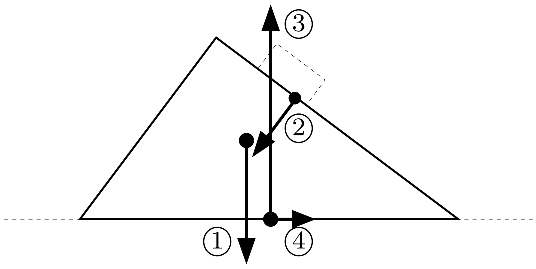
$\boxed{1}$ 解答例

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 物体 A が台 D に及ぼす垂直抗力 N_2
③ 床 H_0 が台 D に及ぼす垂直抗力 N_D
④ 床 H_0 が台 D に及ぼす摩擦力 R_D

問３　斜面方向の運動方程式より，
$a = g\sin\theta$，
斜面に垂直方向の力のつりあいから，
$N_2 = mg\cos\theta$ である。

問４　台 D が物体 A から受ける力の水平成分は $mg\cos\theta\sin\theta$，鉛直成分は $mg\cos^2\theta$ なので，台 D が床面 H_0 から受ける垂直抗力 N_D と摩擦力 R_D は

$$N_\mathrm{D} = Mg + mg\cos^2\theta\ ,$$
$$R_\mathrm{D} = mg\cos\theta\sin\theta\ .$$

従って，$\mu_0 N_\mathrm{D}\ \geqq\ R_\mathrm{D}$ より，

$$\mu_0\ \geqq\ \frac{m\sin\theta\cos\theta}{M + m\cos^2\theta}\ .$$

問５　求める速さを v_A とすると，力学的エネルギー保存則 $\dfrac{1}{2}mv_\mathrm{A}^2\ =\ mgL\sin\theta$ より，

$$v_\mathrm{A}\ =\ \sqrt{2gL\sin\theta}\ .$$

問６　水平方向は外力を受けないので，運動量が保存則する。$MV = m\,(v\cos\theta - V)$ より，

$$V\ =\ \frac{m}{M+m}\,v\cos\theta\ .$$

問７　床面 H に対する物体 A の速度は，水平成分が $v\cos\theta - V$，鉛直成分が $v\sin\theta$ である。
台 D と物体 A の運動エネルギーの和は

$$E = \frac{1}{2}MV^2 + \frac{1}{2}m\,(v\cos\theta{-}V)^2 + \frac{1}{2}m\,(v\sin\theta)^2$$
$$= \frac{1}{2}\frac{Mm}{M+m}\,(v\cos\theta)^2 + \frac{1}{2}m\,(v\sin\theta)^2\ .$$

力学的エネルギー保存則 $E = mgL\sin\theta$ を解いて

$$v\ =\ \sqrt{\frac{M+m}{M+m\sin^2\theta}\,2gL\sin\theta}\ .$$

問８　台 D の加速度の大きさを a_D で表すと，
台 D の運動方程式は

$$Ma_\mathrm{D} = N'\sin\theta\ .$$

台 D と共に運動する観測者から見ると，
物体 A は斜面 S_2 に沿ってすべり落ちるように見える。斜面に垂直方向のつりあいは，

$$N' = mg\cos\theta - ma_\mathrm{D}\sin\theta\ .$$

慣性力のため

$$N' < N_2 = mg\cos\theta$$

であることがわかる。実際，上の二式を解くと，

$$N' = \frac{M}{M+m\sin^2\theta}\,mg\cos\theta\ .$$

$\boxed{2}$ 解答例

〔1〕

問 1　qv_0B

向きはイ

問 2　軌道半径を r とすると非慣性系の力の釣り合いより $qv_0B = \frac{mv_0^2}{r}$

よって $r = \frac{mv_0}{qB}$

周期は $\frac{2\pi r}{v_0} = \frac{2\pi m}{qB}$

問 3　時間 T で半径 $r = \frac{mv_0}{qB}$ の円を貫く磁束密度が B 変化するのでその時に発生する誘導起電力

$V = \pi(\frac{mv_0}{qB})^2\frac{B}{T} = \frac{\pi m^2v_0^2}{q^2BT}$

問 4　円軌道上の電場の強さ $E = \frac{V}{2\pi r} = \frac{mv_0}{2qT}$

よって小球が受ける力は $qE = \frac{mv_0}{2T}$

問 5　小球の円運動の接線方向の加速度を a とすると運動方程式 $\frac{mv_0}{2T} = ma$ より $a = \frac{v_0}{2T}$

よって時刻 t の速さ $v = (1+\frac{t}{2T})v_0$

問 6　小球が棒から受ける力を S とすると，時刻 t での磁束密度は $B(1+\frac{t}{T})$ であるため，非慣性系の力の釣り合いから次の式が成り立つ。$qvB(1+\frac{t}{T}) - \frac{mv^2}{r} + S = 0$

