

جلسه بیست و چهارم

ترمودینامیک و مکانیک آماری

محمدرضا مظفری
گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه
دانشگاه قم
مهر ۹۹

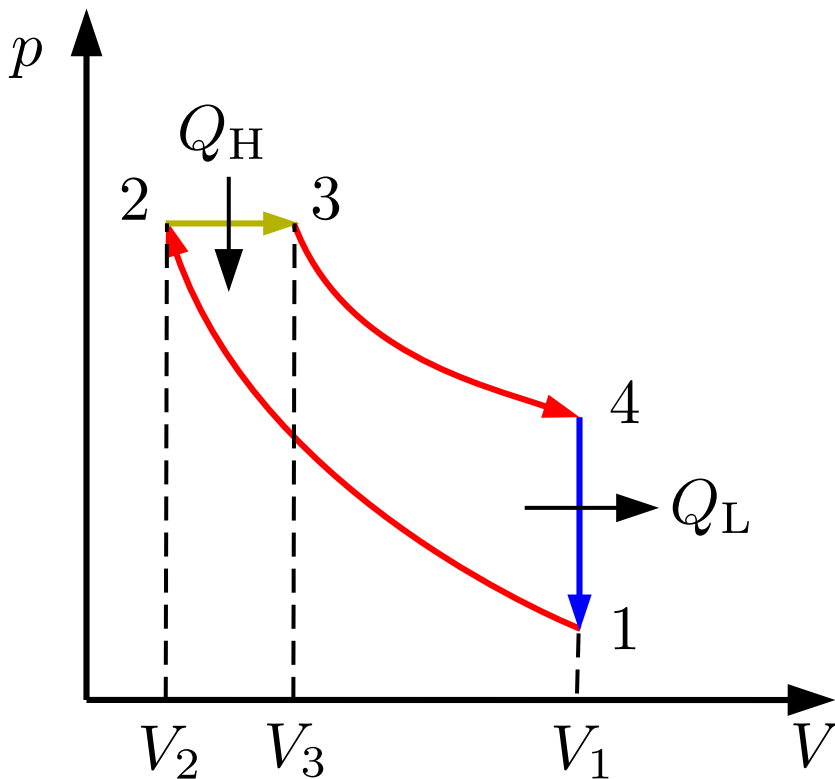
مفاهیمی در فیزیک حرارت

مطالب و عناوین:

- مبانی آماری فیزیک حرارت
- ریاضیات مفید
- گرما
- احتمال
- دما و فاکتور بولتزمن
- توزیع ماکسول بولتزمن
- فشار
- اثر افیوژن مولکولی
- پویش آزاد متوسط و برخوردها
- انرژی و قانون اول ترمودینامیک
- فرایندهای همدمای و بی‌دررو
- ماشین‌های حرارتی و قانون دوم ترمودینامیک
- انتروپی

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

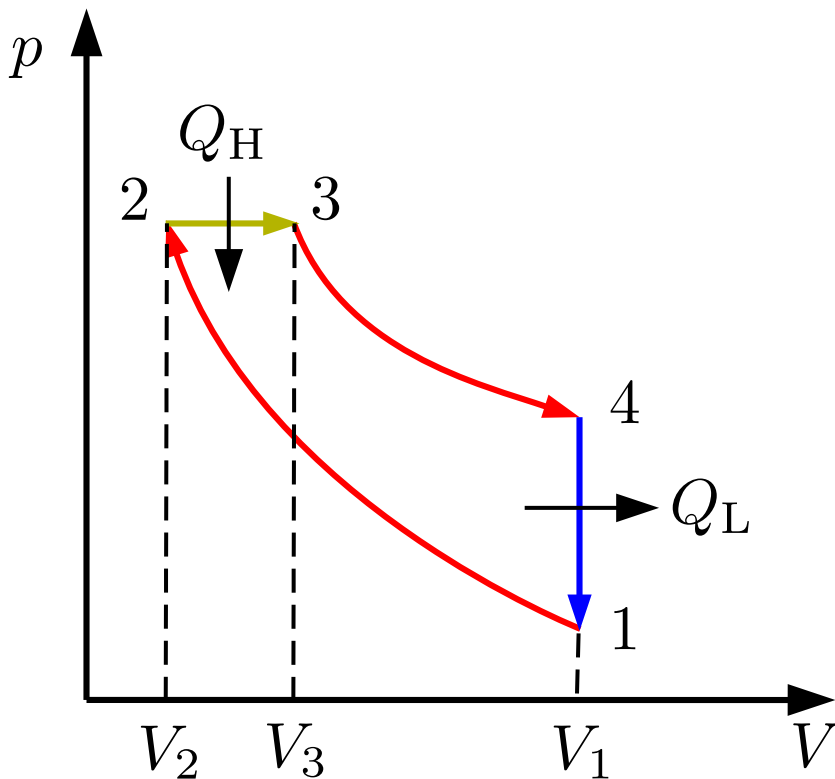
مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r = V_1/V_2$ ، $r_c = V_3/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازه چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو	1	→	2 :	$Q_{12} = 0$
هم‌فشار	2	→	3 :	$Q_{23} = C_p(T_3 - T_2)$
				$W_{23} = -p_2(V_3 - V_2)$
بی‌دررو	3	→	4 :	$Q_{34} = 0$
هم‌حجم	4	→	1 :	$Q_{41} = C_V(T_1 - T_4)$
				$W_{41} = 0$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r = V_1/V_2$ ، $r_c = V_3/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازه چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو

1 → 2 : $Q_{12} = 0$

هم‌فشار

2 → 3 : $Q_H = C_p(T_3 - T_2)$
 $W_{23} = -p_2(V_3 - V_2)$

بی‌دررو

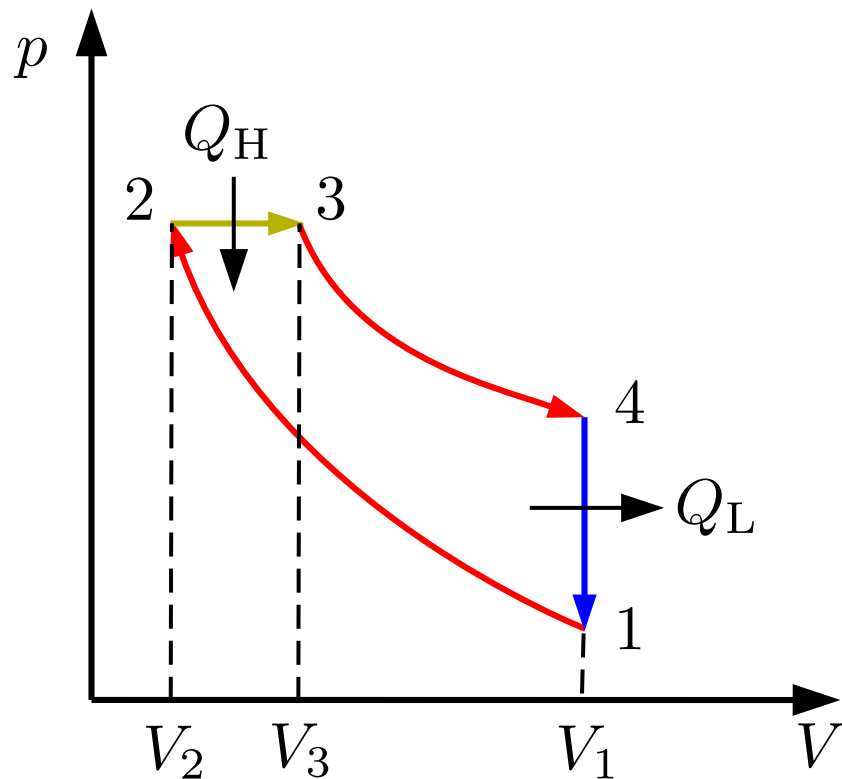
3 → 4 : $Q_{34} = 0$

هم‌حجم

4 → 1 : $Q_L = C_V(T_1 - T_4)$
 $W_{41} = 0$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r = V_1/V_2$ ، $r_c = V_3/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



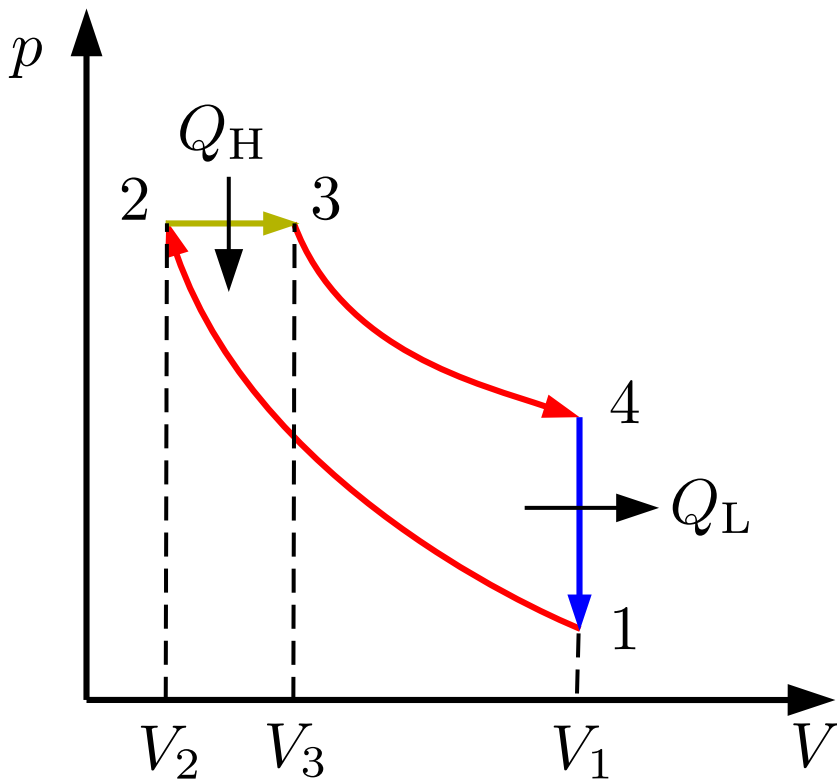
$$\begin{cases} Q_H = C_p(T_3 - T_2) > 0 \\ Q_L = C_V(T_1 - T_4) < 0 \end{cases}$$

$$\eta = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right|$$

$$\eta = 1 - \frac{C_V(T_4 - T_1)}{C_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r_c = V_3/V_2$ ، $r = V_1/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازه چرخه را بدست آورید.



