2025 年度　東京大学　物理

第１問

【　講　評　】

問題を「棒に束縛された A，B，C の 3 物体の系の問題」と捉えて解くか，「A，B，C からなる物体で構成された 1 つの剛体の問題」と捉えて解くかで，解法が変わって来る。3 体系の問題として考えると，棒を通して A，B，C 間で作用する力を考えて力のつり合いを考えることになるが，1 つの剛体と考えるとこの力は内力なので消えて扱う式の数が減り，考察が容易になる。

【　解　答　】

Ⅰ(1)　おもり B が床から受ける垂直抗力は 0 となる。このとき，おもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$0 = Fd - mgd \quad \therefore F = \underline{mg}$$

(2)　BC が水平になる位置を超えると物体は倒れるので，この前後の位置エネルギーの変化を考えると，

$$W_0 = |\,2mgd\sin 45^\circ - mgd\,| = \underline{\left(\sqrt{2}-1\right)mgd}$$

Ⅱ　おもり A とおもり B が床から受ける垂直抗力をそれぞれ，N_A，N_B，おもり A が床から受ける摩擦力を F_A とする。

(1)　おもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$0 = mgd - N_B d - Fd \quad \therefore N_B = \underline{mg - F}$$

(2)　鉛直方向の力のつり合いより，

$$0 = N_A + N_B - 3mg \quad \therefore N_A = 3mg - N_B = \underline{2mg + F}$$

(3)　水平方向の力のつり合いより，$F_A = F$

動き出す直前「$F_A = \mu N_A$」より，$F = \mu(2mg + F)$　$\therefore F = \underline{\dfrac{2\mu}{1-\mu}mg}$

Ⅲ(1)　Ⅱで F_{A} を動摩擦力($F_{\mathrm{A}} = \mu' N_{\mathrm{A}}$)とすれば，力のつり合いの関係は変わらないので，

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

(2)　物体と共に運動する座標系で考えると，おもりには水平右向きに大きさ ma の慣性力が作用する。このとき，おもり A まわりの力のモーメントのつり合いより，

$$0 = mgd - N_{\mathrm{B}}d - mad \quad \therefore N_{\mathrm{B}} = \underline{m(g-a)}$$

(3)　鉛直方向の力のつり合いより，

$$0 = N_{\mathrm{A}} + N_{\mathrm{B}} - 3mg \quad \therefore N_{\mathrm{A}} = 3mg - N_{\mathrm{B}} = 2mg + ma$$

水平方向の力のつり合いより，$F_{\mathrm{A}} = 3ma$

「$F_{\mathrm{A}} = \mu' N_{\mathrm{A}}$」より，$3ma = \mu'(2mg + ma) \quad \therefore a = \underline{\frac{2\mu'}{3-\mu'}g}$

第 2 問

【　講　評　】

ソレノイドによる磁場と円形コイルに生じる誘導起電力の問題。コイルには，レンツの法則から，変化を妨げるように誘導電流が流れ，その電流によってコイルの運動を妨げる方向に力を受ける。定性的に考察して解答を導き出すのがポイントとなる。

【　解　答　】

Ⅰ(1)　ソレノイド内部の磁束密度 $B_0 = \mu_0 \frac{N}{\ell} I = \underline{\frac{\mu_0 NI}{\ell}}$

(2)　分割した左半分を戻すと，原点 O の磁束密度 B_0 となるので，

$$2B_1 = B_0 \quad \therefore B_1 = \underline{\frac{1}{2}B_0}$$

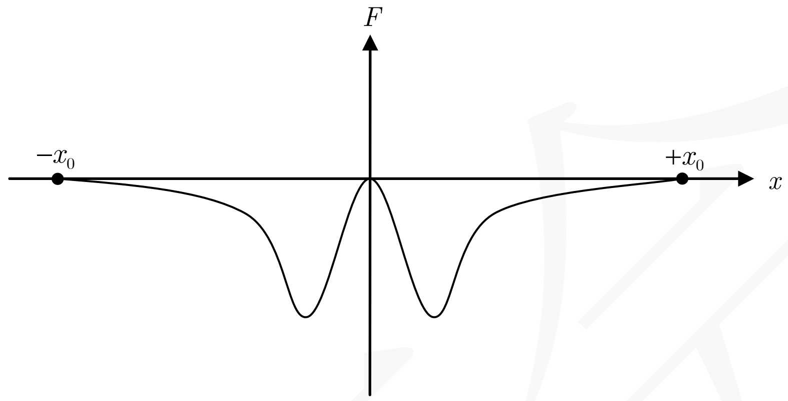
Ⅱ(1)　誘導起電力の大きさ $V = \left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|$ より，$I_{\mathrm{B}} = \frac{V}{R} = \underline{\frac{1}{R}\left|\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|}$

