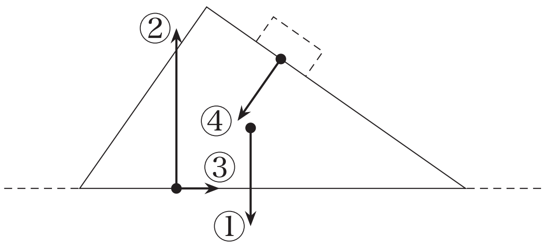
$\boxed{1}$

問 1　$W_1 = mg$，$N_1 = mg\sin\theta$，$R_1 = mg\cos\theta$

問 2



① 台 D が受ける重力 W_2

② 床面 $\mathrm{H_0}$ が台 D に及ぼす垂直抗力

③ 床面 $\mathrm{H_0}$ が台 D に及ぼす静止摩擦力

④ 物体 A が台 D に及ぼす垂直抗力

問 3　$a = g\sin\theta$，$N_2 = mg\cos\theta$

問 4　床面 $\mathrm{H_0}$ が台 D に及ぼす垂直抗力の大きさを R_2，摩擦力の大きさを f_2 とする。台 D にはたらく鉛直方向の力のつり合いより

$$R_2 = Mg + N_2\cos\theta = Mg + mg\cos^2\theta$$

水平方向の力のつり合いより

$$f_2 = N_2\sin\theta = mg\sin\theta\cos\theta$$

f_2 が最大静止摩擦力以下であればよいので，

$$mg\sin\theta\cos\theta \leqq \mu_0 R_2 = \mu_0\left(Mg + mg\cos^2\theta\right) \qquad \therefore\ \frac{m\sin\theta\cos\theta}{M + m\cos^2\theta} \leqq \mu_0$$

問 5　求めたい速さを v とする。等加速度運動の公式より

$$v^2 - 0^2 = 2aL = 2gL\sin\theta \qquad \therefore\ v = \sqrt{2gL\sin\theta}$$

問 6　運動の方向に気をつけて運動量保存より，

$$0 = -MV + m\left(v\cos\theta - V\right) \qquad \therefore\ V = \frac{mv\cos\theta}{M + m}$$

問 7　力学的エネルギーの保存より，

$$mgL\sin\theta = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}mv^2\left\{(v\cos\theta - V) + (v\sin\theta)^2\right\}$$

$$= \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}m\left(v^2 - 2vV\cos\theta + V^2\right)$$

$$= \frac{1}{2}(M+m)V^2 - mvV\cos\theta + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}(M+m)\left(\frac{mv\cos\theta}{M+m}\right)^2 - mv\cos\theta \cdot \frac{mv\cos\theta}{M+m} + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= -\frac{1}{2}m \cdot \frac{m\cos^2\theta}{M+m}v^2 + \frac{1}{2}mv^2$$

$$= \frac{1}{2}mv^2 \cdot \frac{M+m\sin^2\theta}{M+m}$$

$$\therefore \quad v = \underline{\sqrt{\frac{2(M+m)gL\sin\theta}{M+m\sin^2\theta}}}$$

問 8　台 D とともに運動する観測者から見ると，物体 A にはたらく台の斜面に垂直な方向の力はつり合っている。よって台 D の加速度の大きさを A とし，慣性力も考慮すれば

$$N' + mA\sin\theta = mg\cos\theta \qquad \therefore \quad N' = mg\cos\theta - mA\sin\theta$$

が得られるので，$\underline{N' < N_2}$ がわかる。

$\boxed{2}$

〔1〕

問 1　大きさ：$\underline{qv_0B}$，向き：イ

問 2　求めたい半径と周期をそれぞれ r，τ とする。円運動の運動方程式より

$$\frac{m{v_0}^2}{r} = qv_0B \qquad \therefore \quad r = \underline{\frac{mv_0}{qB}}$$

$$\tau = \frac{2\pi r}{v_0} = \underline{\frac{2\pi m}{qB}}$$

問 3　誘導起電力の大きさ V は，ファラデーの法則より，

$$V = \frac{\pi r^2 \cdot 2B - \pi r^2 \cdot B}{T-0} = \frac{\pi B}{T}\left(\frac{mv_0}{qB}\right)^2 = \frac{\pi m^2 {v_0}^2}{q^2BT}$$