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

بی‌دررو $1 \rightarrow 2$: $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

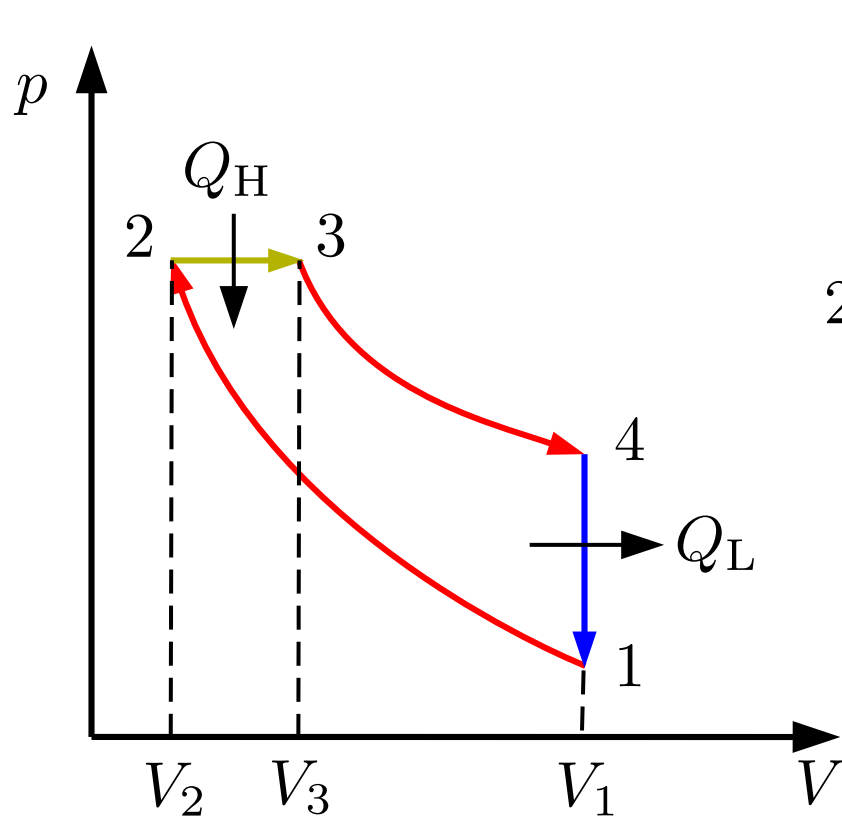
بی‌دررو $3 \rightarrow 4$: $T_4 V_1^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$ +

$$(T_4 - T_1) V_1^{\gamma-1} = (T_3 V_3^{\gamma-1} - T_2 V_2^{\gamma-1})$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left(\frac{T_3 V_3^{\gamma-1} - T_2 V_2^{\gamma-1}}{T_3 - T_2} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r_c = V_3/V_2$ ، $r = V_1/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کار یک گاز ایده‌آل باشد. بازه چرخه را بدست آورید.



$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left(\frac{T_3 V_3^{\gamma-1} - T_2 V_2^{\gamma-1}}{T_3 - T_2} \right)$$

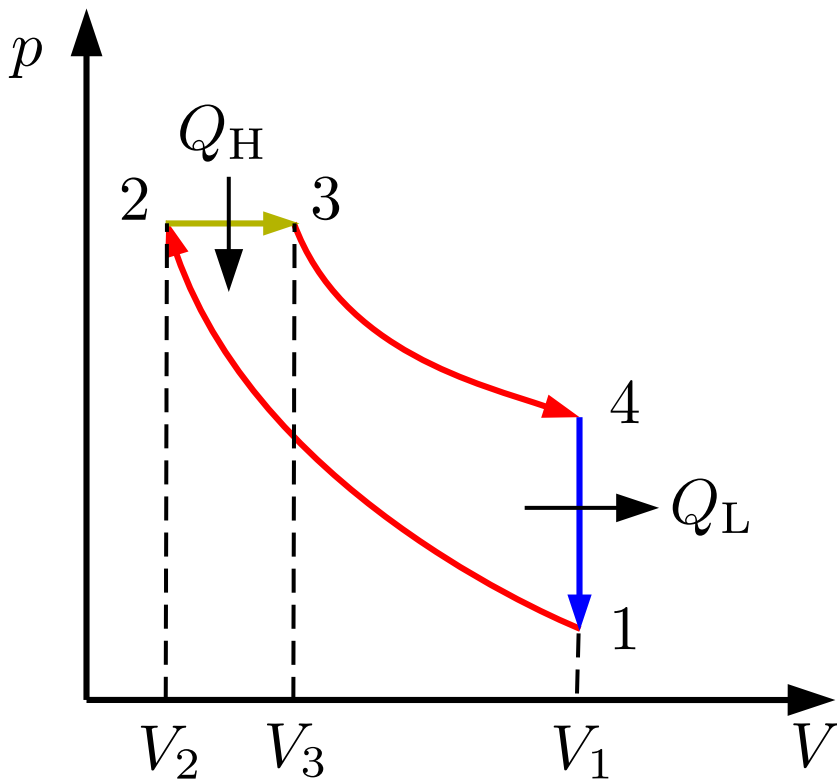
هم فشار $2 \rightarrow 3$: $\frac{V_2}{V_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow T_2 = T_3 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left[\frac{T_3 V_3^{\gamma-1} - T_3 \left(\frac{V_2^\gamma}{V_3} \right)}{T_3 - T_3 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)} \right]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left(\frac{V_3^\gamma - V_2^\gamma}{V_3 - V_2} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r_c = V_3/V_2$ ، $r = V_1/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



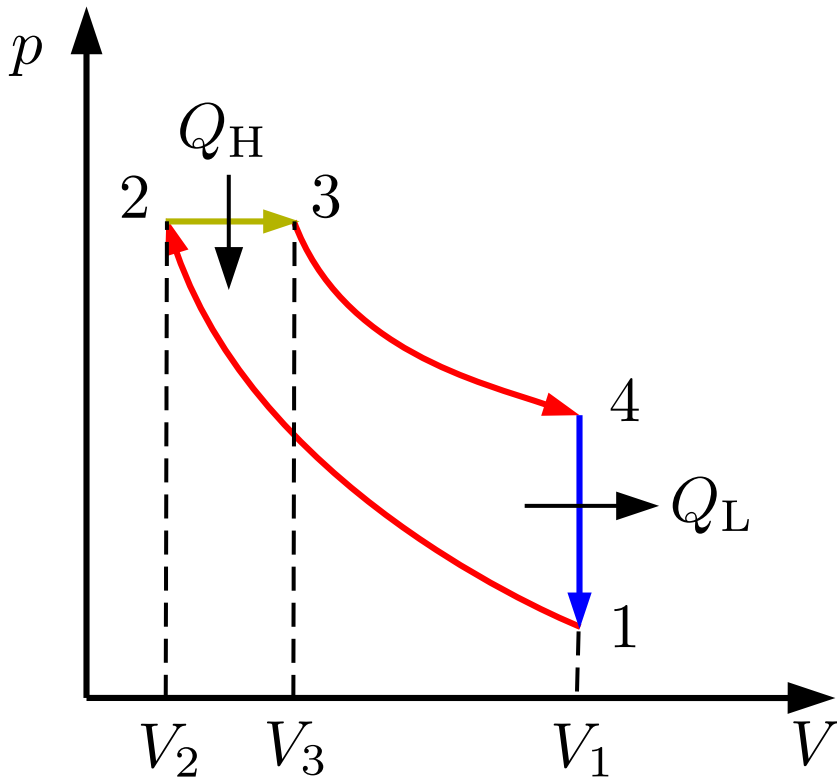
$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \left(\frac{V_3^\gamma - V_2^\gamma}{V_3 - V_2} \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{V_1^{\gamma-1}} \frac{V_2^\gamma}{V_2} \left[\frac{\left(\frac{V_3}{V_2} \right)^\gamma - 1}{\left(\frac{V_3}{V_2} \right) - 1} \right]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \left[\frac{\left(\frac{V_3}{V_2} \right)^\gamma - 1}{\left(\frac{V_3}{V_2} \right) - 1} \right]$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۱: چرخه‌ی دیزلی، اگر $r = V_1/V_2$ ، $r_c = V_3/V_2$ ، $\gamma = C_p/C_V$ و فرض کنید ماده کار یک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.

