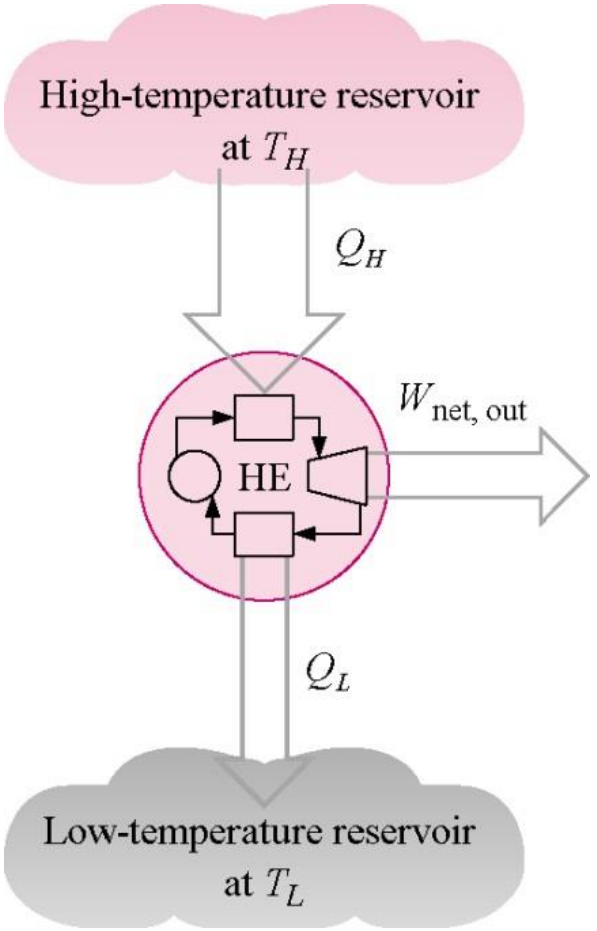
$$W_{net,\,out} = W_{out} - W_{in}$$

$$Q_{in} \neq Q_{net}$$

$$Q_{net,in} - W_{net,out} = \Delta U$$

$$W_{net,out} = Q_{net,in} = Q_{in} - Q_{out}$$

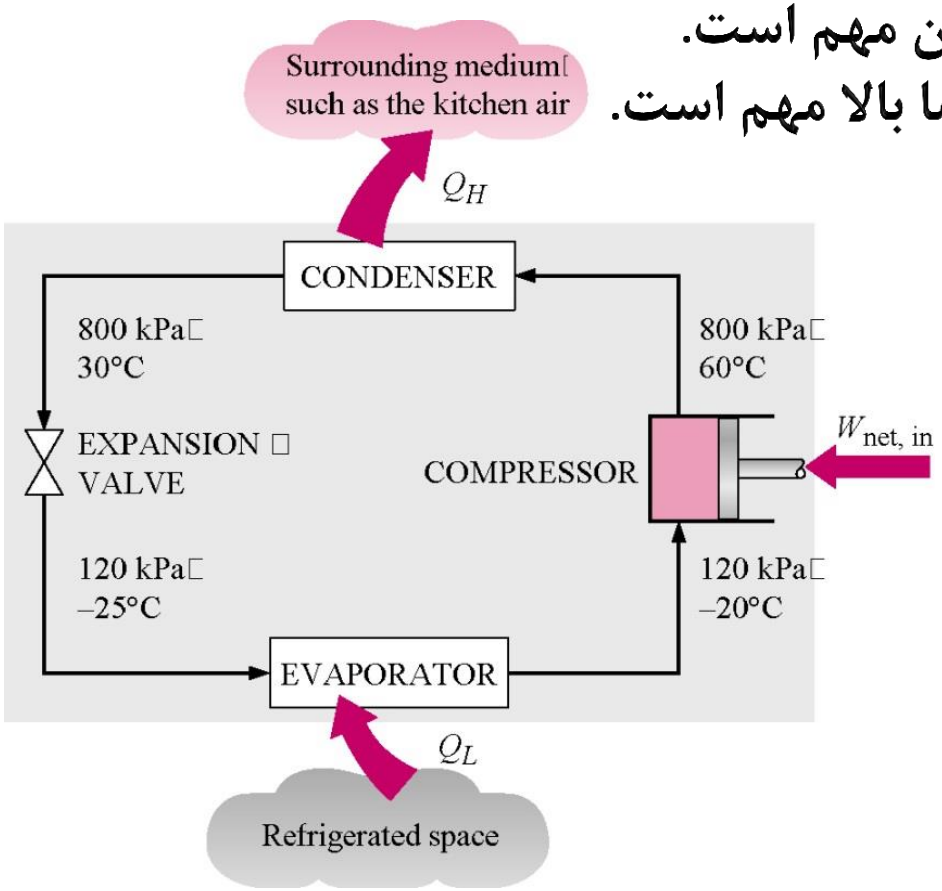
$$\eta_{th} = \frac{W_{net,out}}{Q_{in}} = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$



تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

پمپ حرارتی

- یک سیستم ترمودینامیکی است که در یک سیکل کار می کند و حرارت را از جسم دما پایین به جسم دما بالا منتقل می کند.
- این سیستم به دو صورت وجود دارد:
  - یخچال: محیط دما پایین مهم است.
  - پمپ حرارتی: محیط دما بالا مهم است.



تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

ضریب عملکرد پمپ حرارتی

$$COP = \frac{\text{Desired Result}}{\text{Required Input}}$$

- برای دو صورت از سیستم تعریف می شود:
  - یخچال: گرمای گرفته شده از محیط دما پایین مطلوب است.
  - پمپ حرارتی: گرمای داده شده به محیط دما بالا مطلوب است.

$$COP_R = \frac{Q_L}{W_{net,\,in}}$$

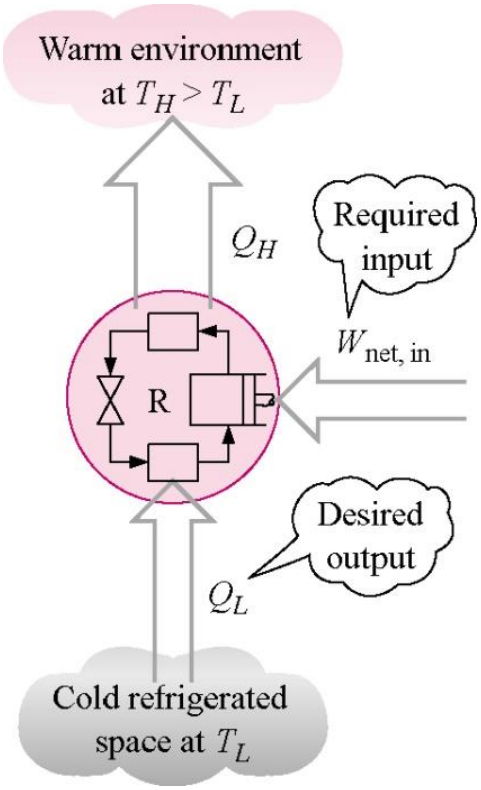
$$(Q_L - Q_H) - (0 - W_{in}) = \Delta U_{cycle} = 0$$

$$W_{in} = W_{net,\,in} = Q_H - Q_L$$

$$COP_R = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L}$$

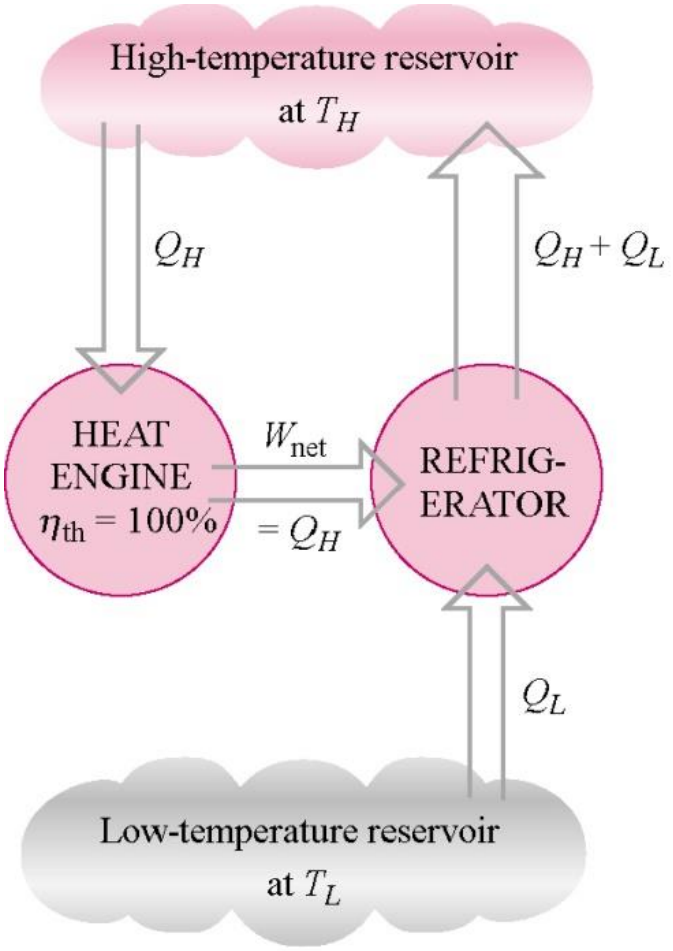
$$COP_{HP} = \frac{Q_H}{W_{net,\,in}} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L}$$

