1.

摩擦がはたらく面での振動は，摩擦力も含めておもりにはたらく力を求め，$F=-kX$ の式を導く。このことより，$\dfrac{1}{2}$ 周期ごとに振動の中心はずれていくが，おもりは一定周期の単振動をすることがわかる。

(1)　(ア)　弾性エネルギー $U=\dfrac{1}{2}kx^2$ より

$$\varDelta U=\frac{1}{2}k(3l)^2-\frac{1}{2}k(5l)^2=-8kl^2\ \text{〔J〕}$$

(イ)　摩擦力 $F=-\mu mg$，仕事 $W=Fx$ より

$$W=-\mu mg(3l+5l)=-8\mu mgl\ \text{〔J〕}$$

(ウ)　$8kl^2=8\mu mgl$

よって　$\mu=\dfrac{kl}{mg}$

(2)　(エ)　座標 x〔m〕における力 F は，

$$F=\mu mg-kx$$
$$=\frac{kl}{mg}\cdot mg-kx=-k(x-l)\ \text{〔N〕}$$

(オ)　$F=-kX=-k(x-l)$ より振動の中心が l の位置になる。

$$x=l\ \text{〔m〕}$$

(カ)　$x=l$ の位置の力学的エネルギー E は速さ v として，$E=\dfrac{1}{2}kx^2+\dfrac{1}{2}mv^2$ より

$$E=\frac{1}{2}kl^2+\frac{1}{2}mv^2 \qquad \cdots\cdots ①$$

また，P 点とのエネルギーの変化を考えると

$$E=\frac{1}{2}k(5l)^2-\mu mg(5l-l)$$
$$=\frac{25}{2}kl^2-4l\cdot\frac{kl}{mg}\cdot mg=\frac{17}{2}kl^2 \qquad \cdots\cdots ②$$

①＝② より

$$\frac{1}{2}kl^2+\frac{1}{2}mv^2=\frac{17}{2}kl^2$$

よって　$v=4l\sqrt{\dfrac{k}{m}}$〔m/s〕

（キ）　単振動の周期 $T=2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$

P から Q までの時間は $\dfrac{T}{2}$ となるので

$$t=\frac{T}{2}=\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,〔\mathrm{s}〕$$

(3)　（ク）　$F=-\mu mg-kx$

$$=-\frac{kl}{mg}\cdot mg-kx=-k(x+l)\,〔\mathrm{N}〕$$

（ケ）　$x=-l$

(4)　$t=0$　　$x=5l$

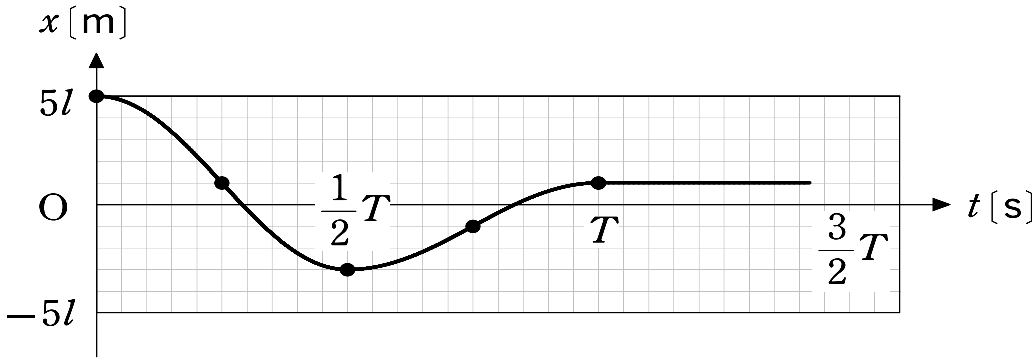
$t=\dfrac{1}{4}T$　　P → Q の振動における振動の中心となるので　$x=l$

$t=\dfrac{1}{2}T$　　Q 点　$x=-3l$

$t=\dfrac{3}{4}T$　　Q → R の振動における振動の中心なので　$x=-l$

$t=T$　　R 点　$x=l$

これ以後は静止。よって，図のようになる。



2.