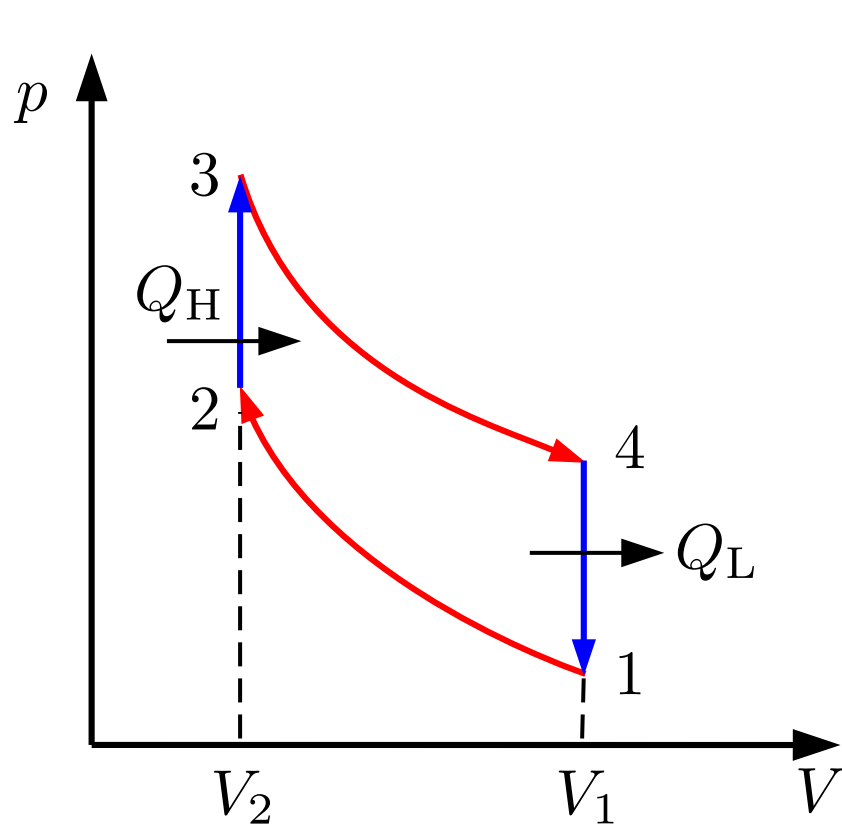


$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \left[\frac{\left(\frac{V_3}{V_2} \right)^{\gamma} - 1}{\left(\frac{V_3}{V_2} \right) - 1} \right]$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left(\frac{r_c^{\gamma} - 1}{r_c - 1} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو

1 \longrightarrow 2 : $Q_{12} = 0$

هم‌حجم

2 \longrightarrow 3 : $Q_{23} = C_V(T_3 - T_2)$
 $W_{23} = 0$

بی‌دررو

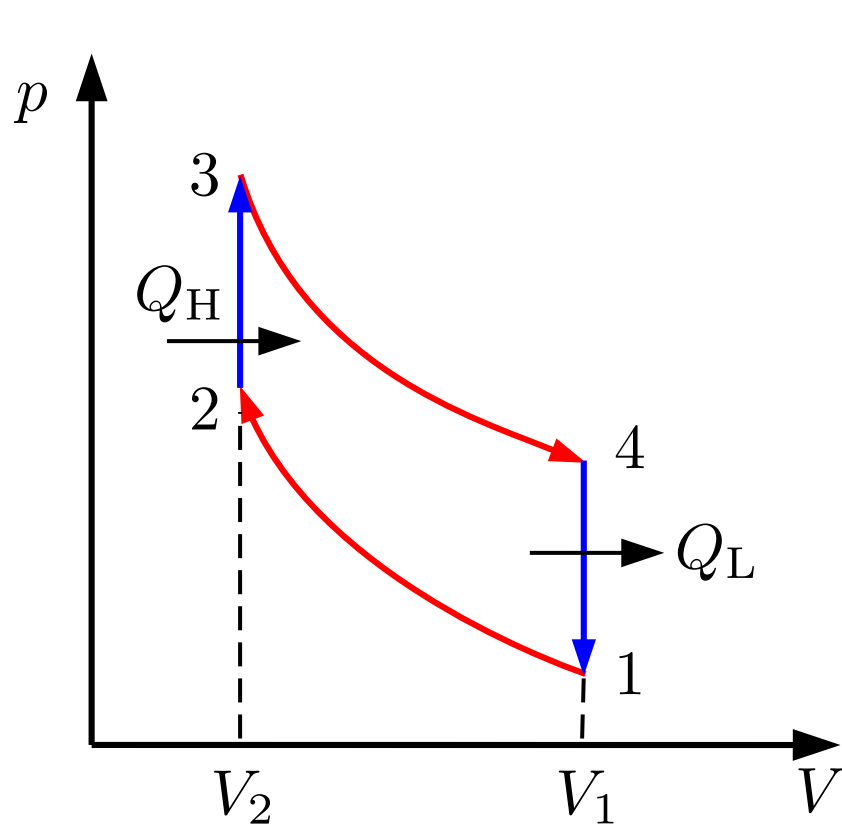
3 \longrightarrow 4 : $Q_{34} = 0$

هم‌حجم

4 \longrightarrow 1 : $Q_{41} = C_V(T_1 - T_4)$
 $W_{41} = 0$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو

1 \rightarrow 2 : $Q_{12} = 0$

هم‌حجم

2 \rightarrow 3 : $Q_H = C_V(T_3 - T_2)$
 $W_{23} = 0$

بی‌دررو

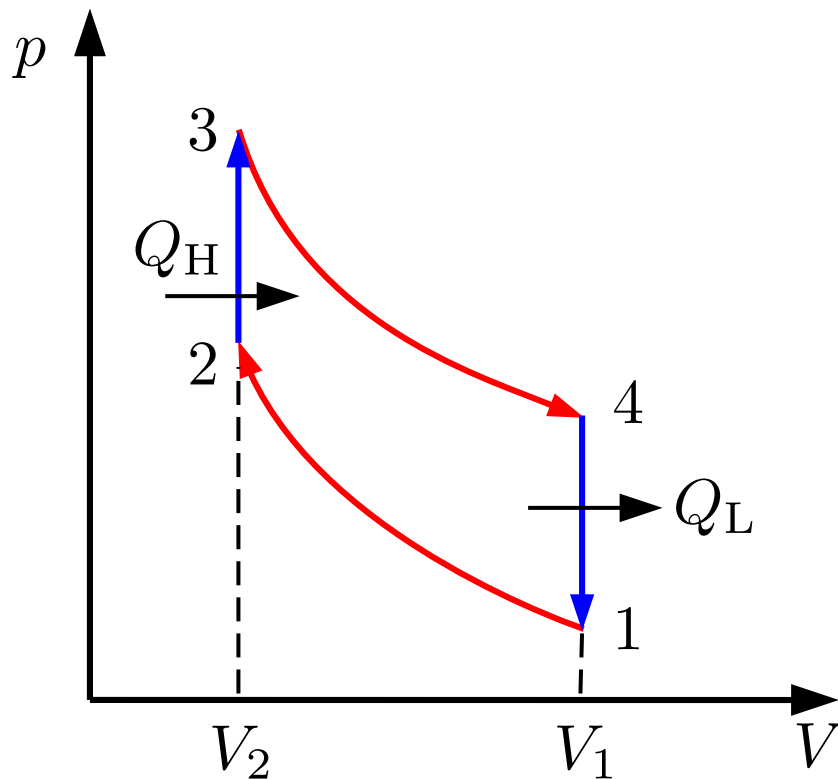
3 \rightarrow 4 : $Q_{34} = 0$

هم‌حجم

4 \rightarrow 1 : $Q_L = C_V(T_1 - T_4)$
 $W_{41} = 0$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



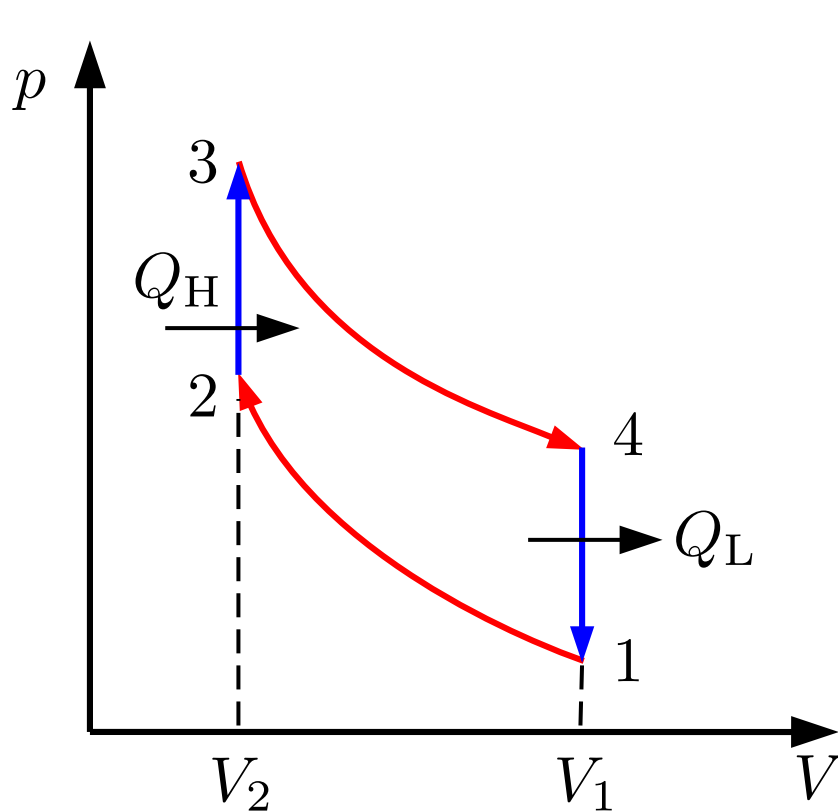
$$\begin{cases} Q_H = C_V(T_3 - T_2) > 0 \\ Q_L = C_V(T_1 - T_4) < 0 \end{cases}$$

$$\eta = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right|$$

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

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



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

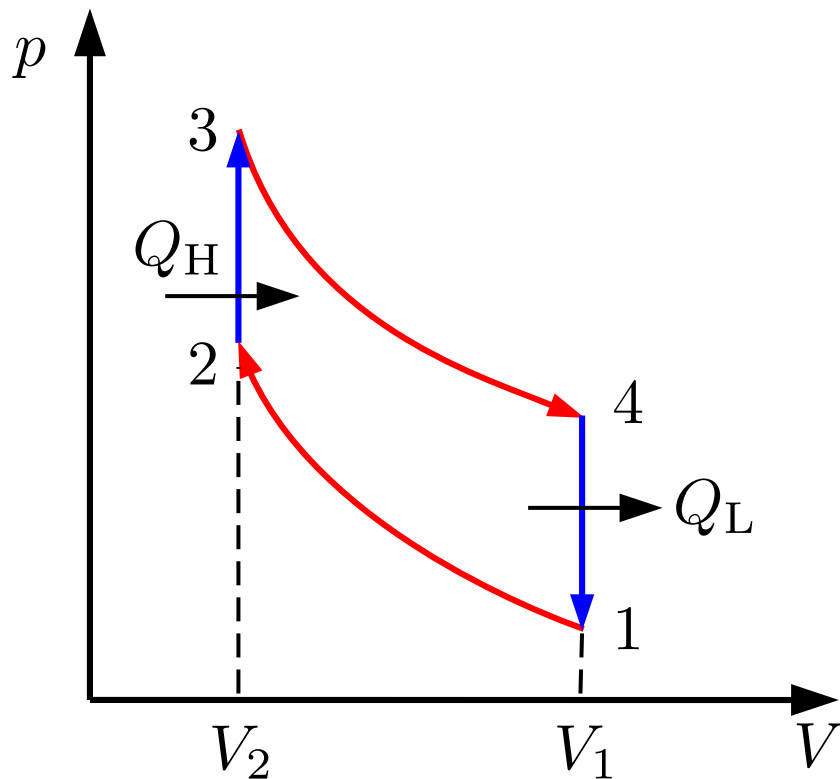
بی‌دررو $1 \rightarrow 2$: $T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$