$$COP_{HP} = COP_R + 1$$

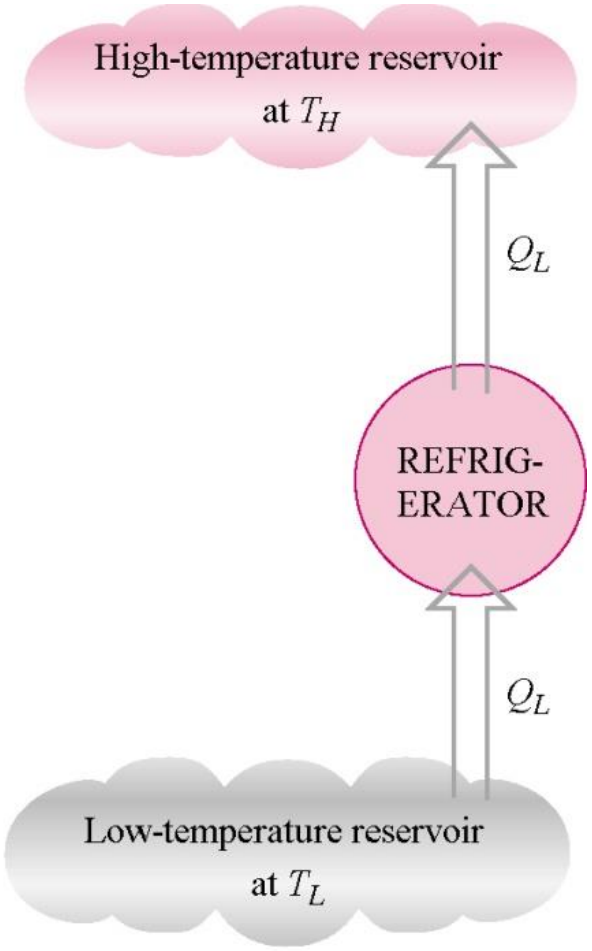


تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

سیکل یخچال



(*a*) A refrigerator which is powered by a 100% efficient heat engine

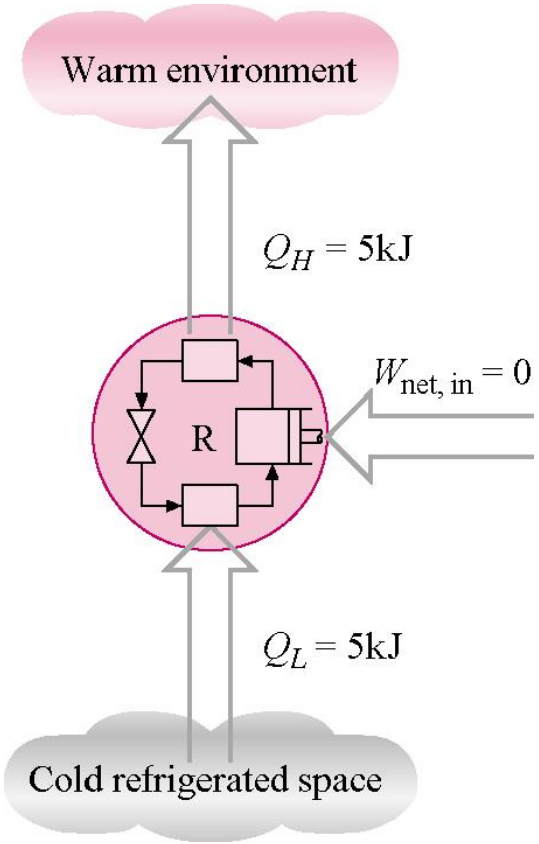


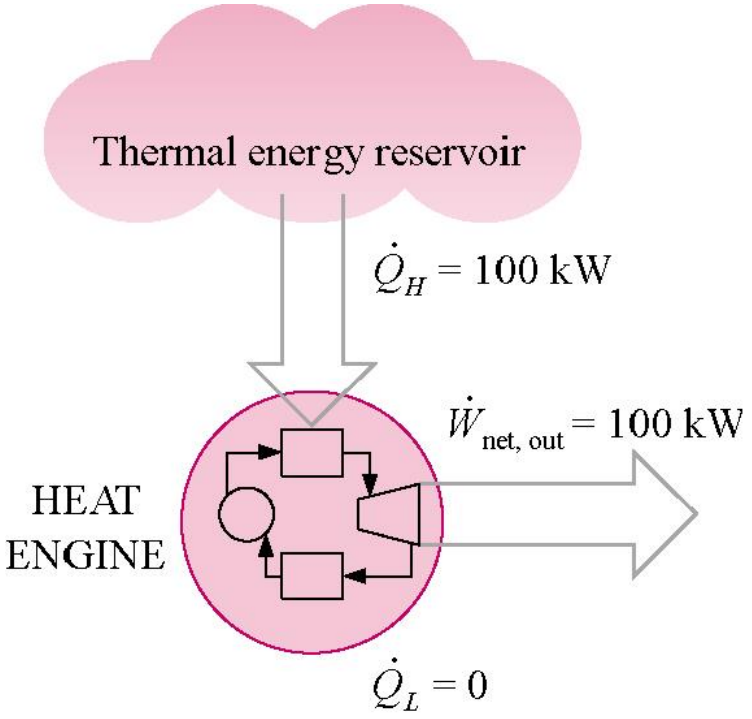
(*b*) The equivalent refrigerator

تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

قانون دوم ترمودینامیک

- دو بیان برای قانون دوم وجود دارد:
- بیان کلوین – پلانک: مبنای تعریف موتور حرارتی.
- بیان کلازیوس: مبنای تعریف پمپ حرارتی.

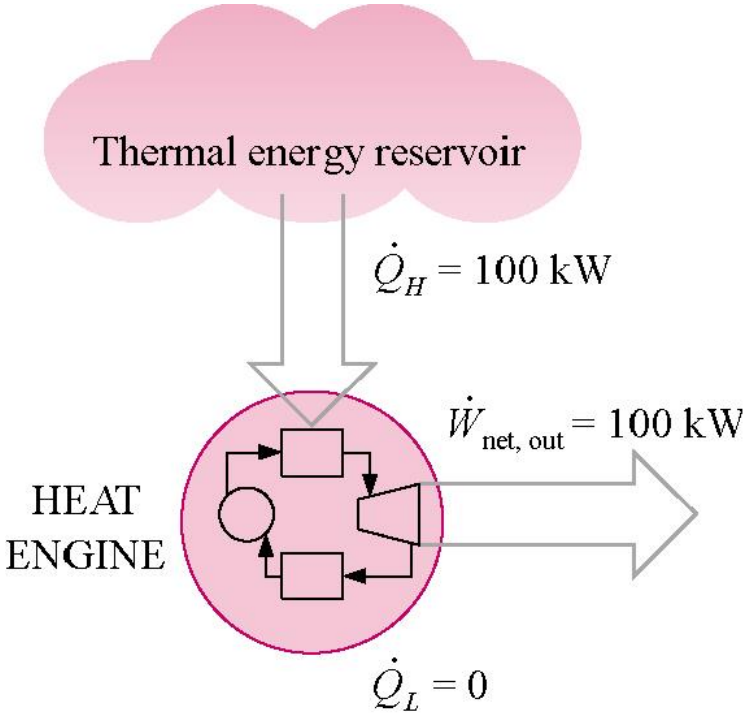




بیان کلوین – پلانک قانون دوم ترمودینامیک

- غیر ممکن است که یک سیکل ترمودینامیکی تنها با یک منبع حرارتی تبادل داشته باشد وکار تولید کند.
- طبق بیان کلوین – پلانک از قانون دوم، یک سیکل نمیتواند کار خالص تولید کند و تنها با یک منبع تبادل داشته باشد.
- به عبارت دیگر هیچ سیکلی با بازدهی صد در صدی وجود ندارد.