問 2 と問 5 の結果を代入して $q(1+\frac{t}{2T})v_0B(1+\frac{t}{T}) - m[(1+\frac{t}{2T})v_0]^2\frac{qB}{mv_0} + S = 0$

よって $S = -\frac{qv_0Bt}{2T}(1+\frac{t}{2T})$

$\boxed{2}$ 解答例

〔2〕問 1 コイルの抵抗はゼロなので，$I = E \div R = 10.0\ \mathrm{V} \div 100\ \Omega = \underline{0.100\ \mathrm{A}}$。エネルギーは $E_{\mathrm{L}} = \frac{1}{2}LI^2 = 0.5 \times (2.00 \times 10^{-3}\ \mathrm{H}) \times (0.100\ \mathrm{A})^2 = \underline{1.00 \times 10^{-5}\ \mathrm{J}}$

問 2 十分に時間が経過すると，コンデンサーの両端の電圧は電池の電圧と等しくなる。$Q = CV = 20.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{F} \times 10.0\ \mathrm{V} = \underline{2.00 \times 10^{-4}\ \mathrm{C}}$。エネルギーは $E_{\mathrm{C}} = \frac{1}{2}CV^2 = 0.5 \times 20.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{F} \times (10.0\ \mathrm{V})^2 = \underline{1.00 \times 10^{-3}\ \mathrm{J}}$

問 3 振動電流の周期 $T = 2\pi\sqrt{LC} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{2.00 \times 10^{-3}\ \mathrm{H} \times 20.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}}$ $= 2 \times 3.14 \times 2 \times 10^{-4}\ \mathrm{s} = 12.56 \times 10^{-4}\ \mathrm{s} = \underline{1.26 \times 10^{-3}\ \mathrm{s}}$

問 4 振動電流の周期は前問と変わらない。スイッチを閉じてから周期の $\frac{1}{4}$ 倍の時間で最大となる。$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{2.00 \times 10^{-3}\ \mathrm{H} \times 20.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}} = 4 \times 3.14 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}$

$\frac{T}{4} = \underline{3.14 \times 10^{-4}\ \mathrm{s}}$

問 5 問 3 のときにコンデンサーに蓄積されるエネルギーは $E_1 = \frac{1}{2}CV^2 = E_{\mathrm{C}}$ であり，このエネルギーがコイルの最大エネルギーに等しい。これを $E_1 = \frac{1}{2}LI_1^2$ と表すことができる。ここで I_1 はコイルに流れる電流の最大値である。一方，問 4 のときにコイルに流れる電流は問 1 の時に等しいので，これを I_2 とすると，$E_2 = \frac{1}{2}LI_2^2 = E_{\mathrm{L}}$ なので，

$$\begin{aligned}\frac{I_1}{I_2} &= \sqrt{\frac{E_1}{E_2}} = \sqrt{\frac{E_{\mathrm{C}}}{E_{\mathrm{L}}}} \\ &= \sqrt{\frac{0.5 \times (20.0 \times 10^{-6}\ \mathrm{F}) \times (10.0\ \mathrm{V})^2}{0.5 \times (2.00 \times 10^{-3}\ \mathrm{H}) \times (0.100\ \mathrm{A})^2}} = \sqrt{\frac{1 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-5}}} \\ &= 10.0\end{aligned}$$

$\underline{10.0\text{ 倍}}$となる。

$\boxed{3}$ 解答例

〔1〕

問 1　弾性衝突なので，衝突後の速度は $\bar{v}$ になる。運動量の変化は $2m\bar{v}$ で力積の大きさは $2m\bar{v}$

問 2　衝突する分子がある領域の体積は $v\Delta tS$ で密度の 1/6 をかければ衝突する分子数になるので、$\frac{1}{6}\left(\frac{N}{V}\right)S\times\bar{v}\Delta t$。1 個の分子につき $2m\bar{v}$ の力積の大きさなので，全部で

$$\frac{m\bar{v}^2}{3}\left(\frac{N}{V}\right)S\Delta t \tag{1}$$

問 3　圧力は力積の合計を ΔtS で割れば求まるので，

$$\frac{m\bar{v}^2}{3}\left(\frac{N}{V}\right) \tag{2}$$

問 4　理想気体の状態方程式は n モル、圧力 p、気体定数 R として、$pV = nRT$。問 3 から $\frac{N}{3}m\bar{v}^2 = nRT$。$\frac{nR}{N} = k$ だから $c = \frac{3}{2}$