بی‌دررو $3 \rightarrow 4$: $T_4 V_1^{\gamma-1} = T_3 V_2^{\gamma-1}$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \quad T_4 = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



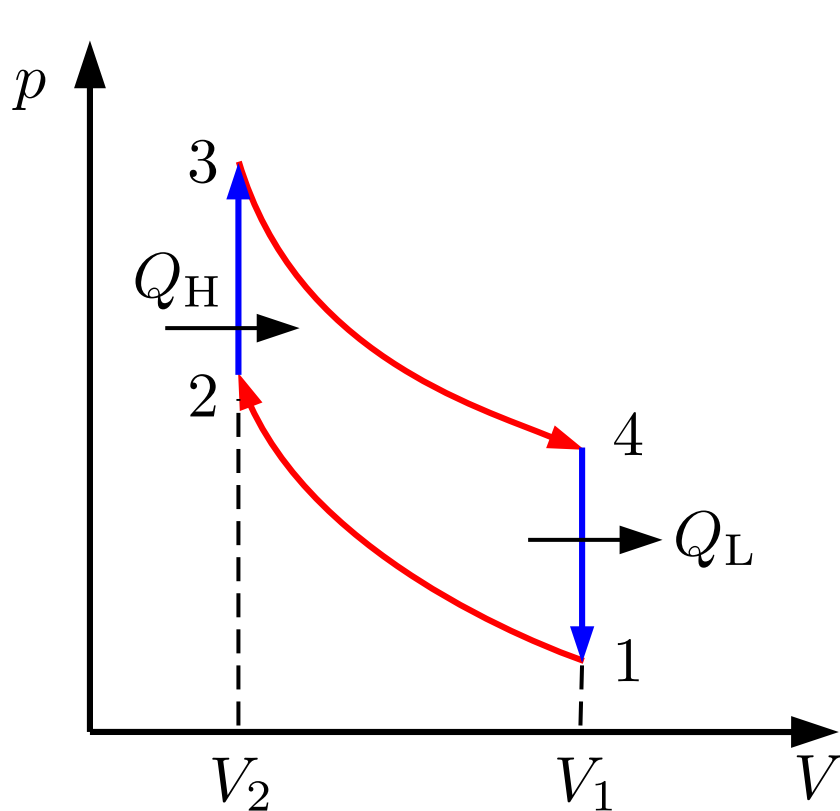
$$\eta = 1 - \left(\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \right)$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}, \quad T_4 = T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1}$$

$$\eta = 1 - \left[\frac{T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} - T_1}{T_3 - T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}} \right]$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۲: چرخه‌ی اتو، اگر $r = V_1/V_2$ و فرض کنید ماده کاریک گاز ایده‌آل باشد. بازده چرخه را بدست آورید.



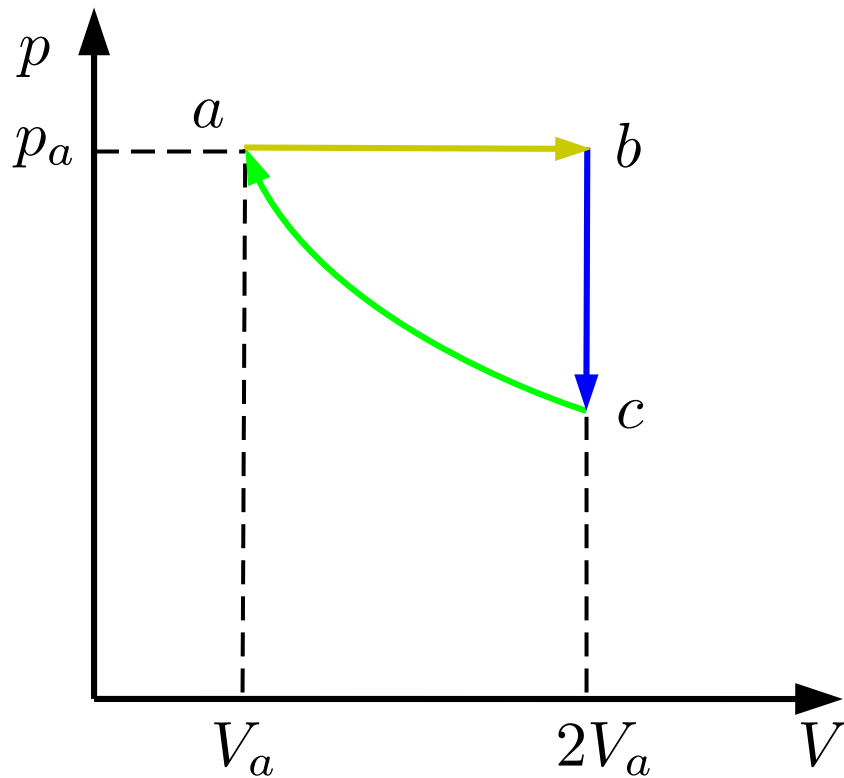
$$\eta = 1 - \left[\frac{T_3 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} - T_1}{T_3 - T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}} \right]$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \left[\frac{T_3 - T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}}{T_3 - T_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1}} \right]$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 1 - r^{1-\gamma}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۳: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



هم فشار
 $a \longrightarrow b$: $Q_{ab} = C_p(T_b - T_a)$
 $W_{ab} = -p_a(V_b - V_a)$

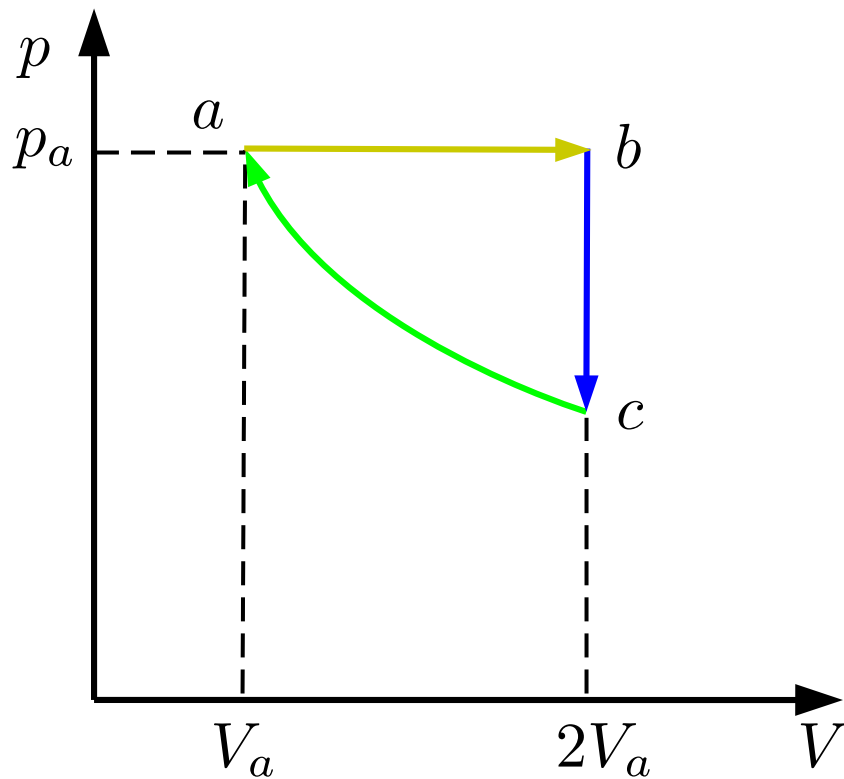
هم حجم
 $b \longrightarrow c$: $Q_{bc} = C_V(T_c - T_b)$
 $W_{bc} = 0$

همدما
 $c \longrightarrow a$: $T_c = T_a$
 $Q_{ca} = -W_{ca}$

$$W_{ca} = -Nk_B T_c \int_{2V_a}^{V_a} \frac{dV}{V}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۳: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