媒質の屈折率は，光が真空から媒質へ進むときの屈折率である。これと屈折の法則を組みあわせて使う。干渉の条件では，どの面の反射で位相のずれが生じるかを考える。

(1) $n_1=\dfrac{c}{v_1}$，$n_2=\dfrac{c}{v_2}$，$n_3=\dfrac{c}{v_3}$

(2) $\dfrac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\dfrac{n_2}{n_1}$

(3) $n_{12}=\dfrac{v_1}{v_2}=\dfrac{\frac{c}{n_1}}{\frac{c}{n_2}}=\dfrac{n_2}{n_1}$

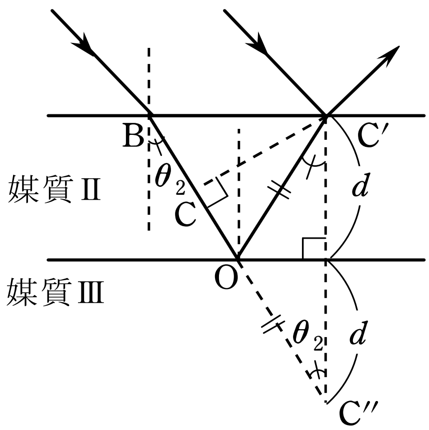
同様にして　$n_{23}=\dfrac{n_3}{n_2}$

(4) (a)　媒質IIとIIIの境界面に関する点C′の対称点をC″とする。CC′が入射する光の波面であるから，光路差δは

$\delta=n_2(\mathrm{CO}+\mathrm{OC'})$

$=n_2(\mathrm{CO}+\mathrm{OC''})$

$=n_2\cdot\mathrm{CC''}=n_2\cdot\mathrm{C'C''}\cdot\cos\theta_2=2n_2d\cos\theta_2$



(b)　(ア)

(c)　$n_1<n_2<n_3$（媒質Iが真空でも，この条件は変わらない）なので，媒質IとIIの境界面でも，媒質IIとIIIの境界でも，反射により位相がπずれるので，位相のずれがないのと同じになる。したがって，2つの経路を通った光の光路差が半波長の奇数倍のとき弱めあう。　……(ア)

(5)　(4)の(a)の式で，$\theta_2=0°$とおくと

$$\delta=2n_2d\cos0°=2n_2d$$

ガラスの屈折率は1.5程度以上なので，

$n_1<n_2<n_3$　だから，弱めあう条件は

$$\delta=2n_2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$$

最小の厚さは$m=0$の場合で

$$d=\frac{\lambda}{4n_2}=\frac{540}{4\times1.35}=1.00\times10^2\ \text{(nm)}$$

3.

(1)　$p_1 = \rho g d$〔Pa〕

(2)　容器の重力＝浮力　また　質量＝密度×体積　より　$mg = \rho S d g$

(3)　圧力は $\rho g d$ のまま一定であるから定圧過程。

(4)　重心の位置が $(h_2 - h_1)$ だけ上昇するから

$$U = mg(h_2 - h_1)\ 〔\mathrm{J}〕$$

(5)　膨張した体積を ΔV とすると，仕事は $p_1 \Delta V$ となるから

$$W = p_1 S(h_2 - h_1) = \rho S d g(h_2 - h_1)\ 〔\mathrm{J}〕$$

(6)　(2)より　$mg = \rho S d g$　であるから　$U = W$

(7)　定圧過程であるから　$Q = nC_p(T_2 - T_1)$〔J〕

(8)　状態方程式から

加熱前　$p_1 S(h_1 + d) = nRT_1$

加熱後　$p_1 S(h_2 + d) = nRT_2$

この2式から　　$p_1 S(h_2 - h_1) = nR(T_2 - T_1)$

(5)の式に代入して　　$W = nR(T_2 - T_1)$〔J〕

(9)　気体の内部エネルギー $E = nC_V T$ の変化 ΔE は熱力学第一法則より　$\Delta E = Q - W$

ここで，$T_2 > T_1$　から

$\Delta E = nC_V(T_2 - T_1) > 0$　であるから

$Q - W > 0$　　よって　$Q > W$

(10)　$Q - W$ は内部エネルギーの増加になった。

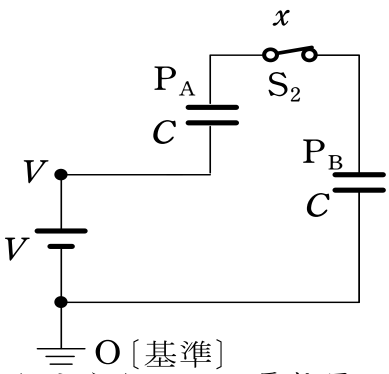
4.