問 5　弾性衝突なので，反発係数は 1 だから，$\bar{v}+\Delta\bar{v}-U = U+\bar{v}$ となり，$\Delta\bar{v} = 2U$

問 6　1 個の分子の運動エネルギーの増加は $2m\bar{v}U$ で，衝突する分子の数は問 2 と同じだから

$$\Delta E_N = \frac{1}{6}\left(\frac{N}{V}\right)S\bar{v}\Delta t\times 2m\bar{v}U = \frac{1}{3}\left(\frac{N}{V}\right)m\bar{v}^2\Delta tSU \tag{3}$$

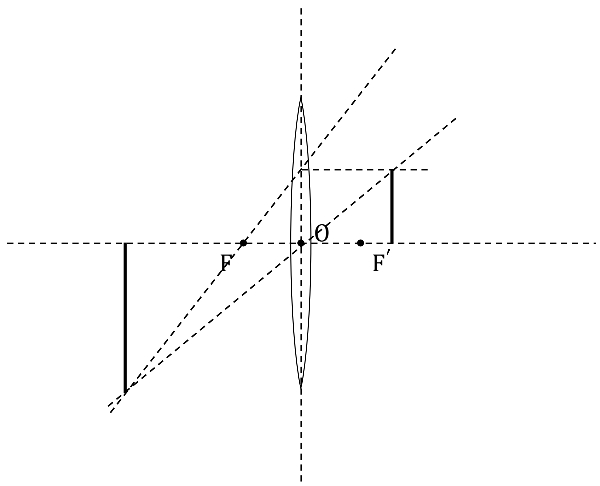
$\Delta V = SU\Delta t$ だから $\Delta E_N = \frac{1}{3}\left(\frac{N}{V}\right)m\bar{v}^2\Delta V$

問 7　問 3 で $p = \frac{m\bar{v}^2}{3}\left(\frac{N}{V}\right)$ だから、問 6 より $\frac{\Delta E_N}{p} = \Delta V$。両辺に p をかければ問題の式が得られる。

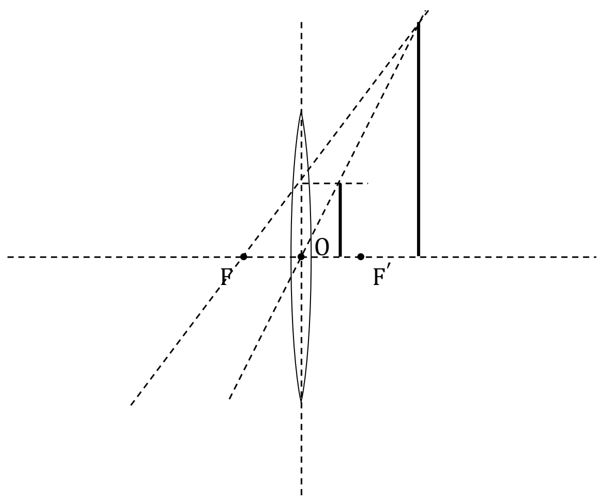
$\boxed{3}$ 解答例

〔2〕

問 1



(a)



(b)

問 2 物体をレンズ L_1 の後方から見たときの像の位置を d_0 はレンズの公式から

$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{\frac{3}{2}f}$, $d_0 = 3f$

レンズ L_1 による像の倍率を M_1 とすると $\mathrm{M}_1 = \frac{3f}{\frac{2}{3f}} = 2$

レンズ L_2 による像の倍率を M_2 とすると $\mathrm{M}_1 \times \mathrm{M}_2 = 5$

虚像のできる位置 d' とすると $2 \times \frac{d'}{d-3f} = 5$, $d' = \frac{5}{2} \times (d-3f) = 5$

また，レンズ L_2 の焦点距離が $2f$ とレンズの公式から

$\frac{1}{2f} = \frac{1}{d-3f} - \frac{1}{d'}$, $\frac{1}{2f} = \frac{1}{d-3f} - \frac{1}{\frac{5}{2}(d-3f)}$, $d = \frac{21}{5}f$