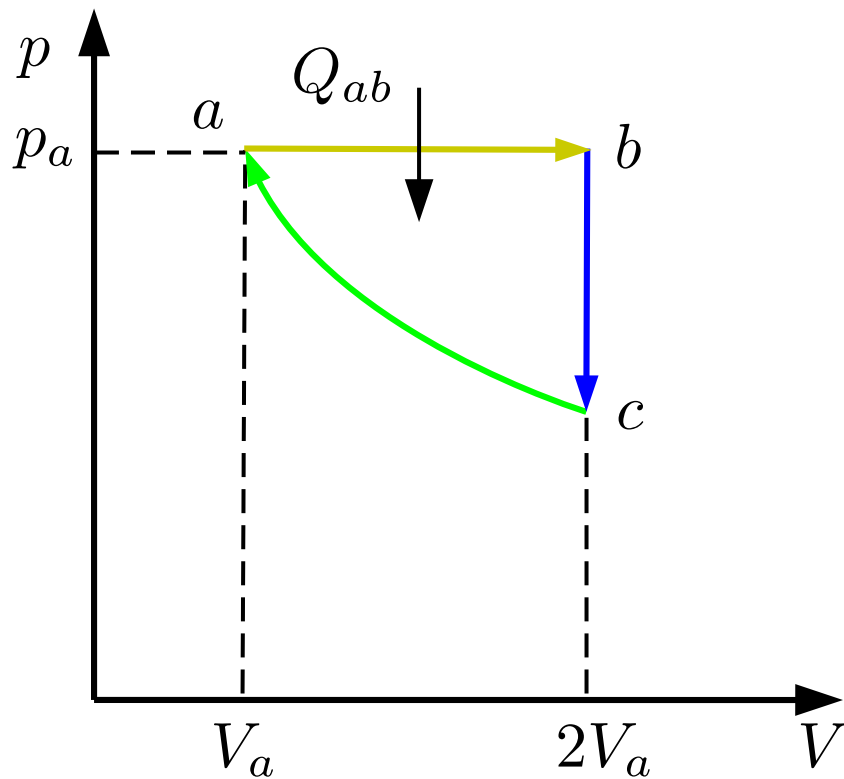
هم فشار
 $a \longrightarrow b$: $Q_{ab} = C_p(T_b - T_a)$
 $W_{ab} = -p_a(V_b - V_a)$

هم حجم
 $b \longrightarrow c$: $Q_{bc} = C_V(T_c - T_b)$
 $W_{bc} = 0$

همدما
 $c \longrightarrow a$: $T_c = T_a$
 $Q_{ca} = -W_{ca}$
 $W_{ca} = Nk_B T_c \ln 2$
 $Q_{ca} = -Nk_B T_c \ln 2$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۳: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



$$Q_{ab} = C_p(T_b - T_a) = \frac{5}{2}Nk_B(T_b - T_a)$$

$$W_{ab} = -p_a(V_b - V_a) = -p_a V_a = -Nk_B T_a$$

$$W_{ca} = Nk_B T_c \ln 2$$

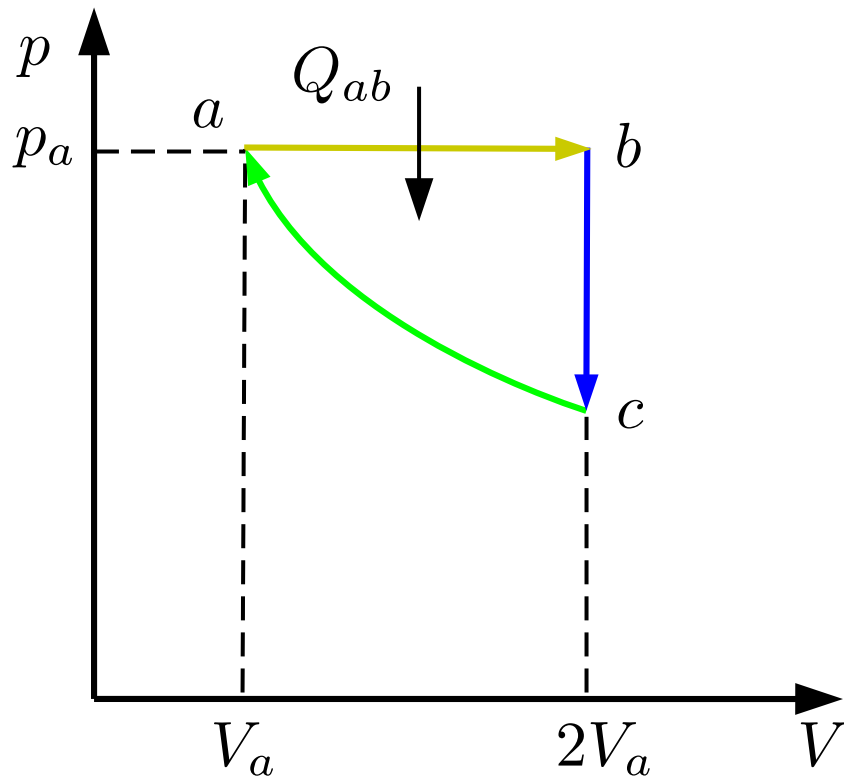
$$W_{\text{tot}} = W_{ab} + W_{ca} = Nk_B T_c \ln 2 - p_a V_a$$

$$W_{\text{tot}} = W_{ab} + W_{ca} = Nk_B T_c \ln 2 - Nk_B T_a$$

$$\eta = \left| \frac{W_{\text{out}}}{Q_{ab}} \right| = \frac{2}{5} \left| \frac{T_a(\ln 2 - 1)}{T_b - T_a} \right|$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۳: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



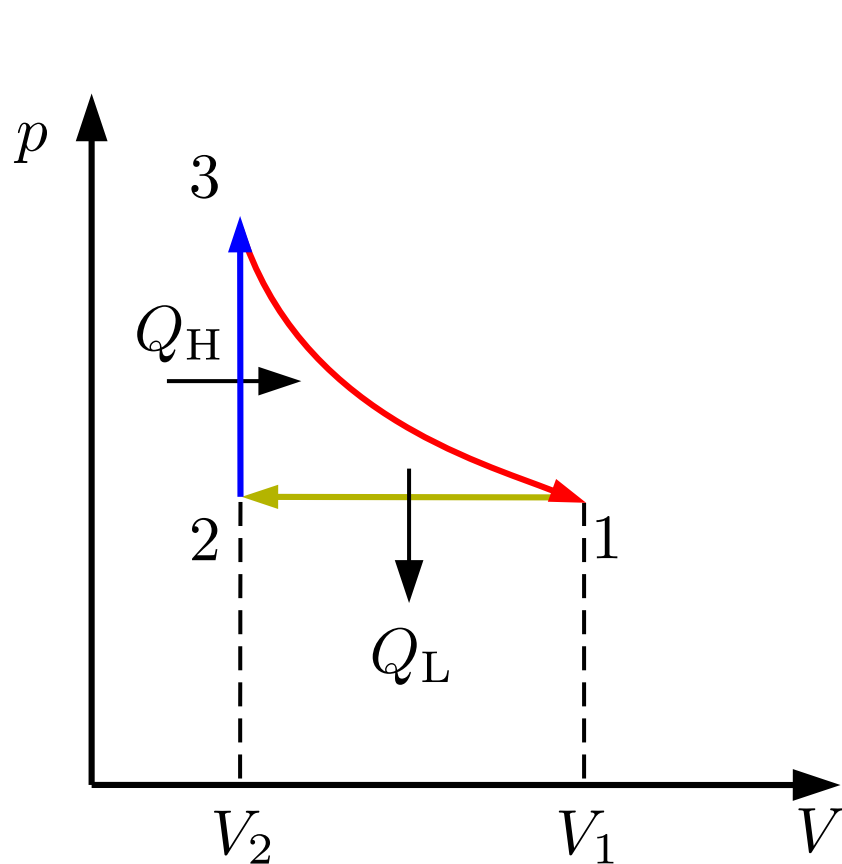
$$\eta = \frac{2}{5} \left| \frac{T_a(\ln 2 - 1)}{T_b - T_a} \right|$$

$$a \longrightarrow b : \quad \frac{T_a}{V_a} = \frac{T_b}{V_b} \Rightarrow T_b = 2T_a$$

$$\eta = \frac{2}{5} |\ln 2 - 1|$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



هم فشار

$$1 \longrightarrow 2 : \quad Q_{12} = C_p(T_2 - T_1)$$
$$W_{12} = -p_1(V_2 - V_1)$$

هم حجم

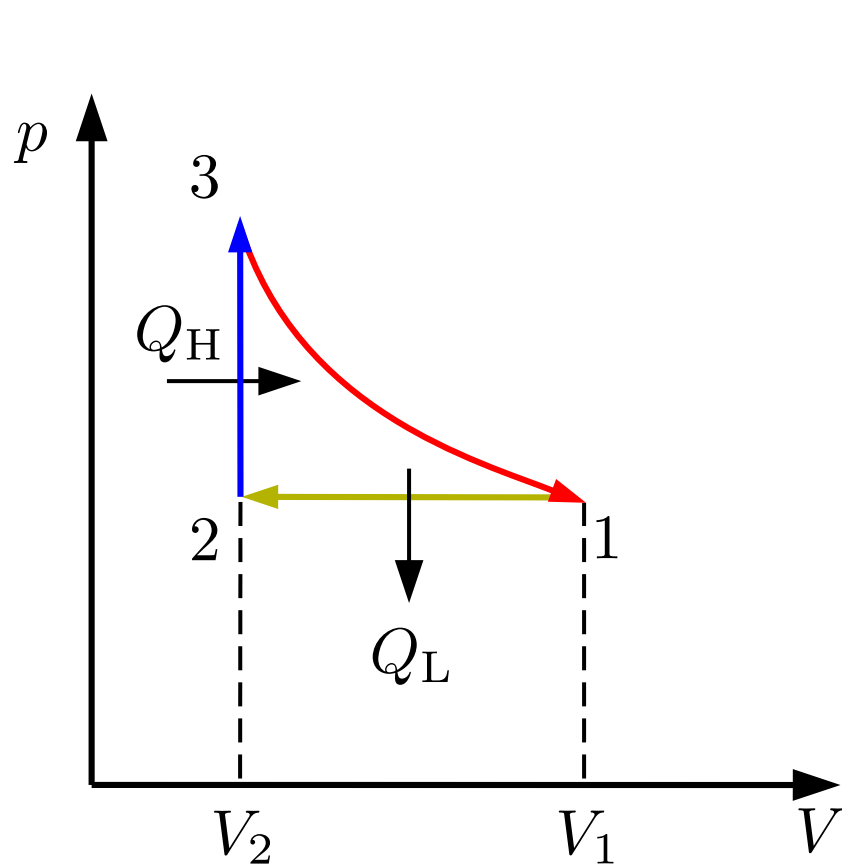
$$2 \longrightarrow 3 : \quad Q_{23} = C_V(T_3 - T_2)$$
$$W_{23} = 0$$