問 4　誘導された電場の大きさを E とすると，

$$2\pi r \cdot E = V \qquad \therefore \quad E = \frac{mv_0}{2qT}$$

したがって力の大きさは

$$qE = \frac{mv_0}{2T}$$

問 5　運動方程式より，加速度の大きさ $\dfrac{v_0}{2T}$ で一定なので，求めたい速さを $v(t)$ とすると

$$v(t) = v_0 + \frac{v_0}{2T}t = v_0\left(1 + \frac{t}{2T}\right)$$

問 6　求めたい力を F とする。円運動の運動方程式より，

$$\frac{mv(t)^2}{r} = qv(t)\,B\left(1 + \frac{t}{T}\right) + F$$

$$\therefore\quad F = \frac{m}{\dfrac{mv_0}{qB}}\left\{v_0\left(1 + \frac{t}{2T}\right)\right\}^2 - qv_0B\left(1 + \frac{t}{2T}\right)(1 + \frac{t}{T}) = -qv_0B\cdot\frac{t}{2T}\left(1 + \frac{t}{2T}\right)$$

〔2〕

まず，コイル L の自己インダクタンスを $L = 2.00\ \mathrm{mH} = 2.00\times10^{-3}\ \mathrm{H}$，コンデンサー C の電気容量を $C = 20.0\ \mu\mathrm{F} = 2.00\times10^{-5}\ \mathrm{F}$，抵抗 R の抵抗値を $R = 0.100\ \mathrm{k\Omega} = 1.00\times10^{2}\ \Omega$，電池 E の起電力を $E = 10.0\ \mathrm{V}$ とおく。

問 1　十分時間が経過した後，コイル L の電圧は 0，抵抗 R の電圧は E となる。求めたい電流 I は，オームの法則より

$$I = \frac{E}{R} = \frac{10.0}{100} = 0.100\ \mathrm{A}\ (= 100\ \mathrm{mA})$$

このときコイル L に蓄えられるエネルギーは，

$$\frac{1}{2}LI^2 = \frac{1}{2}\cdot 2.00\times10^{-3}\cdot 1.00\times10^{-2} = 1.00\times10^{-5}\ \mathrm{J}\ (= 10.0\ \mu\mathrm{J})$$

問 2　十分時間が経過した後電流は 0 となるため，抵抗 R の電圧は 0，コンデンサー C の電圧は E となる。求めたい電気量を Q として，コンデンサーの基本式より，

$$Q = CV = 2.00\times10^{-5}\cdot 10.0 = 2.00\times10^{-4}\ \mathrm{C}\ (= 200\ \mu\mathrm{C})$$

コンデンサー C に蓄えられるエネルギーは，

$$\frac{1}{2}QV = \frac{1}{2}\cdot 2.00\times10^{-4}\cdot 10.0 = 1.00\times10^{-3}\ \mathrm{J}\ (= 1.00\ \mathrm{mJ})$$

問 3　求めたい周期を T として，電気振動の周期の式より，

$$\begin{aligned} T = 2\pi\sqrt{LC} &\fallingdotseq 2\cdot 3.14\sqrt{2.00\times10^{-3}\cdot 2.00\times10^{-5}} \\ &= 2\cdot 3.14\cdot 2.00\times10^{-4} \\ &= 12.56\times10^{-4} \fallingdotseq 1.26\times10^{-4}\ \mathrm{s}\ (= 0.126\ \mathrm{ms}) \end{aligned}$$

問 4　スイッチを閉じてから時間 t 経過後のコンデンサー C の右側極板の電気量を q とすると，最大値を q_0 として，

$$q(t) = q_0 \sin \frac{2\pi}{T} t$$

と表せる。はじめて $|q| = q_0$ となるのは四分の一周期後であるから，

$$\frac{T}{4} = 3.14 \times 10^{-4} \fallingdotseq \underline{3.14 \times 10^{-4}\,\mathrm{s}}\,(= 0.314\,\mathrm{ms})$$

問 5　問 3，問 4 のときの電流の最大値をそれぞれ I_3，I_4 とする。それぞれの場合のコイルのエネルギーの比を，エネルギー保存則も考慮して比較すると，

$$\frac{\frac{1}{2}L{I_3}^2}{\frac{1}{2}L{I_4}^2} = \frac{\frac{1}{2}QV}{\frac{1}{2}LI^2} = \frac{1.00 \times 10^{-3}}{1.00 \times 10^{-5}} = 1.00 \times 10^2 \quad (\because\ \text{問 1・問 2})$$

$$\therefore \quad \frac{I_3}{I_4} = \sqrt{1.00 \times 10^2} = \underline{10.0\ \text{倍}}$$

