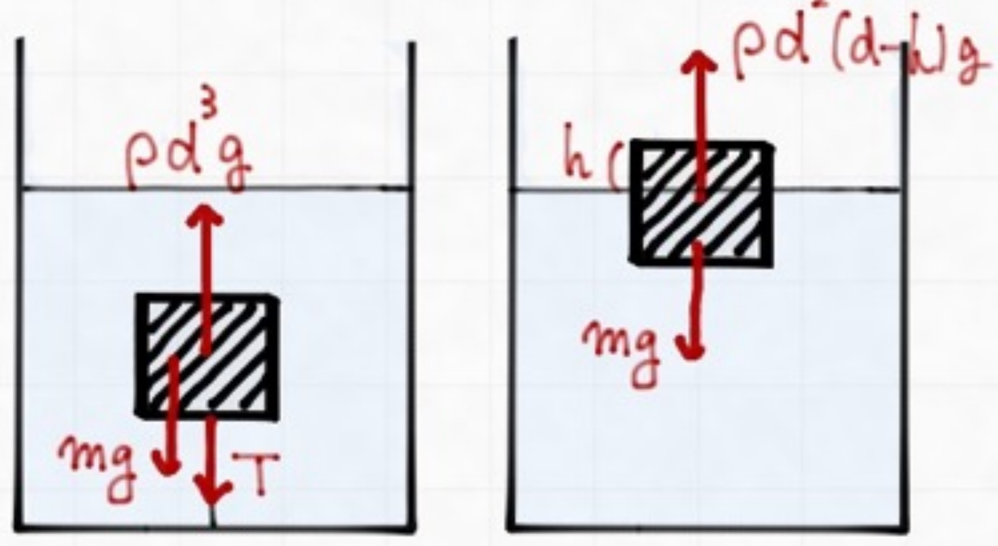
2020 北里大学

$\boxed{1}$

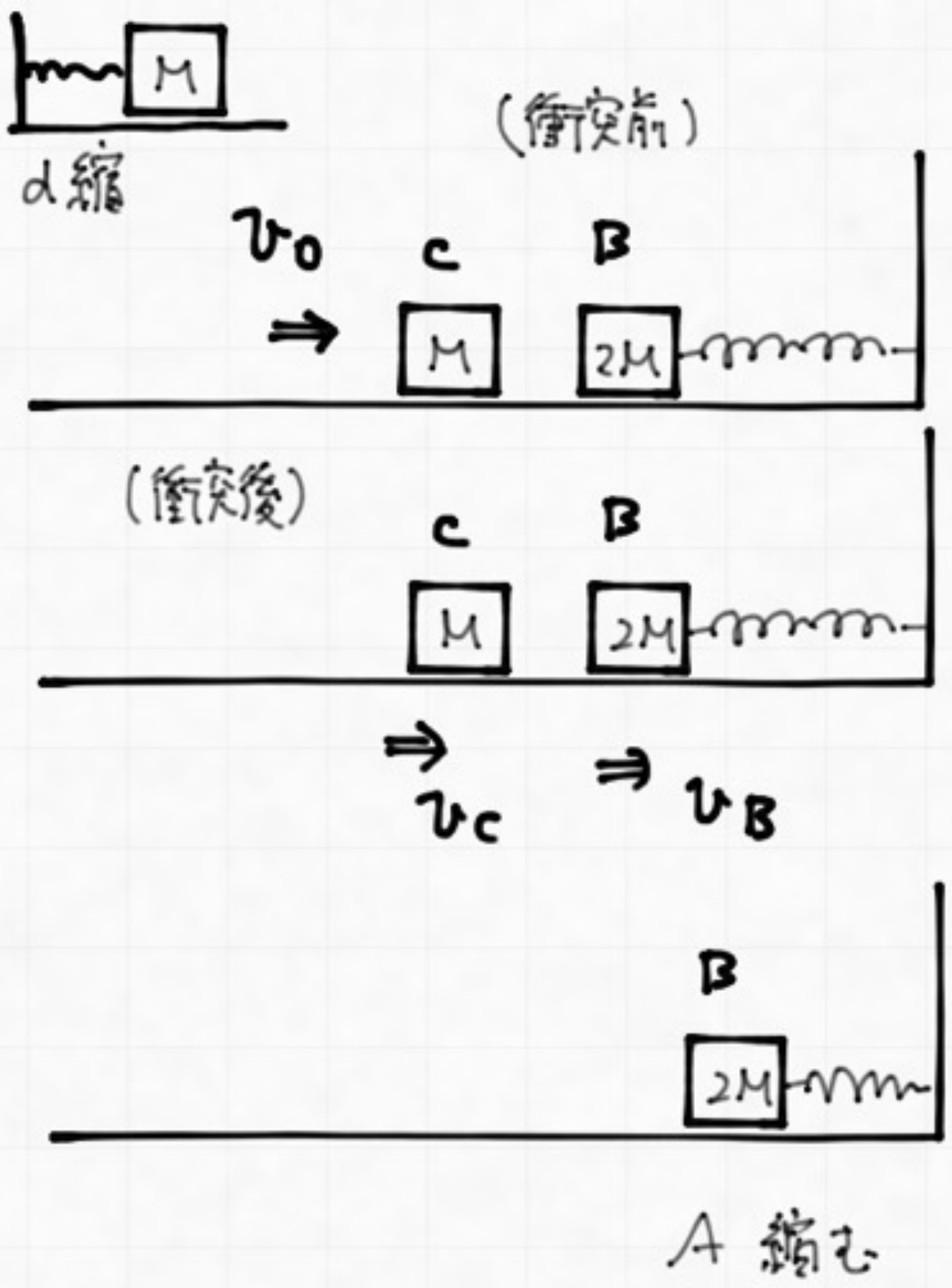


問1　1　$\rho d^3 g = mg + T$　より　$T = \rho d^3 g - mg$　⑬

2.　水面に出た高さをhとして

$$\rho d^2(d-h)g = mg \quad より \quad h = d - \frac{m}{\rho d^2}$$

その割合は　$\dfrac{h}{d} = \left(1 - \dfrac{m}{\rho d^3}\right) \times 100\ \%$　⑩



問2　3.　エネルギー保存

$$\frac{1}{2}k_1 d^2 = \frac{1}{2}M v_0^2 \quad より \quad v_0 = d\sqrt{\frac{k_1}{M}}$$

運動量保存

$$Mv_0 = Mv_C + 2Mv_B \quad \Leftrightarrow \quad v_0 = v_C + 2v_B$$

はねかえり

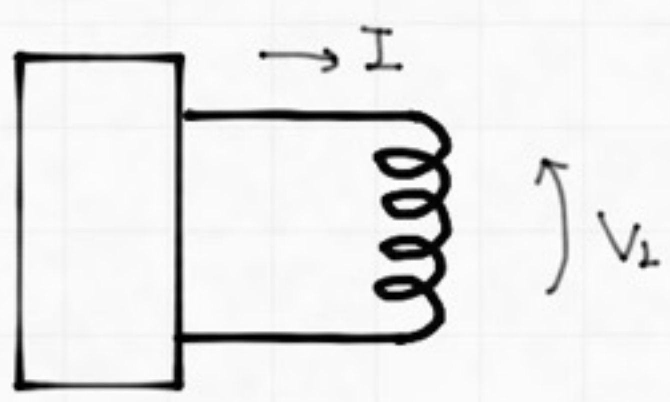
$$-1 = \frac{v_C - v_B}{v_0 - 0} \quad \Leftrightarrow \quad -v_0 = v_C - v_B$$

$$v_B = \frac{2}{3}v_0 = \frac{2}{3}d\sqrt{\frac{k_1}{M}} \quad ⑦ \qquad v_C = -\frac{1}{3}v_0 = -\frac{1}{3}d\sqrt{\frac{k_1}{M}}$$

4.　振幅をAとして．エネルギー保存

$$\frac{1}{2}\times 2Mv_B^2 = \frac{1}{2}k_2 A^2 \quad より \quad A = \sqrt{\frac{2M}{k_2}}\,v_B = \frac{2}{3}d\sqrt{\frac{2k_1}{k_2}} \quad ⑥$$

問3



5.　I[A]の電流が流れたとき、コイルに生じる磁束密度Bは

$$B = \mu_0 n I$$

このときの磁束は　$\Phi = \mu_0 n I S$　…①

コイルに生じる自己誘導起電力をV_Lとして

$$V_L = -nL\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -\mu_0 n^2 S L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