بی‌دررو

$$3 \longrightarrow 1 : \quad Q_{31} = 0$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



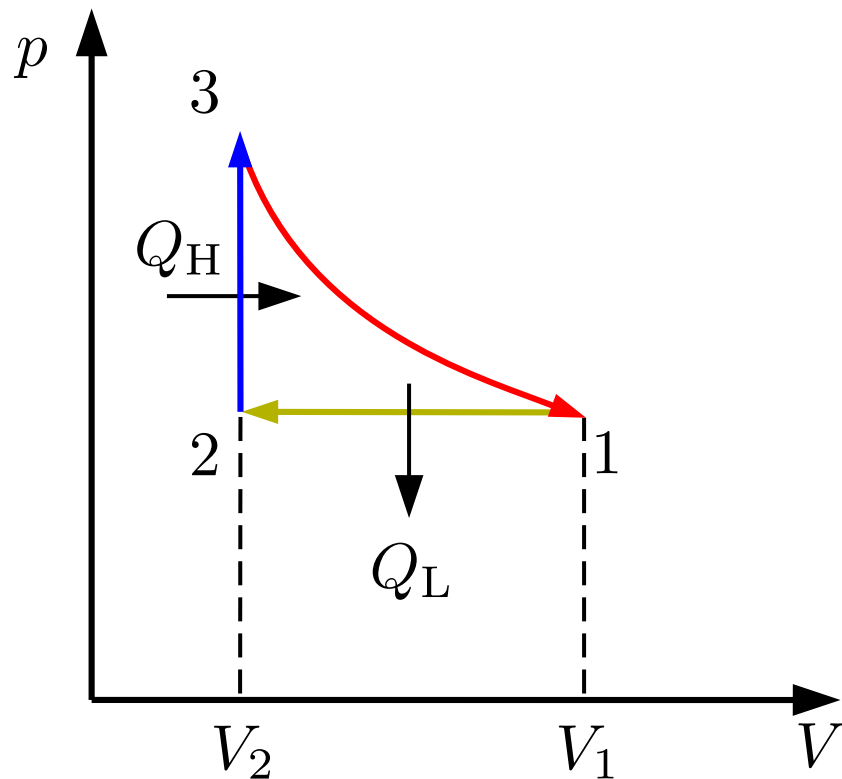
هم فشار
1 \longrightarrow 2 : $Q_L = C_p(T_2 - T_1)$
 $W_{12} = -p_1(V_2 - V_1)$

هم حجم
2 \longrightarrow 3 : $Q_H = C_V(T_3 - T_2)$
 $W_{23} = 0$

بی‌دررو
3 \longrightarrow 1 : $Q_{31} = 0$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



$$\begin{cases} Q_L = C_p(T_2 - T_1) < 0 \\ Q_H = C_V(T_3 - T_2) > 0 \end{cases}$$

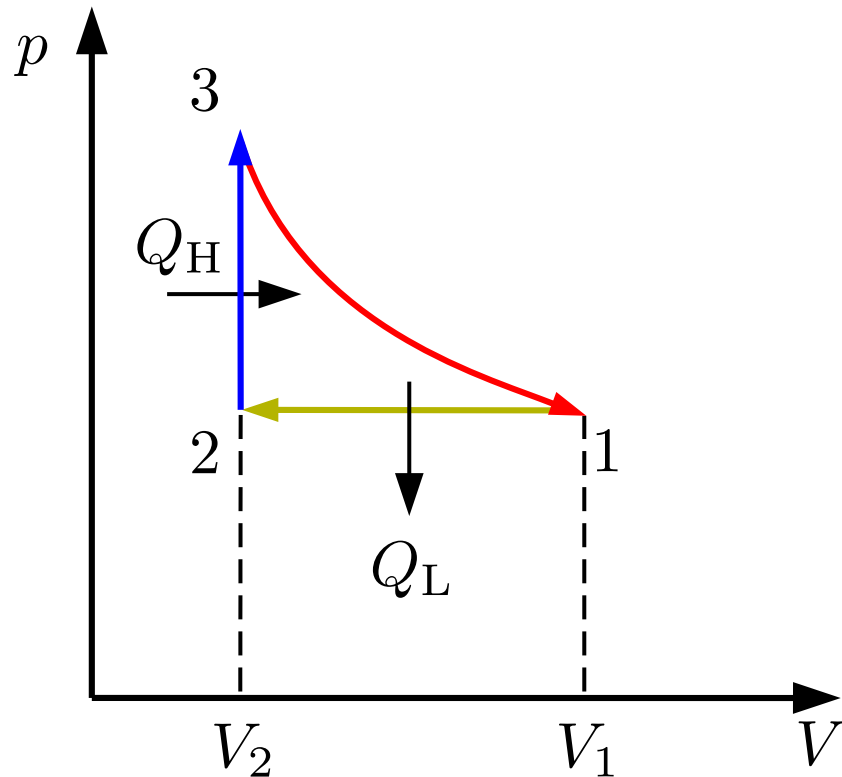
$$\eta = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right|$$

$$\eta = 1 - \frac{C_p(T_1 - T_2)}{C_V(T_3 - T_2)} = 1 - \gamma \left(\frac{T_1 - T_2}{T_3 - T_2} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.

$$\eta = 1 - \gamma \left(\frac{T_1 - T_2}{T_3 - T_2} \right)$$



هم فشار

$$1 \longrightarrow 2 : p_1 = p_2$$

$$Nk_B T_1 / V_1 = Nk_B T_2 / V_2$$

هم حجم

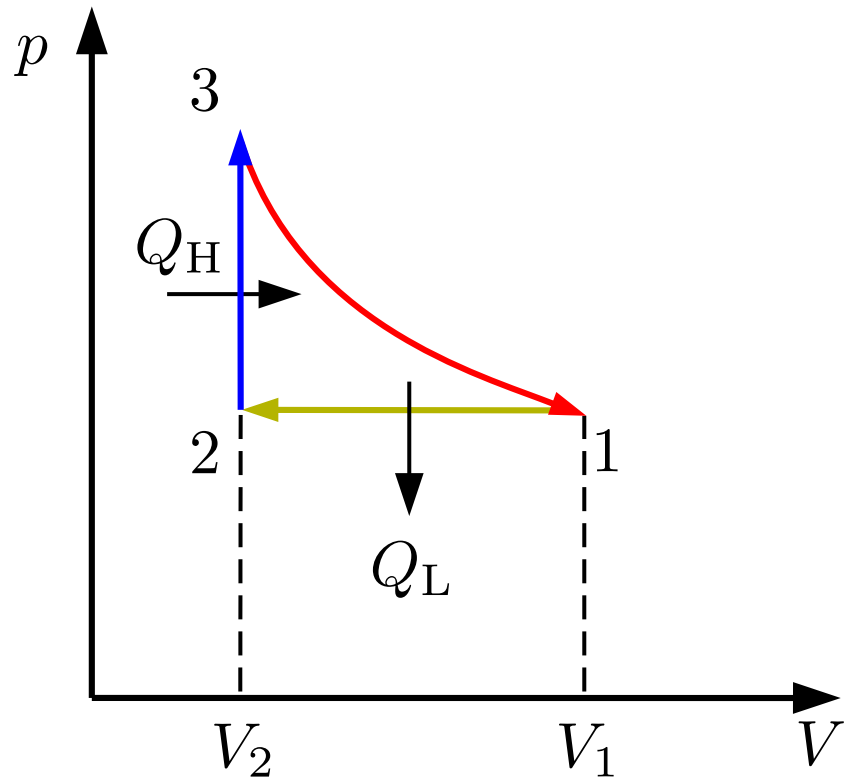
$$2 \longrightarrow 3 : V_2 = V_3$$

$$Nk_B T_2 / p_2 = Nk_B T_3 / p_3$$

$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{Nk_B}, \quad T_2 = \frac{p_1 V_2}{Nk_B}, \quad T_3 = \frac{p_2 V_2}{Nk_B}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



$$\eta = 1 - \gamma \left(\frac{T_1 - T_2}{T_3 - T_2} \right)$$

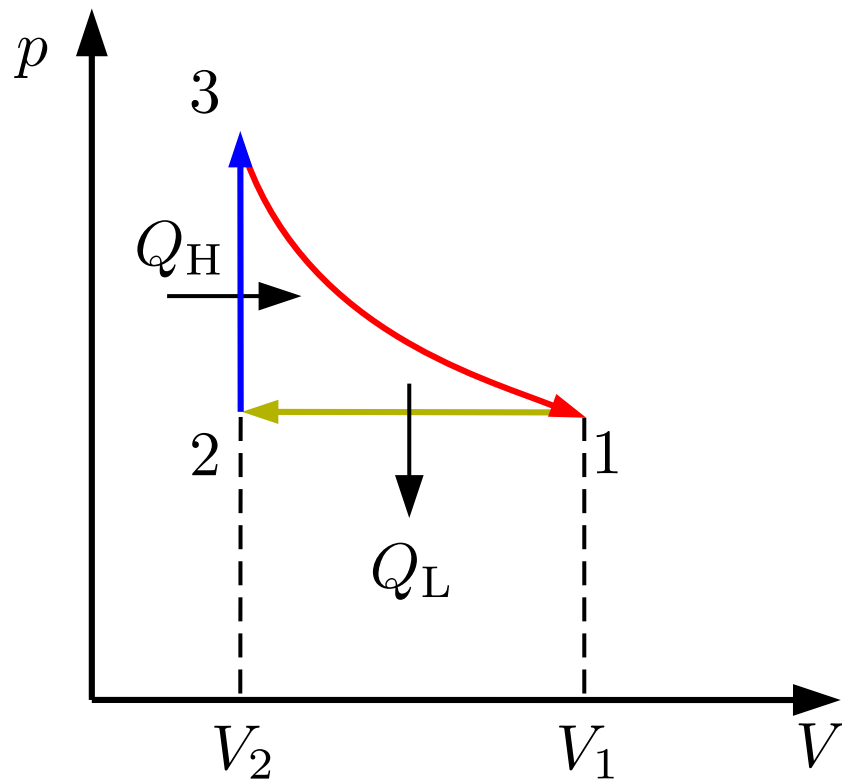
$$T_1 = \frac{p_1 V_1}{N k_B}, \quad T_2 = \frac{p_1 V_2}{N k_B}, \quad T_3 = \frac{p_2 V_2}{N k_B}$$

$$\eta = 1 - \gamma \left[\frac{\left(\frac{p_1 V_1}{N k_B} \right) - \left(\frac{p_1 V_2}{N k_B} \right)}{\left(\frac{p_2 V_2}{N k_B} \right) - \left(\frac{p_1 V_2}{N k_B} \right)} \right]$$

$$\eta = 1 - \gamma \left(\frac{p_1 V_1 - p_1 V_2}{p_2 V_2 - p_1 V_2} \right)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۴: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



