$\boxed{1}$

〔A〕

(a) $\frac{1}{2}mg$

(b) $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{2}\right)l$

(c) 物体 A と物体 B_1・物体 B_2 がはなれるまでについて，エネルギー保存則より

$$mg\cdot\left(\frac{1}{\sqrt{2}}-\frac{1}{2}\right)l=\frac{1}{2}mv_B{}^2+2\times\frac{1}{2}m'v_B{}^2 \qquad \text{よって，}\quad v_B=\sqrt{\frac{(\sqrt{2}-1)m}{m+2m'}gl}$$

はじめから，物体 A が水平面につくまでについて，エネルギー保存則より

$$mg\frac{l}{2}=\frac{1}{2}mv_A{}^2+2\times\frac{1}{2}m'v_B{}^2 \qquad \text{よって，}\quad v_A=\sqrt{\frac{m+2(2-\sqrt{2})m'}{m+2m'}gl}$$

〔B〕

(d) 物体 A'についての力のつり合い

$$N_1+F=mg\sin\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)\ \cdots①\qquad N_2=mg\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)\ \cdots②$$

②より，$N_2=mg\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)$

(e) 小球の位置を支点として，物体 A'について力のモーメントつり合い

$$N_1\cdot l\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)=N_2\cdot l\sin\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)$$

$$N_1=N_2\cdot\tan\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)\ \cdots③$$

(f) ②を③へ代入して，$\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)=\sin\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)$ を用いると，

$$N_1=\tan\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)\cdot\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)\cdot mg=\frac{\sin^2\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}mg \quad \cdots④$$

④を①へ代入して，

$$F=mg\sin\left(\frac{\pi}{4}+\theta_0\right)-N_1=mg\times\frac{\cos^2\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)-\sin^2\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}$$

$$=mg\times\frac{\cos 2\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}=mg\times\frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}-2\theta_0\right)}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}=\underline{mg\frac{\sin 2\theta_0}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_0\right)}}$$

(g) $\theta=\theta_{\max}$ のとき，$F=\mu N_2$ となるので，

$$\mu=\frac{F}{N_2}=\frac{mg\frac{\sin 2\theta_{\max}}{\cos\left(\frac{\pi}{4}-\theta_{\max}\right)}}{mg\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_{\max}\right)}=\frac{\sin 2\theta_{\max}}{\cos\left(\frac{\pi}{4}+\theta_{\max}\right)\sin\left(\frac{\pi}{4}+\theta_{\max}\right)}=\frac{\sin 2\theta_{\max}}{\frac{1}{2}\sin\left(\frac{\pi}{2}+2\theta_{\max}\right)}=\frac{2\sin 2\theta_{\max}}{\cos 2\theta_{\max}}$$

$$=\underline{2\tan 2\theta_{\max}}$$

〔C〕

(h) エネルギー保存の法則より，

$$\frac{1}{2}mv^2=mg\cdot\frac{l}{2}\cdot\left(\cos 2\theta-\cos 2\theta_0\right) \qquad \text{よって，}\quad v=\sqrt{gl\left(\cos 2\theta-\cos 2\theta_0\right)} \quad \cdots⑤$$

小球の円運動の方程式は，$m\frac{v^2}{\frac{l}{2}}=G-mg\cos 2\theta$

⑤を代入して，$G=mg\left\{2\left(\cos 2\theta-\cos 2\theta_0\right)+\cos 2\theta\right\}$

以上より，$\underline{v=\sqrt{gl\left(\cos 2\theta-\cos 2\theta_0\right)}}$，　$\underline{G=mg(3\cos 2\theta-2\cos 2\theta_0)}$

(i) 水平方向の力のつり合い

物体 B_1： $Mg + N_1{}' \sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right) = T'$ …⑥　　物体 B_2： $T'' + N_2{}' \sin\left(\frac{\pi}{4} + \theta\right) = T'$

物体系 $A\,B_1\,B_2$： $T'' + G\sin 2\theta = Mg$ …⑦

⑦より， $T'' = Mg - G\sin 2\theta$

また， $N_1{}' = G\sin\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)$ 　$N_2{}' = G\cos\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)$ であり，⑥より， $T' = Mg + G\sin^2\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)$

よって， $T' = \underline{Mg + G\sin^2\left(\frac{\pi}{4} - \theta\right)}$， 　$T'' = \underline{Mg - G\sin 2\theta}$，

(j) $T'' = Mg - G\sin 2\theta = Mg - mg\left\{3\cos 2\theta - 2\cos 2\theta_0\right\}\sin 2\theta$

$\theta_0 = \frac{\pi}{4}$ のとき，

$$T'' = Mg - 3mg\cos 2\theta \sin 2\theta = Mg - \frac{3}{2}mg\sin 4\theta$$

$T'' = 0$ のときを考え， $\underline{M_{\min} = \frac{3}{2}m}$

$\boxed{2}$

〔A〕

(a) 回路を貫く磁束は，$\Phi = Blr\sin\theta$

ファラデーの電磁誘導の法則より，閉回路 abcd に生じる起電力は $v = -\dfrac{d\Phi}{dt} = -\omega Blr\cos\theta$

よって，電流は　$I = \dfrac{v}{R} = \underline{-\dfrac{\omega Blr\cos\theta}{R}}$

(b) $F_{\mathrm{ab}} = F_{\mathrm{cd}} = \underline{|I|Br\sin|\theta|}$　　$F_{\mathrm{bc}} = \underline{|I|Bl}$