$$\eta_{th} < 100\%$$

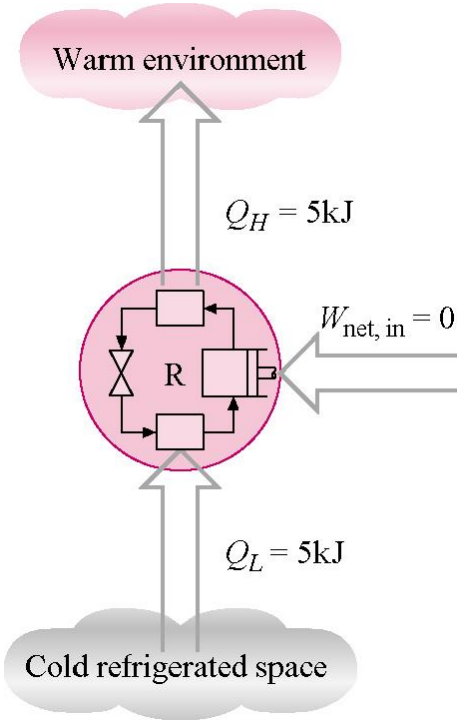


تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

بیان کلازیوس قانون دوم ترمودینامیک

- غیر ممکن است که یک سیکل ترمودینامیکی بدون انجام کار، حرارت را از جسم دما پایین به جسم دما پایین منتقل کند.
- طبق بیان کلازیوس از قانون دوم، بدون انجام کار یک سیکل نمی تواند حرارت را از منبع دما پایین به منبع دما بالا منتقل کند.
- به عبارت دیگر ضریب عملکرد کوچکتر ازبی نهایت است.

$$COP < \infty$$



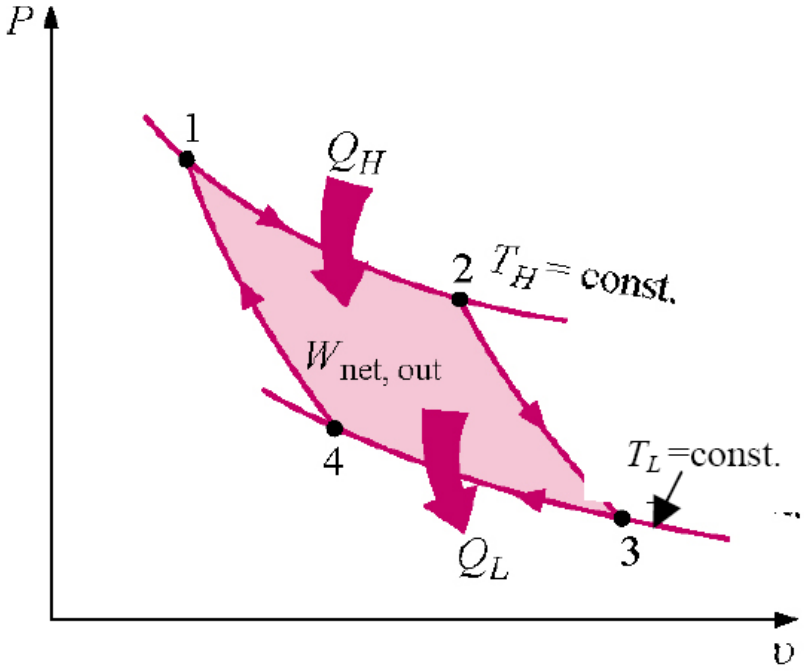
تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