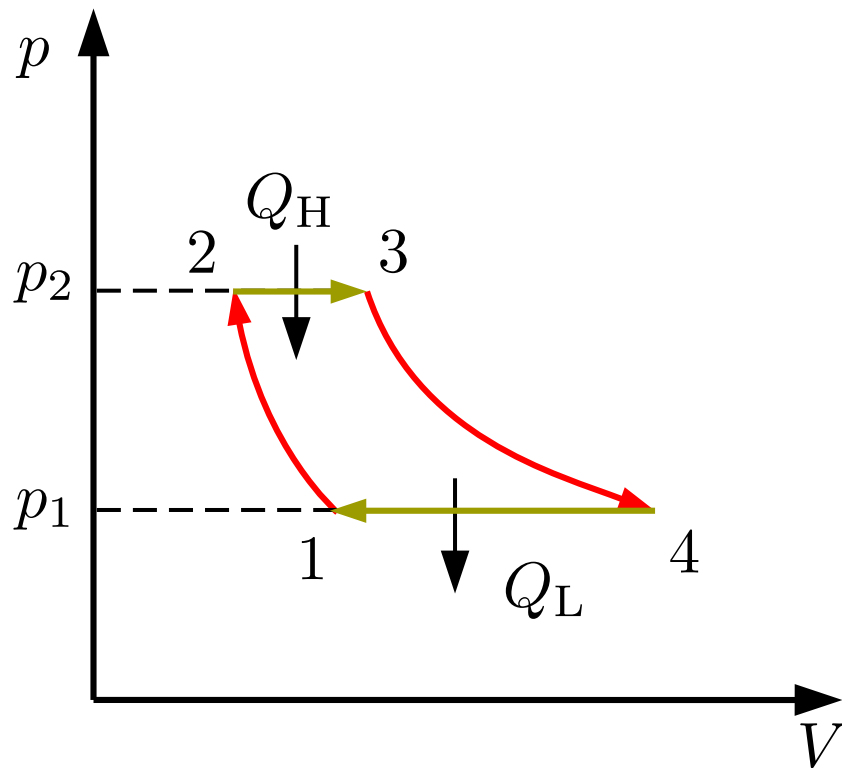
$$\eta = 1 - \gamma \left(\frac{p_1 V_1 - p_1 V_2}{p_2 V_2 - p_1 V_2} \right)$$

$$\eta = 1 - \gamma \left[\frac{\frac{p_1 V_1 - p_1 V_2}{p_1 V_2}}{\frac{p_2 V_2 - p_1 V_2}{p_1 V_2}} \right]$$

$$\eta = 1 - \gamma \left[\frac{\frac{V_1}{V_2} - 1}{\frac{p_2}{p_1} - 1} \right]$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو
1 \rightarrow 2 : $Q_{12} = 0$

هم‌فشار
2 \rightarrow 3 : $Q_{23} = C_p(T_3 - T_2)$

$$W_{23} = -p_2(V_3 - V_2)$$

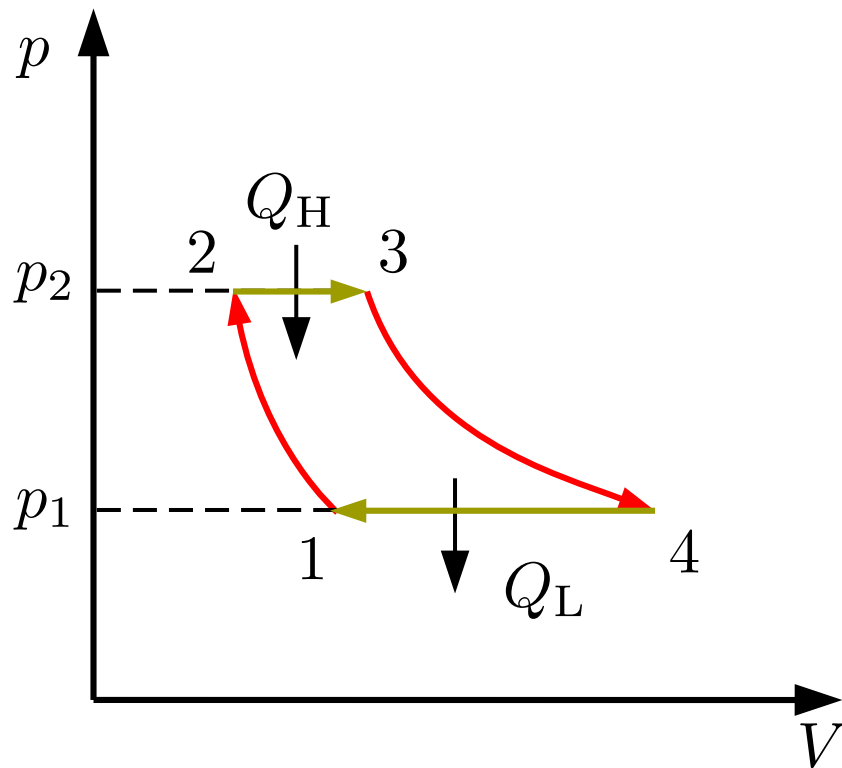
بی‌دررو
3 \rightarrow 4 : $Q_{34} = 0$

هم‌فشار
4 \rightarrow 1 : $Q_{41} = C_p(T_1 - T_4)$

$$W_{41} = -p_1(V_1 - V_4)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو
1 \longrightarrow 2 : $Q_{12} = 0$

هم‌فشار
2 \longrightarrow 3 : $Q_H = C_p(T_3 - T_2)$

$$W_{23} = -p_2(V_3 - V_2)$$

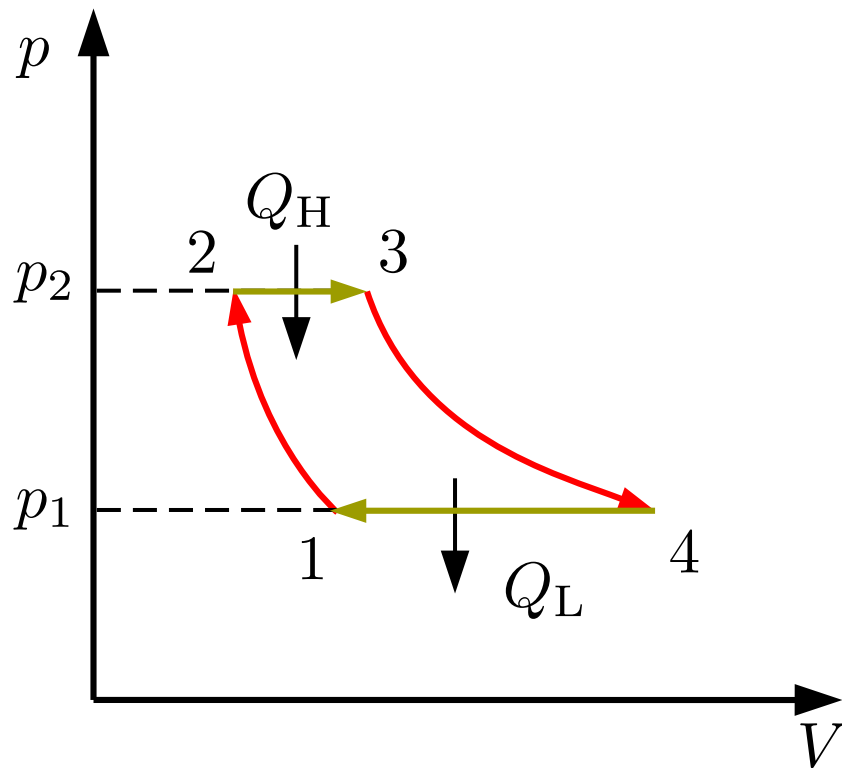
بی‌دررو
3 \longrightarrow 4 : $Q_{34} = 0$