(c) 重力の位置エネルギーの減少した分が，ジュール熱として消費されるので，$\underline{mgr}$

(d) $\tan\theta_1 = \dfrac{F'_{\mathrm{ab}}}{mg}$ ，$F'_{\mathrm{ab}} = \dfrac{V}{R}Bl$ より，$\tan\theta_1 = \underline{\dfrac{VBl}{Rmg}}$

〔B〕

(e) エネルギー保存則より，$mgr\cos\theta_2 = \dfrac{1}{2}LI_2{}^2$　よって，$I_2 = \underline{\sqrt{\dfrac{2mgr\cos\theta_2}{L}}}$

(f) (ア) $\underline{-\dfrac{Blr}{L}\Delta\theta\cos\theta}$　（イ）$\underline{-\dfrac{Blr}{L}}$　（ウ）$\underline{0}$　（エ）$\underline{\dfrac{Blr}{L}}$

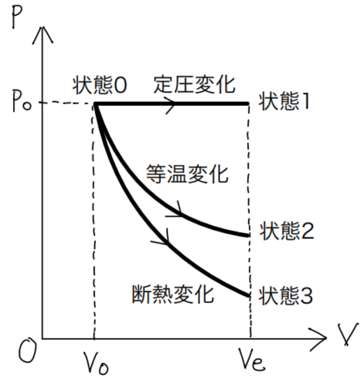
(g) $I_2 = \sqrt{\dfrac{2mgr\cos\theta_2}{L}}$　$I_2 = \dfrac{Blr}{L} - \dfrac{Blr}{L}\sin\theta_2$　より，$B = \dfrac{1}{l}\sqrt{\dfrac{2mgL}{r}} \times \dfrac{\sqrt{\cos\theta_2}}{1-\sin\theta_2}$

$\theta_2 = 0$ を考える。　$B_0 = \underline{\dfrac{1}{l}\sqrt{\dfrac{2mgL}{r}}}$　グラフ：$\underline{④}$

3

〔A〕

(a) $W_p > W_T > W_A$



(b) $W_p = p_0(V_e - V_0)$，　$Q_p = C_p(T_e - T_0) = \dfrac{C_p}{R} p_0(V_e - V_0)$ より，　$\dfrac{W_p}{Q_p} = \dfrac{C_p - C_V}{C_p}$

等温変化では内部エネルギーの変化は０ゆえ，熱力学第１法則より，　$\dfrac{W_T}{Q_T} = 1$

〔B〕

(c) ポアソンの公式より，$T_0 V_0^{\gamma-1} = T_3 V_e^{\gamma-1}$　よって　$T_3 = \left(\dfrac{V_0}{V_e}\right)^{\gamma-1} T_0 = \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma-1} T_0$

状態３と状態４の状態方程式から，$T_4 = \dfrac{1}{a} T_3 = \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma} T_0$

状態０から状態３について，熱力学第１法則より，

$$W_A = -\Delta U_A = -C_V\left(T_3 - T_0\right) = C_V T_0 \left\{1 - \left(\frac{1}{a}\right)^{\gamma-1}\right\}$$

状態４から状態０は定積変化ゆえ，$Q = C_V\left(T_0 - T_4\right) = C_V T_0 \left\{1 - \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma}\right\}$

よって，
$$\frac{W_A}{Q} = \frac{1 - \left(\frac{1}{a}\right)^{\gamma-1}}{1 - \left(\frac{1}{a}\right)^{\gamma}} = \frac{a^\gamma - a}{a^\gamma - 1}$$

(d) $$e_A = 1 - \frac{\left|Q_{3\to4}\right|}{Q} = 1 - \frac{C_p T_0 \left(\frac{1}{a}\right)^{\gamma-1}\left(1 - \frac{1}{a}\right)}{C_V T_0 \left\{1 - \left(\frac{1}{a}\right)^{\gamma}\right\}} = 1 - \gamma \frac{a-1}{a^\gamma - 1}$$

(ア)　$\gamma\left(a-1\right)$

〔C〕

(e) 状態２から状態３は定積変化ゆえ，$Q_1 = C_V\left(T_0 - T_3\right) = C_V T_0\left\{1 - \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma-1}\right\}$

となるが，$T_0 = \dfrac{p_0 V_0}{R} = \dfrac{p_0 V_0}{C_V\left(\gamma - 1\right)}$ なので，代入して，$\underline{Q_1 = \dfrac{a^\gamma - a}{a^\gamma\left(\gamma - 1\right)} p_0 V_0}$

(f) $e_T = \dfrac{p_0 V_0 \log_e a - C_V\left(\gamma - 1\right) T_0 \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma-1}\left(1 - \dfrac{1}{a}\right)}{C_V T_0\left\{1 - \left(\dfrac{1}{a}\right)^{\gamma}\right\} + p_0 V_0 \log_e a} = \dfrac{a^\gamma \log_e a - \left(a - 1\right)}{\dfrac{a^\gamma - 1}{\gamma - 1} + a^\gamma \log_e a}$

（イ）$\underline{-\left(a - 1\right)}$　（ウ）$\underline{\dfrac{a^\gamma - 1}{\gamma - 1} + a^\gamma \log_e a}$

〔D〕

(g) $e_p = \dfrac{\left(\gamma - 1\right)\left(a - 1\right)\left(a^\gamma - 1\right)}{a^\gamma \gamma (a - 1) + a^\gamma - 1}$　（エ）$\underline{a^\gamma \gamma (a - 1) + a^\gamma - 1}$

(h) $e_p \fallingdotseq 0.37$　$e_T \fallingdotseq 0.56$　$e_A \fallingdotseq 0.67$　なので，$\underline{e_p < e_T < e_A}$