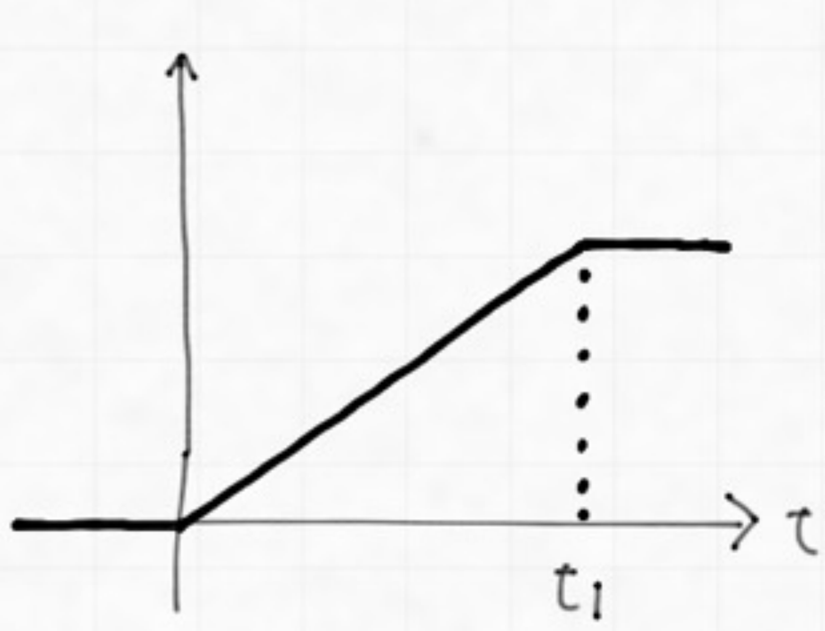
したがって回路の式は

$$V_1 - \mu_0 n^2 S L \frac{\Delta I}{\Delta t} = 0 \quad なので \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{V_1}{\mu_0 n^2 S L}$$

