$\boxed{164}$ 熱サイクルでは エネルギー表を書く.

$\boxed{A \to B}$

① $U = \frac{3}{2}PV$ より ← $U = \frac{3}{2}nRT$ と $PV = nRT$ より

$$\Delta U = U_B - U_A$$

$$= \frac{3}{2}P_B V_A - \frac{3}{2}P_A V_A = \frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A$$

② グラフの面積より

$$W_{out} = 0$$

③ $Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ より

$$Q_{in} = \underline{\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A} \text{ (ア)}$$

$\boxed{B \to C}$

① 断熱変化なので

$$Q_{in} = \underline{0} \text{ (イ)}$$

② $U = \frac{3}{2}PV$ なので

$$\Delta U = U_C - U_B$$

断熱膨張なので温度さがる. よって $U_B > U_C$ である.

$$= -(U_B - U_C)$$

符合と大きさを見やすくする

$$= -\left(\frac{3}{2}P_B V_A - \frac{3}{2}P_A V_C\right)$$

$$= -\frac{3}{2}(P_B V_A - P_A V_C)$$

③ $Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ より

$$0 = -\frac{3}{2}(P_B V_A - P_A V_C) + W_{out}$$

$$\therefore W_{out} = \frac{3}{2}(P_B V_A - P_A V_C)$$

断熱変化時の仕事は、面積からだせないので、このように
$Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ から逆算することが多い.

$\boxed{164}$ 続き

$\boxed{C \to A}$

① $U = \frac{3}{2}PV$ より

$$\Delta U = U_A - U_C$$

← $P \times V$ の大きさを比べると、$T_C > T_A$ といえるので $U_C > U_A$ である。

$$= -(U_C - U_A)$$

← 符合と大きさを見やすくする

$$= -\left(\frac{3}{2}P_A V_C - \frac{3}{2}P_A V_A\right)$$

$$= -\frac{3}{2}P_A(V_C - V_A)$$

② グラフの面積より

$$W_{out} = -P_A(V_C - V_A)$$

※ Vが小さくなっているので $W_{out}$ は負の仕事

③ $Q_{in} = \Delta U + W_{out}$ より

$$Q_{in} = -\frac{3}{2}P_A(V_C - V_A) + \{-P_A(V_C - V_A)\}$$

$$= -\frac{5}{2}P_A(V_C - V_A) \quad \cdots(ウ)$$

エネルギー表にまとめると

| | $Q_{in}$ | = | $\Delta U$ | + | $W_{out}$ |
|---|---|---|---|---|---|
| $A \to B$ | $+\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A$ | | $\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A$ | | $0$ |
| $B \to C$ | $0$ | | $-\frac{3}{2}(P_B V_A - P_A V_C)$ | | $+\frac{3}{2}(P_B V_A - P_A V_C)$ |
| $C \to A$ | $-\frac{5}{2}P_A(V_C - V_A)$ | | $-\frac{3}{2}P_A(V_C - V_A)$ | | $-P_A(V_C - V_A)$ |
| サイクル合計 | $\frac{3}{2}P_B V_A - \frac{5}{2}P_A V_C + P_A V_A$ | | $0$ | | $\frac{3}{2}P_B V_A - \frac{5}{2}P_A V_C + P_A V_A$ |

元の温度に戻るので0になるはず

$\Delta U = 0$ なので同じになるはず。

サイクル合計で計算ミスをチェックできる。

$\boxed{164}$ 続き

$$e = \frac{W_{out\,トータル}}{Q_{in}の+の和}$$ なので

$$e = \frac{\frac{3}{2}P_B V_A - \frac{5}{2}P_A V_C + P_A V_A}{\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A}$$

$$= \frac{\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A - \frac{5}{2}P_A V_C + \frac{5}{2}P_A V_A}{\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A}$$

$$= 1 - \frac{\frac{5}{2}P_A V_C - \frac{5}{2}P_A V_A}{\frac{3}{2}(P_B - P_A)V_A}$$

$$= 1 - \frac{5P_A(V_C - V_A)}{3(P_B - P_A)V_A} \quad /\!/ \ (\mathrm{I})$$

※ 別解（体系物理の解説の計算）
エネルギー表のサイクル合計の部分から

$$Q_{in\,トータル} = 0 + W_{out\,トータル}$$

といえて、

$$Q_{A\to B} + Q_{C\to A} = W_{out\,トータル}$$

となる。よって

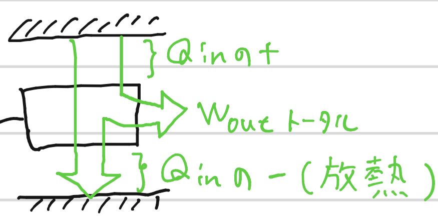
$$e = \frac{W_{out\,トータル}}{Q_{in}の+の和} = \frac{Q_{A\to B} + Q_{C\to A}}{Q_{A\to B}}$$

$$= 1 + \frac{Q_{C\to A}}{Q_{A\to B}}$$ となる。

エネルギー表の計算をきちんとこなすと、$Q_{in}$トータルと$W_{out}$トータルの関係を理解できて、この発想にたどりつける。
はじめからこの方法を覚えようとしないこと。

※ この関係は

熱機関




と示されることもある。ここからも

$$W_{out\,トータル} = Q_{in}の+ - |Q_{in}の-|$$

と立式できる。