$\boxed{160}$

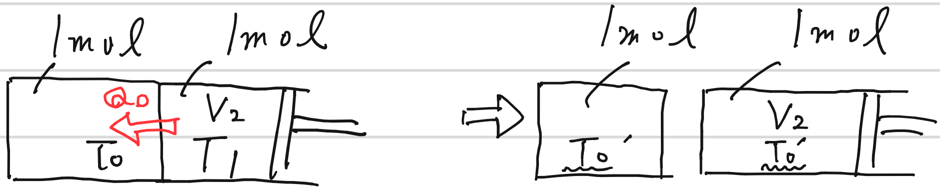
(ア) $\boxed{A \to B}$

熱力学第一法則より

$$Q_{in} = \Delta U + W_{out}$$

$$\Rightarrow Q_1 = \underbrace{0}_{\text{等温なので } \Delta U = 0} + W_1 \qquad \therefore \underline{Q_1 = W_1}_{//} \text{(ア)}$$

(イ)(ウ) $\boxed{B \to C}$



全体で内部エネルギーは保存する，

$U = \frac{3}{2}nRT$ を用いて立式すると，

$$\frac{3}{2}\cdot 1 \cdot RT_0 + \frac{3}{2}\cdot 1 \cdot RT_1 = \frac{3}{2}\cdot 1 \cdot RT_0' + \frac{3}{2}\cdot 1 RT_0'$$

$$\Rightarrow T_0 + T_1 = 2T_0'$$

$$\therefore \underline{T_0' = \frac{1}{2}T_0 + \frac{1}{2}T_1}_{//} \text{(イ)(ウ)}$$

(エ) $\boxed{D \to E}$

熱力学第一法則より

$$Q_{in} = \Delta U + W_{out}$$

$$-Q_2 = 0 + (-W_2)$$

※ Q_{in} と W_{out} の正負に注意.

(Q_2：放出した熱量 $\Rightarrow Q_{in} = -Q_2$
W_2：された仕事 $\Rightarrow W_{out} = -W_2$)

$$\therefore \underline{Q_2 = W_2}_{//} \text{(エ)}$$

※ $\boxed{\text{補足}}$

「等温変化で気体がする仕事は温度に比例する」について

・誘導されるまま $\frac{W_2}{W_1} = \frac{T_2}{T_1}$ を用いてよい。

・なぜそういえるかは，P−Vグラフの面積で仕事をだすと分かる。

⇒等温ならば状態方程式で

$$PV = nRT$$ ここが一定

160 補足の続き

これより P-Vグラフの式を作ると

$$P(V) = \underbrace{nRT}_{\text{定数}} \frac{1}{V}$$ （Vに反比例のグラフ）

するとP-Vグラフの面積は

$$\int_{V_1}^{V_2} P(V)dV = \int_{V_1}^{V_2} nRT \frac{1}{V} dV = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{V} dV$$

$$= nRT \left[\log|V| \right]_{V_1}^{V_2}$$

となる。A→Bの変化とD→Eの変化で

$$\left[\log|V| \right]_{V_1}^{V_2}$$

の部分は同じなので、定数部分nRTの大小で面積が変わる。

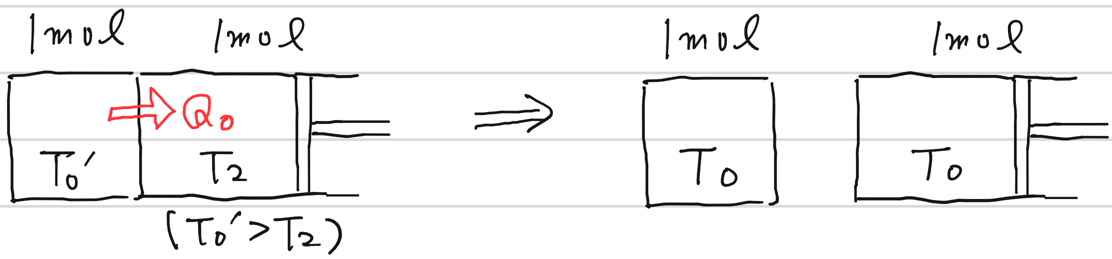
これより Wは Tにヒヒ例するといえる。

よって

$$T_1 : T_2 = W_1 : W_2 \Rightarrow \frac{W_2}{W_1} = \frac{T_2}{T_1}$$ となる。

※問題を解くのにこの関係を使ってるわけではない。

（オ）（カ）



※（イ）（ウ）で容器が Q_0 うけとって
$T_0 \to T_0'$ になっているので
（オ）（カ）で $T_0' \to T_0$ になるときは
同じ量 Q_0 を放出してるのだ。

内部エネルギーの保存より

$$\frac{3}{2} \cdot 1 \cdot RT_0' + \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot RT_2 = \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot RT_0 + \frac{3}{2} \cdot 1 \cdot RT_0$$

$$\Rightarrow T_0' + T_2 = 2T_0$$

$\boxed{160}$ (オ)(カ) 続き

(イ).(ウ)の式 $T_0' = \frac{1}{2}T_0 + \frac{1}{2}T_1$ を代入して

$$\frac{1}{2}T_0 + \frac{1}{2}T_1 + T_2 = 2T_0$$

$$\Rightarrow \quad \frac{3}{2}T_0 = \frac{1}{2}T_1 + T_2$$

$$\therefore T_0 = \underline{\frac{1}{3}T_1 + \frac{2}{3}T_2} \quad /\!/ \text{(オ)(カ)}$$

(キ)

エネルギー表でシリンダーの気体の変化をまとめてみる

	Q_{in}	=	ΔU(値は省略)	+	W_{out}
F→A	$+q_2$		(+)		0
A→B	$+Q_1$		0		$+W_1$
B→C	$-Q_0$		(−)		0
C→D	$-q_1$		(−)		0
D→E	$-Q_2$		0		$-W_2$
E→F	$+Q_0$		(+)		0

ここで放出した分を　ここで再利用している。

一方で熱効率の式について。

$$e = \frac{W_{out}\text{の和}}{Q_{in}\text{の}+\text{の和}}$$

ここは外から加えられた熱をカウントしているのだが、
E→Fの $+Q_0$ は自分でだした熱なのでカウントしなくてよいのだ。

よって

$$e = \frac{W_{out}\text{の和}}{Q_{in}\text{の}+\text{の和}} = \frac{W_1 - W_2}{+q_2 + Q_1}$$

$+Q_0$ はカウントしない。

となるのである。

$\boxed{160}$ (キ) 続き

$$e = \frac{W_1 - W_2}{+Q_2 + Q_1}$$

の ～ は使えない文字なので消していく.

(ア), (エ) より

$$W_1 = Q_1 \quad , \quad W_2 = Q_2$$

C_V を使うと $\Delta U = nC_V\Delta T$ なので, $\boxed{F \to A}$ の熱力学第一法則より

$$Q_{in} = \Delta U + W_{out}$$

$$\Rightarrow \quad Q_2 = 1 \cdot C_V(T_1 - T_0) + 0$$

e の式にこれらを 代入して

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{C_V(T_1 - T_0) + Q_1}$$

ここで (オ)(カ) の式より $T_0 = \frac{1}{3}T_1 + \frac{2}{3}T_2$ なので

$$e = \frac{Q_1 - Q_2}{C_V\left\{T_1 - \left(\frac{1}{3}T_1 + \frac{2}{3}T_2\right)\right\} + Q_1}$$

$$= \underline{\frac{Q_1 - Q_2}{\frac{2}{3}C_V(T_1 - T_2) + Q_1}} \ /\!/ \ (キ)$$