هم‌فشار
4 \longrightarrow 1 : $Q_L = C_p(T_1 - T_4)$

$$W_{41} = -p_1(V_1 - V_4)$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



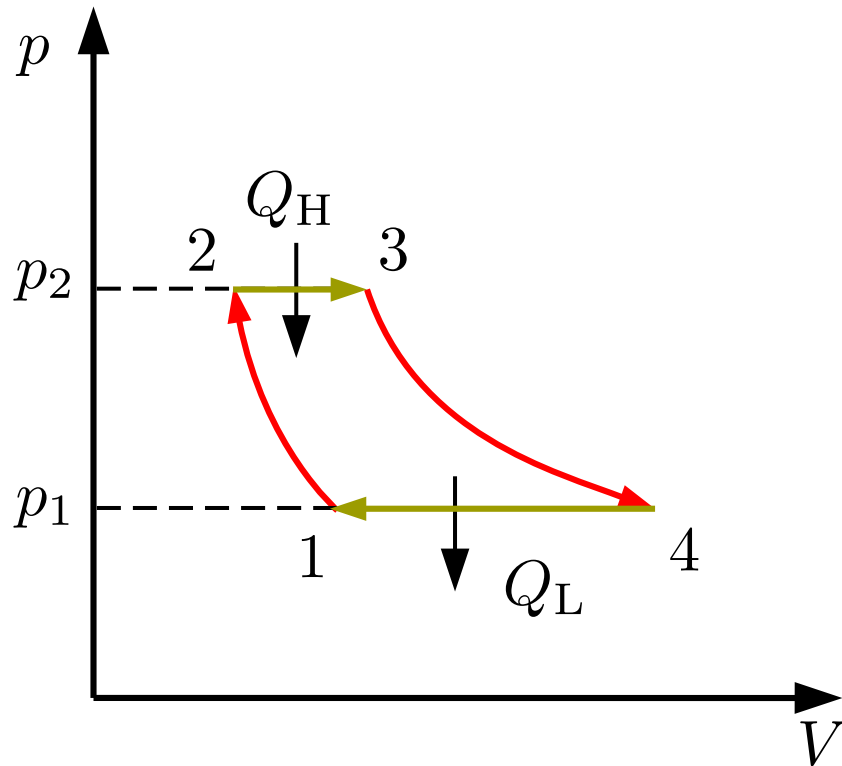
$$\begin{cases} Q_H = C_p(T_3 - T_2) > 0 \\ Q_L = C_p(T_1 - T_4) < 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} W_{23} = -p_2(V_3 - V_2) < 0 \\ W_{41} = -p_1(V_1 - V_4) > 0 \end{cases}$$

$$\eta = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right|$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



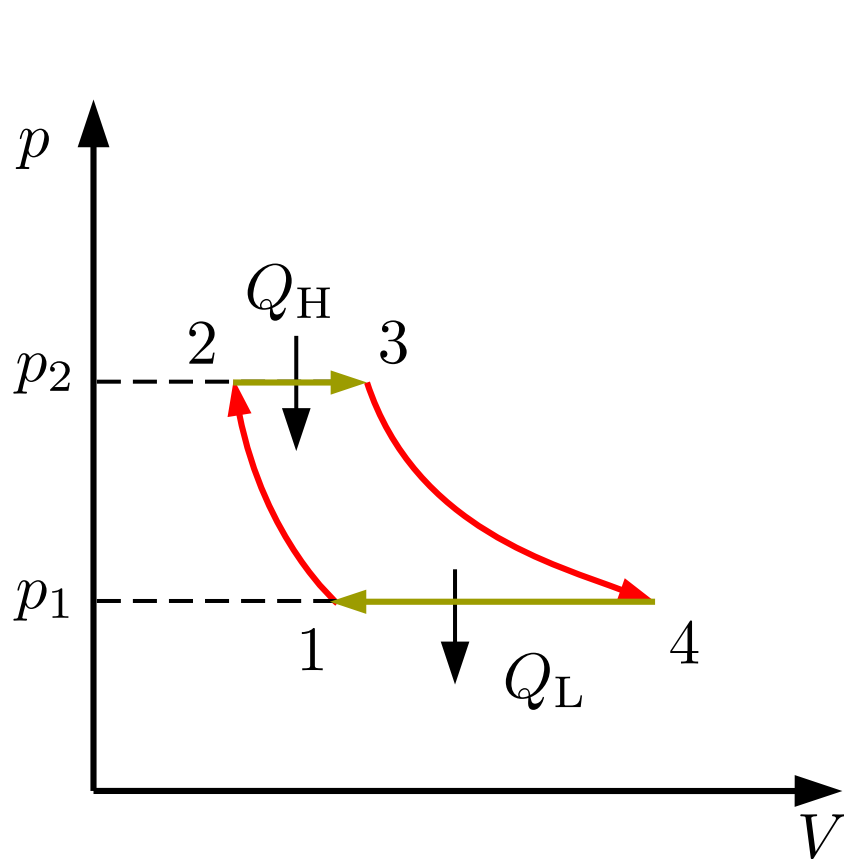
$$\begin{cases} Q_H = C_p(T_3 - T_2) > 0 \\ Q_L = C_p(T_1 - T_4) < 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} W_{23} = -p_2(V_3 - V_2) < 0 \\ W_{41} = -p_1(V_1 - V_4) > 0 \end{cases}$$

$$\eta = 1 - \left| \frac{Q_L}{Q_H} \right| = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



بی‌دررو
1 \longrightarrow 2 : $Q_{12} = 0$

$$T_1^\gamma p_1^{1-\gamma} = T_2^\gamma p_2^{1-\gamma}$$

$$T_1 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

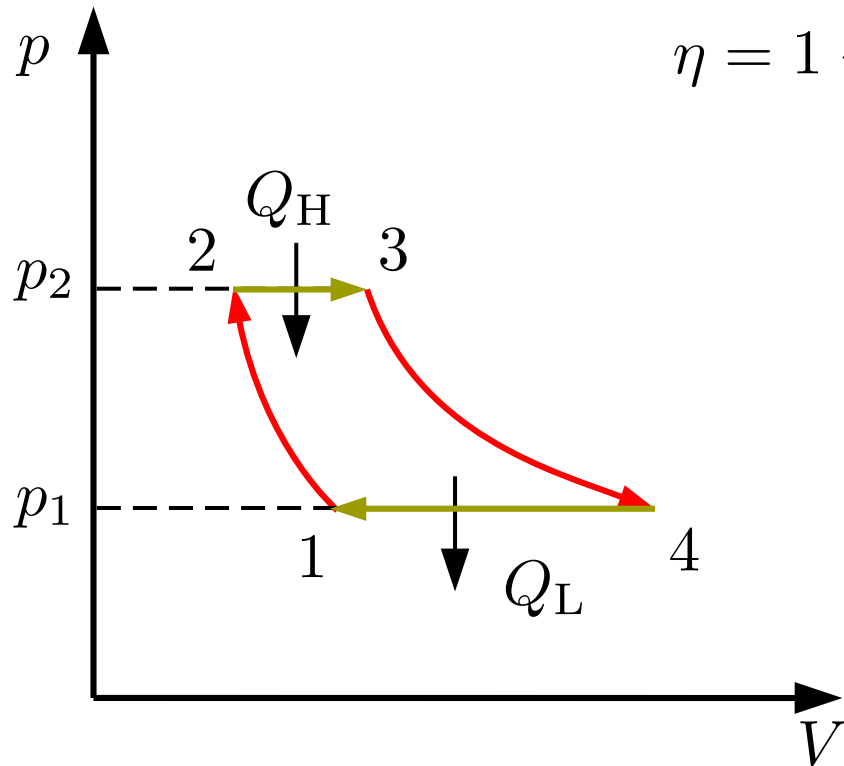
بی‌دررو
3 \longrightarrow 4 : $Q_{34} = 0$

$$T_3^\gamma p_2^{1-\gamma} = T_4^\gamma p_1^{1-\gamma}$$

$$T_3 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_4 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad \begin{cases} T_1 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_2 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \\ T_3 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_4 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \end{cases}$$

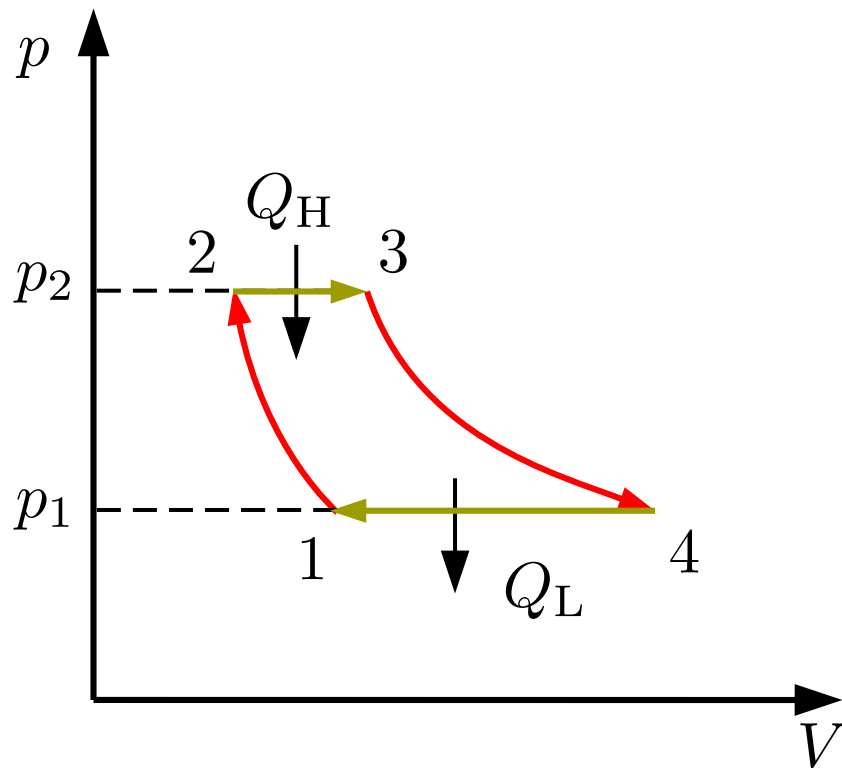
$$T_3 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_4 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$T_2 p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = T_1 p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} \quad +$$

$$(T_3 - T_2) p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = (T_4 - T_1) p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

مسائلی در ترمودینامیک و مکانیک آماری

مثال ۵: گاز ایده‌آلی تحت فرایند چرخه‌ای زیر قرار دارد. بازده چرخه را بدست آورید.



$$\eta = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2}$$

$$(T_3 - T_2)p_2^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = (T_4 - T_1)p_1^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$

$$\eta = 1 - \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$$