第 1 問

I (1)　物体全体について，おもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$d \cdot F = d \cdot mg \qquad \therefore \quad F = \underset{\sim\sim}{mg}$$

(2)　おもり B・C が水平になるまでの，重力による位置エネルギー変化に一致するので，

$$W_0 = mg\left\{\left(\frac{d}{\sqrt{2}} - 0\right) + \left(\frac{d}{\sqrt{2}} - d\right)\right\} = (\sqrt{2} - 1)mgd$$

II (1)　求める垂直抗力の大きさを N_B として，物体全体について，おもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$d \cdot F = d \cdot (N_B - mg) \qquad \therefore \quad N_B = mg - F \qquad \cdots ①$$

（別解）　おもり B・C 間の棒が，おもり B・C を引く力を T_{BC} として，力のつり合いより，

$$\begin{cases} \text{おもり C（水平）} & \dfrac{T_{BC}}{\sqrt{2}} = F & \cdots ② \\ \text{おもり B（鉛直）} & N_B + \dfrac{T_{BC}}{\sqrt{2}} = mg & \cdots ③ \end{cases} \qquad \therefore \quad N_B = mg - F \qquad \cdots ①$$

(2)　求める垂直抗力の大きさを N_A として，物体全体について，鉛直方向の力のつり合いより，

$$N_A = 3mg - N_B = 2mg + F \qquad \cdots ④ \qquad (\because \quad ①\text{式})$$

（別解）　物体全体について，おもり B まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$d \cdot F + d \cdot 2mg = d \cdot N_A \qquad \therefore \quad N_A = 2mg + F \qquad \cdots ④$$

(3)　物体全体について，水平方向の力のつり合いより，

$$F = \mu(2mg + F) \qquad \therefore \quad F = \frac{2\mu}{1 - \mu}mg$$

III (1)　等速直線運動で力のつり合いの状態にあり，II (3)で，$\mu \to \mu'$ と変えた場合と同様であるから，

$$F = \frac{2\mu'}{1 - \mu'}mg$$

(2)　求める垂直抗力の大きさを $N_B{}'$ として，おもり A から見た物体全体について，慣性力を考慮したおもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$d \cdot N_B{}' + d \cdot ma = d \cdot mg \qquad \therefore \quad N_B{}' = m(g - a) \qquad \cdots ⑦$$

(3)　おもり A にはたらく垂直抗力の大きさを $N_A{}'$ として，物体全体について，鉛直方向の力のつり合いより，

$$N_A{}' = 3mg - N_B{}' = m(2g + a) \qquad \cdots ⑧$$

物体全体についての水平方向の運動方程式は，

$$3m(-a) = -\mu' N_A' \quad \cdots ⑨$$
$$= -\mu'\{m(2g+a)\}$$
$$\therefore \quad a = \frac{2\mu'}{3-\mu'}g \quad \cdots ⑩$$

（別解）　物体全体についての水平方向の運動方程式（⑨式）より，

$$N_A' = \frac{3ma}{\mu'} \quad \cdots ⑪$$

おもり A・B 間の棒が，おもり A・B を押す力を T_{AB}'，おもり A・C 間の棒が，おもり A・C を押す力を T_{AC}'，おもり B・C 間の棒が，おもり B・C を引く力を T_{BC}' として，おもり A・B・C について慣性力を考慮した力のつり合いより，

$$\begin{cases} \text{おもり A（水平）} & ma + T_{AB}' = \mu' N_A' & \cdots ⑫ \\ \text{おもり A（鉛直）} & N_A' = mg + T_{AC}' & \cdots ⑬ \\ \text{おもり B（水平）} & ma + \dfrac{T_{BC}'}{\sqrt{2}} = \dfrac{T_{AB}'}{\sqrt{2}} & \cdots ⑭ \\ \text{おもり B（鉛直）} & N_B' + \dfrac{T_{BC}'}{\sqrt{2}} = mg & \cdots ⑮ \\ \text{おもり C（水平）} & ma = \dfrac{T_{BC}'}{\sqrt{2}} & \cdots ⑯ \\ \text{おもり C（鉛直）} & T_{AC}' = mg + \dfrac{T_{BC}'}{\sqrt{2}} & \cdots ⑰ \end{cases}$$

⑮・⑯式より，T_{BC}' を消去すると，

$$N_B' = \underset{(2)}{m(g-a)} \quad \cdots ⑦$$

⑬・⑯・⑰式より，T_{AC}'，T_{BC}' を消去すると，

$$N_A' = mg + (mg + ma) \quad \cdots ⑱$$

⑪・⑱式より，

$$\frac{3ma}{\mu'} = m(2g+a) \qquad \therefore \quad a = \frac{2\mu'}{3-\mu'}g_{\,(3)} \quad \cdots ⑩$$