برگشت پذیری در فرآیندها

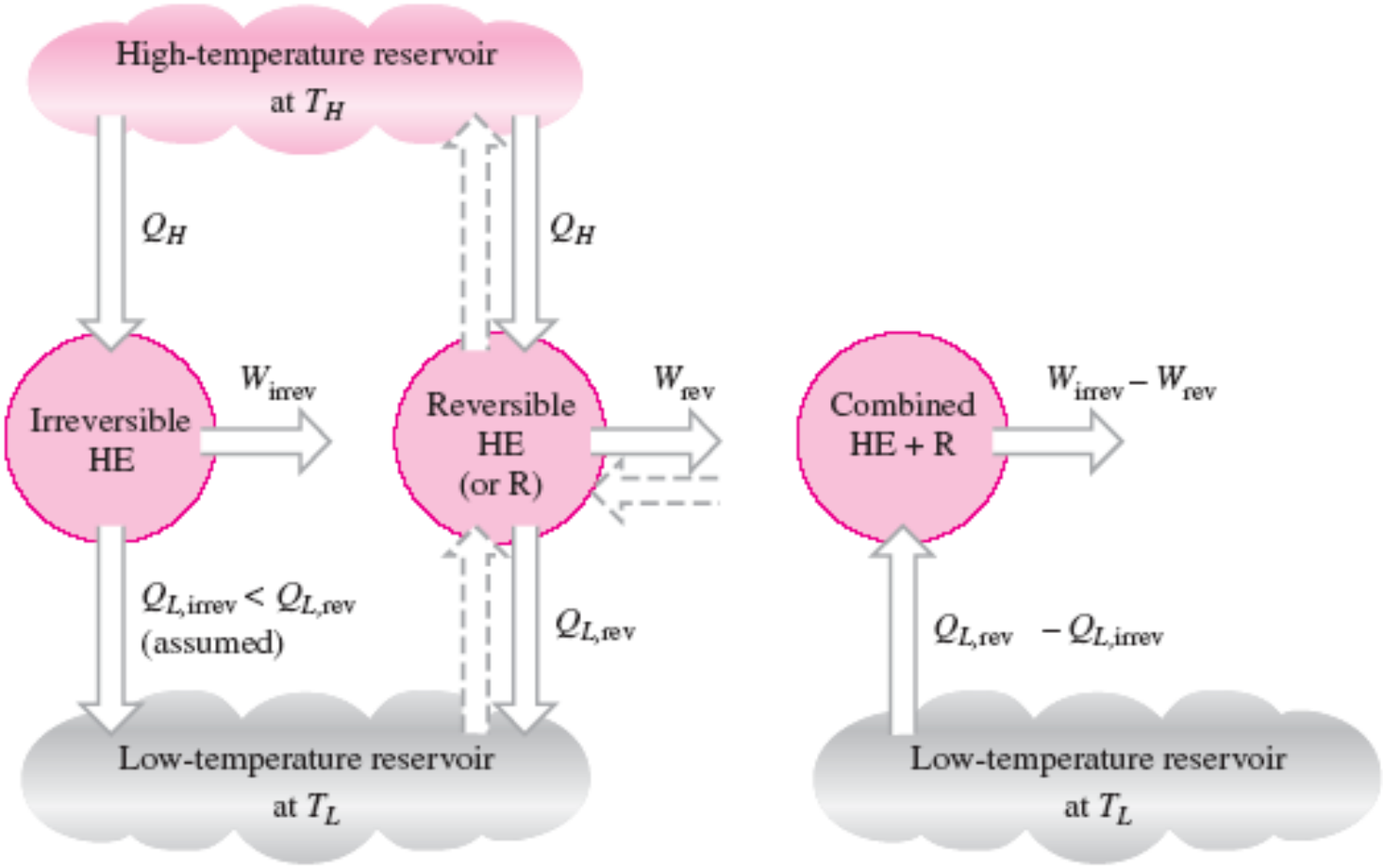
- فرآیند برگشت پذیر: فرآیندی شبه تعادلی یا شبه استاتیکی است که تحت شرایط خاصی صورت می پذیرد.
- فرآیند برگشت پذیر داخلی:
- فرآیند برگشت پذیر خارجی:
- فرآیند برگشت ناپذیر: فرآیندی که برگشت پذیر نیست. فرآیندهای واقعی، برگشت ناپذیرند. دلایل برگشت ناپذیری عبارتند از:
  - اصطکاک
  - انبساط آزاد گازها
  - انتقال حرارت ناشی از اختلاف دمای محدود
  - اختلاط دو ماده متفاوت
  - اثرات پسماندی
  - افت در مدارهای الکتریکی
  - هر گونه انحراف از وضعیت شبه تعادلی

سیکل کارنو

- اولین سیکلی که برای قانون دوم ترمودینامیکی بررسی می شود.
- برای بیان مفهوم برگشت پذیری در سیکل مطرح می شود.
- از دو فرآیند هم دما و دو فرآیند آدیاباتیک تشکیل شده است.



تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو



(*a*) A reversible and an irreversible heat engine operating between the same two reservoirs (the reversible heat engine is then reversed to run as a refrigerator)

(*b*) The equivalent combined system

تعریف

بازده گرمایی

پمپ حرارتی

قانون دوم

کلوین – پلانک

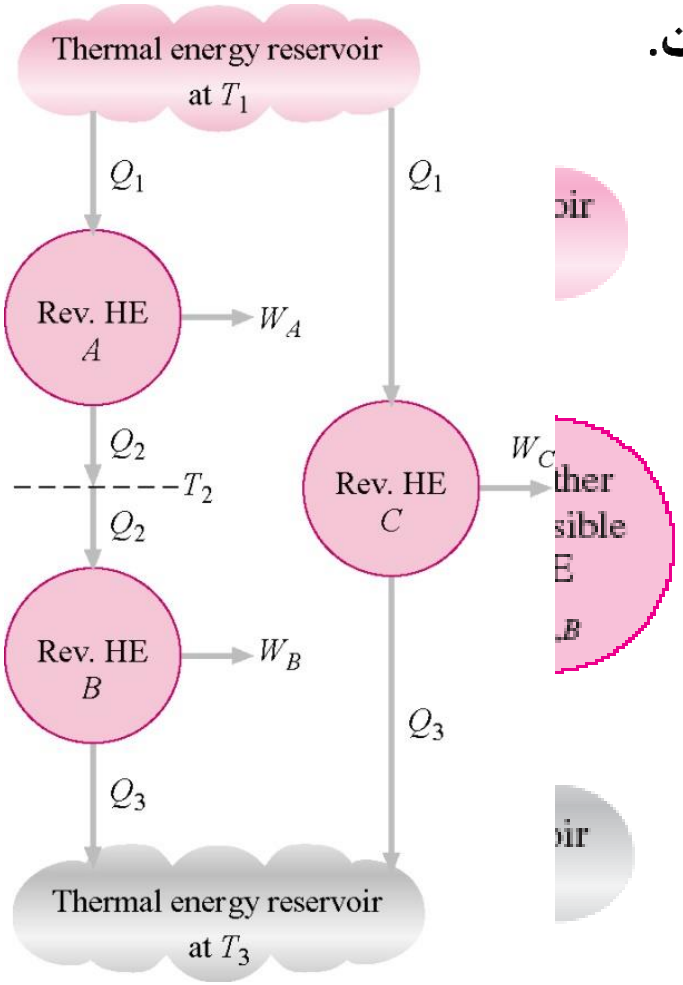
کلازیوس

بازگشت پذیری

سیکل کارنو

اصول سیکل کارنو

- بازدهی تمام موتورهای حرارتی برگشت پذیری که بین دو دمای بالا و پایین یکسان کار می کنند، یکسان است.



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

$$\eta_{th} = g(T_L, T_H) = 1 - f(T_L, T_H)$$

$$\frac{Q_1}{Q_3} = \frac{Q_1}{Q_2}\frac{Q_2}{Q_3}$$

$$f(T_1, T_3) = f(T_1, T_2)\, f(T_2, T_3)$$

$$f(T_1, T_3) = \frac{\theta(T_2)}{\theta(T_1)}\frac{\theta(T_3)}{\theta(T_2)} = \frac{\theta(T_3)}{\theta(T_1)}$$

$$f(T_1, T_3) = \frac{T_3}{T_1}$$

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

تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

بازده برگشت پذیر و برگشت ناپذیر

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

$$\eta_{th}\begin{cases}<\eta_{th,rev} & \text{irreversible heat engine}\\ =\eta_{th,rev} & \text{reversible heat engine}\\ >\eta_{th,rev} & \text{impossible heat engine}\end{cases}$$

$$COP_R=\frac{Q_L}{Q_H-Q_L}=\frac{1}{\frac{Q_H}{Q_L}-1}=\frac{T_L}{T_H-T_L}=\frac{1}{\frac{T_H}{T_L}-1}$$

$$COP_{HP}=\frac{Q_H}{Q_H-Q_L}=\frac{\frac{Q_H}{Q_L}}{\frac{Q_H}{Q_L}-1}=\frac{T_H}{T_H-T_L}=\frac{\frac{T_H}{T_L}}{\frac{T_H}{T_L}-1}$$

$$COP_R\begin{cases}<COP_{R,rev} & \text{irreversible refrigerator}\\ =COP_{R,rev} & \text{reversible refrigerator}\\ >COP_{R,rev} & \text{impossible refrigerator}\end{cases}$$

تعریف
بازده گرمایی
پمپ حرارتی
قانون دوم
کلوین – پلانک
کلازیوس
بازگشت پذیری
سیکل کارنو

چه آسان است

مرگی که در راه رسیدن به عزّت

و احیای حق باشد.

سیدالشهداء، امام حسین علیه السلام