(1) $Q=CV$ より

$$Q=CV$$

(2) (a) スイッチを切りかえる前に，P_A，P_B にたくわえられている電気量は $+CV$，0 である。スイッチを切りかえても極板 P_A，P_B は孤立しているから電気量の和は変わらない。CV

(b) 右図のように，電池の負極を基準とした，スイッチ S_2(極板 P_A，P_B)の電位を x とする。極板電気量が $C\times(V_{自分}-V_{相手})$ で与えられることを用いて，電気量の保存から，「前＝後」より，



$$+CV+0=C(x-V)+C(x-0)$$

よって，$x=V$ となるから

$$V_A=x-V=0$$

$$V_B=x-0=V$$

(3) (a) スイッチ S_2，S_3 を閉じる前に，極板 P_A，P_B にたくわえられている電気量はそれぞれ

P_A：$+CV$

P_B：$+CV_B=+CV$

である。電気量は保存されるから，求める和は

$$CV+CV=2CV$$

(b) スイッチ S_2 の電位を x' とすると，

$$+CV+CV=C(x'-V)+C(x'-0)$$

よって，$x'=\dfrac{3}{2}V$ となるから

$$V_A'=x'-V=\frac{1}{2}V$$

$$V_B'=x-0=\frac{3}{2}V$$

(4) スイッチ S_2，S_3 を閉じる前のコンデンサー A の極板間の電位差は常に V である。これに電池による電位差 V が加わってコンデンサー B を充電する。十分な回数くり返したとき，電荷の移動がなくなるから，コンデンサー B の極板間の電位差は $V+V=2V$ となる。

5.

回転する導体棒は磁場を横切るので誘導起電力 V が生じる。V の求め方は $V=-\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=-\dfrac{B\cdot\Delta S}{\Delta t}$ とする方法と，棒の平均の速さ $\overline{v}$ を求めて $V=Bl\overline{v}$ とする方法の 2 つがある。

(1) 金属棒が時間 Δt の間に角度 $\Delta\theta$ $(=\omega\Delta t)$ だけ回転したとき，棒の横切る面積 ΔS は

$$\Delta S=\frac{1}{2}l^2\Delta\theta=\frac{1}{2}l^2\omega\Delta t$$

磁束密度は B で一定であるので，この回転による回路 OAPO を貫く磁束の変化 $\Delta\Phi$ は

$$\Delta\Phi=B\Delta S=\frac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$$

(2) ファラデーの電磁誘導の法則より

$$V=\left|-\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}\right|=\frac{1}{2}Bl^2\omega$$

(3) 「レンツの法則により，回路 OAPO を貫く上向きの磁束の増加を妨げる向きに誘導起電力が生じるから」(46 字)，誘導電流は**矢印 2** の方向に流れる。

(4) 点 O から距離 r の位置にある電子の速さ v は

$$v=r\omega$$

であるので，ローレンツ力の大きさ f は

$$f=evB=e\omega rB$$

フレミングの左手の法則より，ローレンツ力 f の向きは**中心 O 方向**である。

(5) (4) で求めたローレンツ力が，電界 $E(r)$ から電子が受ける力であるとすると

$$eE(r)=f=e\omega rB$$

ゆえに　$E(r)=B\omega r$

$0\leqq r\leqq l$ の範囲で $E(r)$ のグラフを描くと，図 a のようになる。

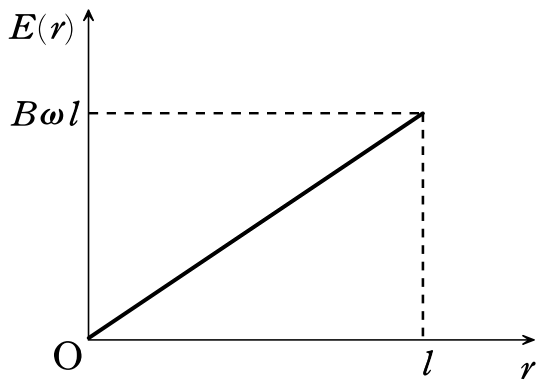


図 a

(6) $\Delta V=E(r_1)\Delta r$ の $0\leqq r_1\leqq l$ にわたる総和 V_{OP} は，図 a のグラフと横軸とで囲まれた三角形の面積に等しい。よって

$$V_{\mathrm{OP}}=\frac{1}{2}B\omega l^2$$