(2)　コイル B が磁場から受ける力の方向はレンツの法則により，運動を妨げる左側となる。磁束の変化が最も大きいのは原点 O を通過する瞬間で，その前後は小さく，原点 O から離れた位置では十分に小さい。以上から，概形として最も適切なものは <u>(く)</u> となる。

(3)　コイル B を流れる電流の大きさが $\frac{1}{2}$ となるので，F の大きさも $\underline{\frac{1}{2}}$ 倍となる。

(4)　この場合はコイル B に $X_B \to Y_B$ の方向に電流が流れる。コイル B に電流が流れると，レンツの法則により力の方向は(2)の場合と同じになる。したがって，端子には抵抗に Y→X 方向電流が流れる素子を接続すれば良いので，「素子 1，素子 5，素子 7」となる。

Ⅲ　x と F の関係を表すグラフは下図のようになる。



第 3 問

【　講　評　】

台車を利用した断熱容器内の気体の圧縮と膨張の問題。台車の運動エネルギーと気体の内部エネルギーの和が保存される。

【　解　答　】

I (1)　$K_0 = \dfrac{1}{2}mv_0{}^2$，$U_0 = \dfrac{3}{2}RT_0$

(2)　エネルギー保存則より，$K_0 + U_0 = U_1 \quad \therefore \dfrac{K_0}{U_0} + 1 = \dfrac{U_1}{U_0}$

ここで，$\dfrac{U_1}{U_0} = \dfrac{T_1}{T_0}$ より，$\dfrac{T_1}{T_0} = 1 + \dfrac{K_0}{U_0}$

(3)　ポアソンの法則より「$TV^{\frac{2}{3}} =$ 一定」と表せるので，

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

(4)　③

理由：エネルギーが保存するので，$t = t_2$ のとき速度は $-v_0$ となる。断熱変化では圧力変化が生じて加速度が変化し，$t = t_1$ のとき加速度の大きさは最大になる。

Ⅱ(1)　エネルギー保存則より，

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

(2)　t_0～t_1：左側の気体が断熱圧縮されるので，$T_1>T_0$

十分に長く待つ：左側の気体から右側の気体に熱が流れ，やがて熱平衡状態になるので，$T_0<T_3<T_1$

t_3～t_4：左側の気体が断熱膨張するので，$T_4<T_3$となる。また，T_1より低い温度T_3から断熱圧縮された体積と同じ体積だけ膨張するので，t_0のときよりも低い温度になるので，$T_4<T_0$である。

以上から，$\underline{T_4<T_0<T_3<T_1}$

(注)　$T_1V_1^{\frac{2}{3}}=T_0V_0^{\frac{2}{3}}$，$T_4V_0^{\frac{2}{3}}=T_3V_1^{\frac{2}{3}}$より，$T_1T_4=T_0T_3 \quad \therefore T_4=\frac{T_3}{T_1}T_0<T_0$

(3)　エネルギー保存則より，

$$K_0+\frac{3}{2}RT_0+\frac{3}{2}RT_0=\frac{3}{2}RT_1+\frac{3}{2}RT_0 \qquad \therefore K_0=\frac{3}{2}R(T_1-T_0)$$

したがって，$e=\left|\frac{v_1}{v_0}\right|=\sqrt{\frac{K_1}{K_0}}=\sqrt{\frac{T_3-T_4}{T_1-T_0}}$

ポアソンの法則より，$T_1V_1^{\frac{2}{3}}=T_0V_0^{\frac{2}{3}}$，$T_4V_0^{\frac{2}{3}}=T_3V_1^{\frac{2}{3}}$より，$T_1T_4=T_0T_3 \quad \therefore T_4=\frac{T_3}{T_1}T_0$

$$\therefore \frac{T_3-T_4}{T_1-T_0}=\frac{T_3\left(1-\frac{T_0}{T_1}\right)}{T_1-T_0}=\frac{T_3}{T_1}=\frac{U_3}{U_1}$$

ここで，エネルギー保存則より，

$$K_0+2U_0=U_0+U_1 \qquad \therefore U_1=K_0+U_0$$

$$K_0+2U_0=2U_3 \qquad \therefore U_3=\frac{1}{2}K_0+U_0$$

以上から，

$$e=\sqrt{\frac{T_3-T_4}{T_1-T_0}}=\sqrt{\frac{U_3}{U_1}}=\underline{\sqrt{\frac{K_0+2U_0}{2(K_0+U_0)}}}$$