

2026年度 東京大学 前期 物理

第1問

I $ma < \mu mg \therefore a < \underline{\underline{\mu g}}.$

II (1) 棒に固定した座標系での接触点まわりの力のモーメントのつりあいより

$$0 = \frac{L}{2} \cos \theta \cdot mg - \frac{L}{2} \sin \theta \cdot m \frac{v_0^2}{R} \therefore \tan \theta = \frac{gR}{\underline{\underline{v_0^2}}}.$$

(2) $m \frac{v_0^2}{R} < \mu mg \therefore v_0 < \underline{\underline{\sqrt{\mu g R}}} = v_1.$

(3) 静止摩擦力の中心方向成分と進行方向成分の大きさを順に f_1, f_2 とする. 加速開始から時間 t 後の速さを v とすると, $\frac{dv}{dt} = a, v = v_0 + at$. よって, 運動方程式は

$$(\text{中心方向}) m \frac{(v_0 + at)^2}{R} = f_1, (\text{進行方向}) ma = f_2.$$

いま, t はごく短時間であるので, $f_1 \approx m \frac{v_0^2}{R}$. また, $f_2 = ma$. よって静止摩擦の大きさは

$$f = \sqrt{f_1^2 + f_2^2} = \sqrt{\left(\frac{mv_0^2}{R}\right)^2 + (ma)^2}.$$

(4) $f < \mu mg$ より $a < \underline{\underline{\sqrt{(\mu g)^2 - \left(\frac{v_0^2}{R}\right)^2}}}.$

III (1) 設問 II(1)と同様に $\tan \theta = \frac{gR}{\underline{\underline{v_0^2}}}.$

(2) 車輪と路面の間にはたらく静止摩擦力の大きさを f , 垂直抗力を N とすると, 運動方程式より

$$\begin{aligned} (\text{中心方向}) m \frac{v_0^2}{R} &= f \cos \varphi + N \sin \varphi, (\text{鉛直方向}) 0 = -f \sin \varphi + N \cos \varphi - mg \\ \therefore f &= m \frac{v_0^2}{R} \cos \varphi - mg \sin \varphi, N = m \frac{v_0^2}{R} \sin \varphi + mg \cos \varphi. \end{aligned}$$

すべらないための条件 $f < \mu N$ より $v_0 < \underline{\underline{\sqrt{\frac{\sin \varphi + \mu \cos \varphi}{\cos \varphi - \mu \sin \varphi} g R}}} = v_2$

(3) $v_2 = \sqrt{\frac{\mu + \tan \varphi}{1 - \mu \tan \varphi} g R} > \sqrt{\mu g R} = v_1$ であるので, 勾配をつけて $\varphi > 0$ とする方が, すべらずに円運動できる速さの最大値が増加し, すべりにくくなると言えるから.

第 2 問

I 微小時間 Δt に導体棒が横切る領域の面積は $\Delta S = \frac{1}{2}l^2\omega_1\Delta t$. よって

$$E_1 = \frac{B\Delta S}{\Delta t} = \frac{1}{2}Bl^2\omega_1 \quad \therefore \alpha = \frac{1}{2}Bl^2$$

II (1) 直後の電流 $I_0 = \frac{V}{R}$ を用いて $N_0 = \frac{l}{2} \cdot I_0 Bl = \frac{Bl^2V}{2R}$.

(2) (あ)

(3) $0 = V - \alpha\omega_2 \quad \therefore \omega_2 = \frac{V}{\alpha}$

III $\frac{1}{2}C_1(\alpha\omega_3)^2$

IV (1) $\frac{Q_2}{C_2} = \alpha\omega, \quad \frac{Q_2^2}{2C_2} = \frac{1}{2}\beta\omega^2$ より $Q_2 = \frac{\beta\omega}{\alpha}, \quad C_2 = \frac{\beta}{\alpha^2}$.

(2) 十分に経過したときの電圧 v は電荷保存則 $C_1v + C_2v = C_2V$ より $v = \frac{C_2}{C_1 + C_2}V$. このときの

コンデンサー 1 の静電エネルギーは

$$\frac{1}{2}C_1v^2 = \frac{1}{2}C_1 \left(\frac{C_2}{C_1 + C_2}V \right)^2$$

(3) 設問IIIと設問IV(2)の結果を等置して $\alpha\omega_3 = \frac{C_2}{C_1 + C_2}V \quad \therefore \omega_3 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} \frac{V}{\alpha}$.

第3問

I (1) レンズと実像の距離を x とすると, $\frac{1}{D} + \frac{1}{x} = \frac{1}{d} \therefore x = \frac{Dd}{D-d}$. $D \gg d$ のとき $x \approx d$ となる.

(2) (b)

(3) L_3 の焦点距離を f_3 とすると $\frac{1}{3d} + \frac{1}{-d} = \frac{1}{-f_3}$ より $f_3 = \frac{3}{2}d$. また, $\tan \alpha = \frac{w/5}{3d} = \frac{w}{15d}$.

(4) $f' = \frac{w}{\tan \alpha} = 15d$.

(5) レンズとスクリーン S の距離は図 3-2 のとき $7d$, 単一の凸レンズのときは $15d$ である. よって,

図 3-2 のような構成の方が望遠レンズの長さを小さくできる.

II (1) x, y の 1 次までの近似で

$$\overline{W_2Q} = \sqrt{(d \cos \beta - x)^2 + (d \sin \beta - y)^2} \approx d - \cos \beta \cdot x - \sin \beta \cdot y,$$

$$\overline{W_1Q} = \sqrt{(d - x)^2 + y^2} \approx d - x.$$

$$\therefore \Delta L = (1 - \cos \beta)x - (\sin \beta)y.$$

(2) ぼけの大きさを b とすると $x = 0, |y| = b$ のとき $\Delta L = \frac{\lambda}{2}$. よって $(\sin \beta)b = \frac{\lambda}{2} \therefore b = \frac{\lambda}{2 \sin \beta}$.

(3) $b = \frac{5.0 \times 10^{-7} \text{ m}}{2 \times 5/13} = 6.5 \times 10^{-7} \text{ m}$. 倍率は $m = \frac{d}{D} = 1.0 \times 10^{-3}$ であるから, 物体上での大きさは $b/m = 6.5 \times 10^{-4} \text{ m}$.

(4) $y = 0$ のとき $|\Delta L| = (1 - \cos \beta)|x| < \frac{\lambda}{2} \therefore |x| < \frac{\lambda}{2(1 - \cos \beta)}$.