第２問

I (1)　$B_0 = \mu_0 \dfrac{N}{\ell} I$

(2)　二分割した左半分，右半分の対称性より，

$$B_1 = \frac{1}{2} B_0$$

II (1)　コイル B に生じる誘導起電力の大きさは $\left|\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ であるから，

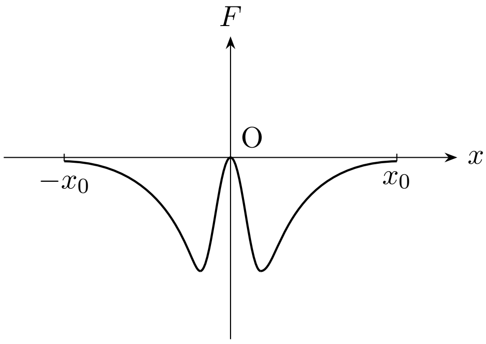
$$I_{\mathrm{B}} = \frac{1}{R}\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$$

(2)　（く）

(3)　コイル B を流れる電流の大きさが $\dfrac{1}{2}$ になるので，F の大きさの最大値も $\dfrac{1}{2}$ 倍 になる。

(4)　素子 1，5，7

III



第３問

I (1)　$K_0 = \dfrac{1}{2} m{v_0}^2$　，　$U_0 = \dfrac{3}{2} RT_0$

(2)　エネルギー保存より

$$\frac{1}{2} m v_0^2 + \frac{3}{2} RT_0 = \frac{3}{2} RT_1$$

$$K_0 + U_0 = \frac{T_1}{T_0} U_0$$

$$\therefore \quad \frac{T_1}{T_0} = 1 + \frac{K_0}{U_0}$$

(3)　ポアソンの式より

$$T_0 V_0^{\frac{2}{3}} = T_1 V_1^{\frac{2}{3}} \qquad \therefore \quad \frac{V_1}{V_0} = \left(\frac{T_0}{T_1}\right)^{\frac{3}{2}} = \left(1 + \frac{K_0}{U_0}\right)^{-\frac{3}{2}}$$

(4)　求めるグラフは ③

理由：t_0 から t_1 において，ポアソンの式より容器の体積が小さくなるほど，台車を押す力は大きくなり，速度の減少は大きくなる。またエネルギー保存より $t = t_2$ では台車の速度は $-v_0$ となる。

II(1)　エネルギー保存より

$$\frac{3}{2}RT_3+\frac{3}{2}RT_3=\frac{3}{2}RT_3+\frac{3}{2}RT_4+K_4$$
$$\therefore\quad K_4=\underline{\frac{3}{2}R(T_3-T_4)}$$

(2)　それぞれの状態の気体の内部エネルギーを U とすると，エネルギー保存より t_0 から t_1 において

$$K_0+U_0=U_1\quad\therefore\quad T_1>T_0$$

t_1 から t_3 において

$$U_0+U_1=U_3+U_3$$
$$\therefore\quad U_3=U_0+\frac{K_0}{2}\quad\therefore\quad T_1>T_3>T_0$$

ここで t_0 から t_1，t_3 から t_4 は熱の出入りがないのでポアソンの式を適用でき

$$T_0{V_0}^{\frac{2}{3}}=T_1{V_1}^{\frac{2}{3}}$$
$$T_3{V_1}^{\frac{2}{3}}=T_4{V_0}^{\frac{2}{3}}$$

2 式より

$$\frac{T_0}{T_4}=\frac{T_1}{T_3}$$
$$\therefore\quad T_4=\frac{T_3}{T_1}T_0\quad\therefore\quad T_0>T_4$$

よって $\underline{T_1>T_3>T_0>T_4}$

(3)　t_3 から t_4 においてエネルギー保存より

$$K_4+U_4=U_3$$
$$K_4+\frac{T_3}{T_1}U_0=U_0+\frac{K_0}{2}$$
$$K_4+\frac{U_0+\dfrac{K_0}{2}}{U_0+K_0}U_0=U_0+\frac{K_0}{2}$$
$$\therefore\quad\frac{K_4}{K_0}=\frac{2U_0+K_0}{2(U_0+K_0)}$$
$$\therefore\quad e=\underline{\sqrt{\frac{2U_0+K_0}{2(U_0+K_0)}}}$$