$\boxed{3}$

〔1〕

問 1　壁から受ける力積により，運動量が $-m\overline{v}$ から $m\overline{v}$ の変化するので，

$$m\overline{v} - (-m\overline{v}) = \underline{2m\overline{v}}$$

問 2　1 つの分子による力積の大きさは，作用反作用の法則より $2m\overline{v}$ なので，時間 $\varDelta t$ の間では

$$2m\overline{v} \cdot \frac{1}{6}N \times \frac{S\overline{v}\varDelta t}{V} = \underline{\frac{Nm\overline{v}^2 S\varDelta t}{3V}}$$

問 3　力は単位時間あたりの力積であり，それを単位面積に直せば求めたい圧力 p が得られる。

$$p = \frac{\frac{Nm\overline{v}^2 S\varDelta t}{3V}}{\varDelta t} \cdot \frac{1}{S} = \underline{\frac{Nm\overline{v}^2}{3V}}$$

問 4　状態方程式より

$$NkT = pV = \frac{Nm\overline{v}^2}{3} \qquad \therefore \quad \frac{1}{2}m\overline{v}^2 = \frac{3}{\underline{2}}kT$$

問 5　衝突の式より

$$-1=\frac{U-(\overline{v}+\Delta\overline{v})}{U-(-\overline{v})}\quad\therefore\quad \Delta\overline{v}=2U$$

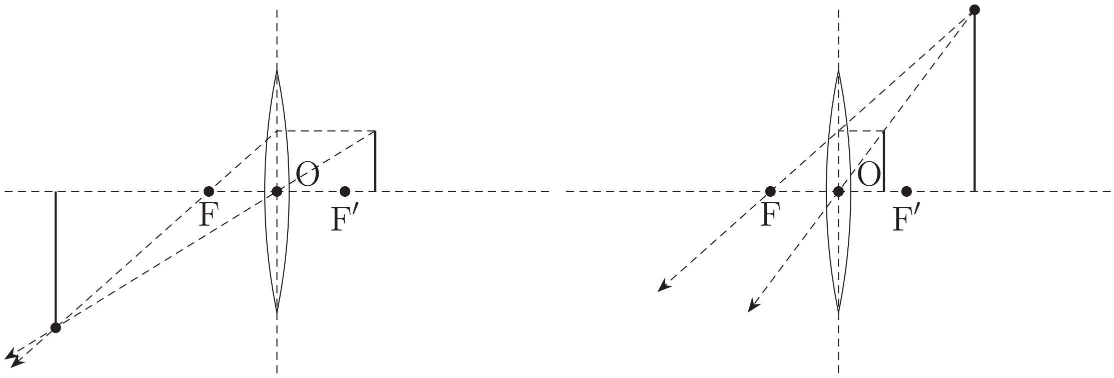
問 6　時間 Δt の間に衝突する分子の数は問 2 で考えたのと同様なので,

$$\Delta E_N=m\overline{v}\Delta\overline{v}\cdot\frac{1}{6}N\times\frac{S\overline{v}\Delta t}{V}=\frac{Nm\overline{v}^2\Delta V}{3V}$$

問 7　$p=\dfrac{Nm\overline{v}^2}{3V}$ だったので，$\Delta E_N=p\Delta V$ である。

〔2〕

問 1



(a)　(b)

問 2　レンズ L_1 による像がレンズ L_1 の後方に距離 b_1 の位置にできるとすると,

$$\frac{1}{3f/2}+\frac{1}{b_1}=\frac{1}{f}\quad\therefore\quad b_1=3f$$

また，このときの倍率 m_1 は

$$m_1=\frac{b_1}{3f/2}=2$$

さらに，レンズ L_2 による像を考え，倍率が $\dfrac{5}{2}$ 倍の虚像ができることを考慮すると

$$\frac{1}{d-3f}-\frac{1}{5(d-3f)/2}=\frac{1}{2f}\quad\therefore\quad d=\frac{21}{5}f$$