$V_1 + V_L = 0$

$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{V_L}{nL}$

$\Phi = \dfrac{V_L}{nL}t$



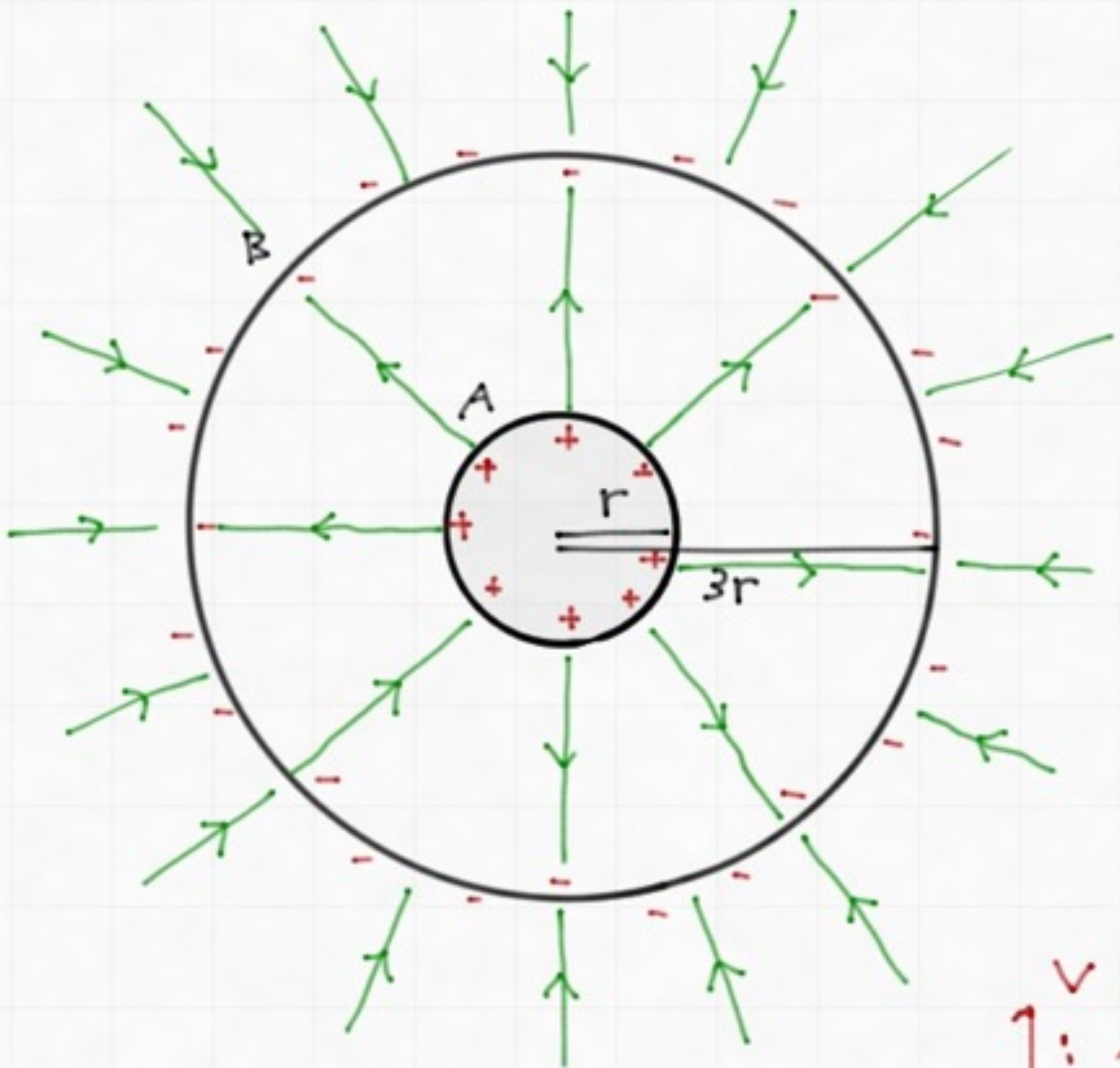
したがって時刻tのときにコイルを流れる電流Iは

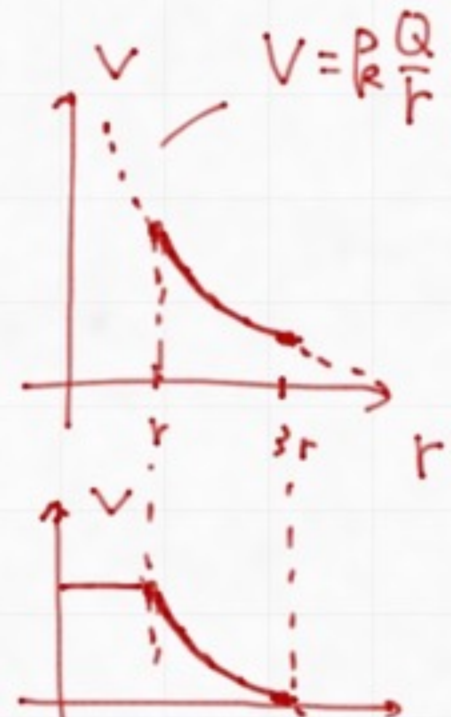
$$I = \frac{V_1}{\mu_0 n^2 S L}t$$

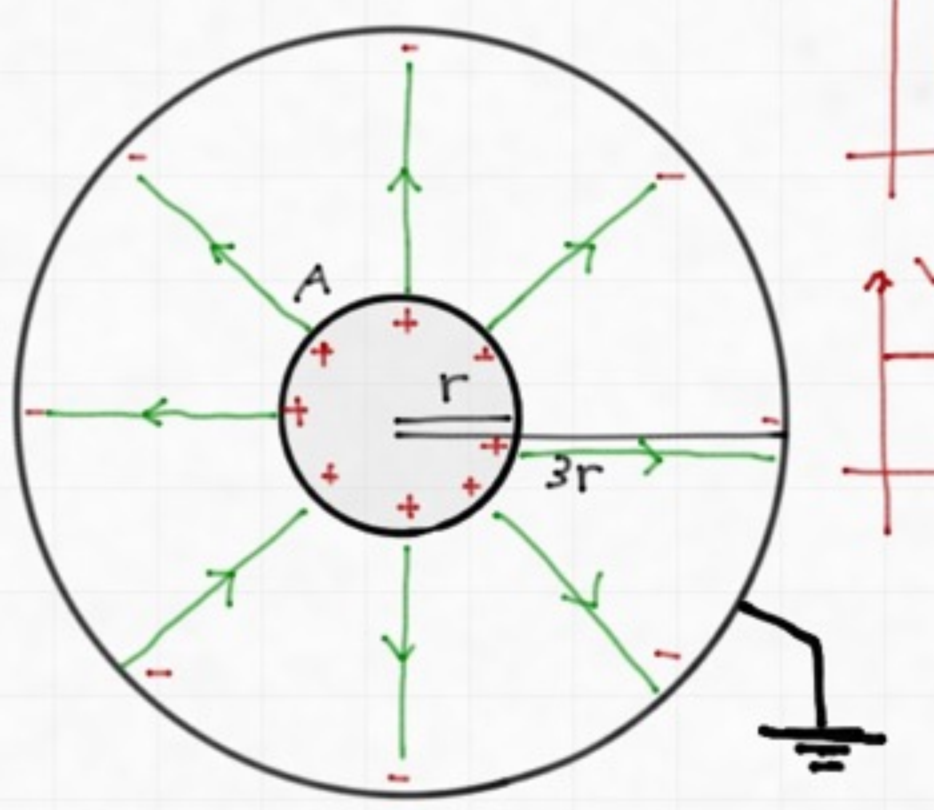
これを①に代入して　$\Phi = \dfrac{V_1 t}{nL}$

$t = t_1$のとき　$\Phi_1 = \dfrac{V_1 t_1}{nL}$　②

6.　$I = \dfrac{V_1}{\mu_0 n^2 S L}t$　④







問4

7. Aから生じる電気力線の本数は $\frac{Q}{\varepsilon_0}$(本)

A表面での電場の強さは

$$\frac{Q}{\varepsilon_0} \div 4\pi r^2 = \frac{Q}{4\pi r^2 \varepsilon_0}$$ ⑧

8. 外部からBに入りこむ電気力線の本数は $\frac{2Q}{\varepsilon_0}$(本)

Bの外部での電場の強さは

$$\frac{2Q}{\varepsilon_0} \div 4\pi (3r)^2 = \frac{Q}{18\pi \varepsilon_0 r^2}$$ ②

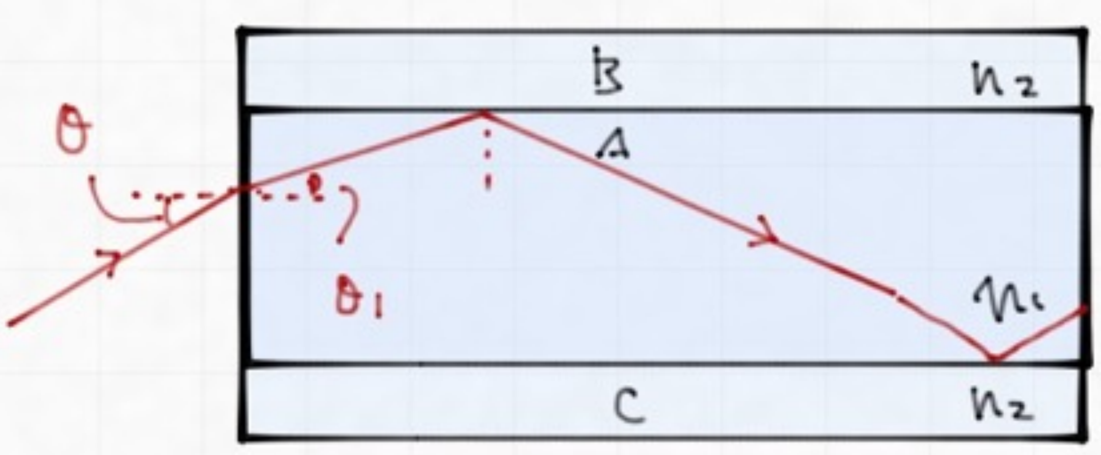
9. Bの外側の$-2Q$(C)は外部に流出してしまう。

$+Q$(C)の点電荷から$3r$,およびr離れた点の電位は、それぞれ

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{Q}{3r}, \quad \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{Q}{r}$$

Bの電位が(接地により)0であることからAの電位は

$$\frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{Q}{r} - \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \times \frac{Q}{3r} = \frac{Q}{6\pi\varepsilon_0 r}$$ ⑥



問5 10. Pでの屈折の式は $\frac{\sin\theta}{\sin\theta_1} = n_1$ …②

A,Bの境界で全反射するので

$$\sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta_1\right) > \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow \cos\theta_1 > \frac{n_2}{n_1}$$

$\Leftrightarrow \sqrt{1-\sin^2\theta_1} > \frac{n_2}{n_1}$ ここに②を代入

$$\sqrt{1-\frac{\sin^2\theta}{n_1^2}} > \frac{n_2}{n_1} \Leftrightarrow 1-\frac{\sin^2\theta}{n_1^2} > \frac{n_2^2}{n_1^2}$$

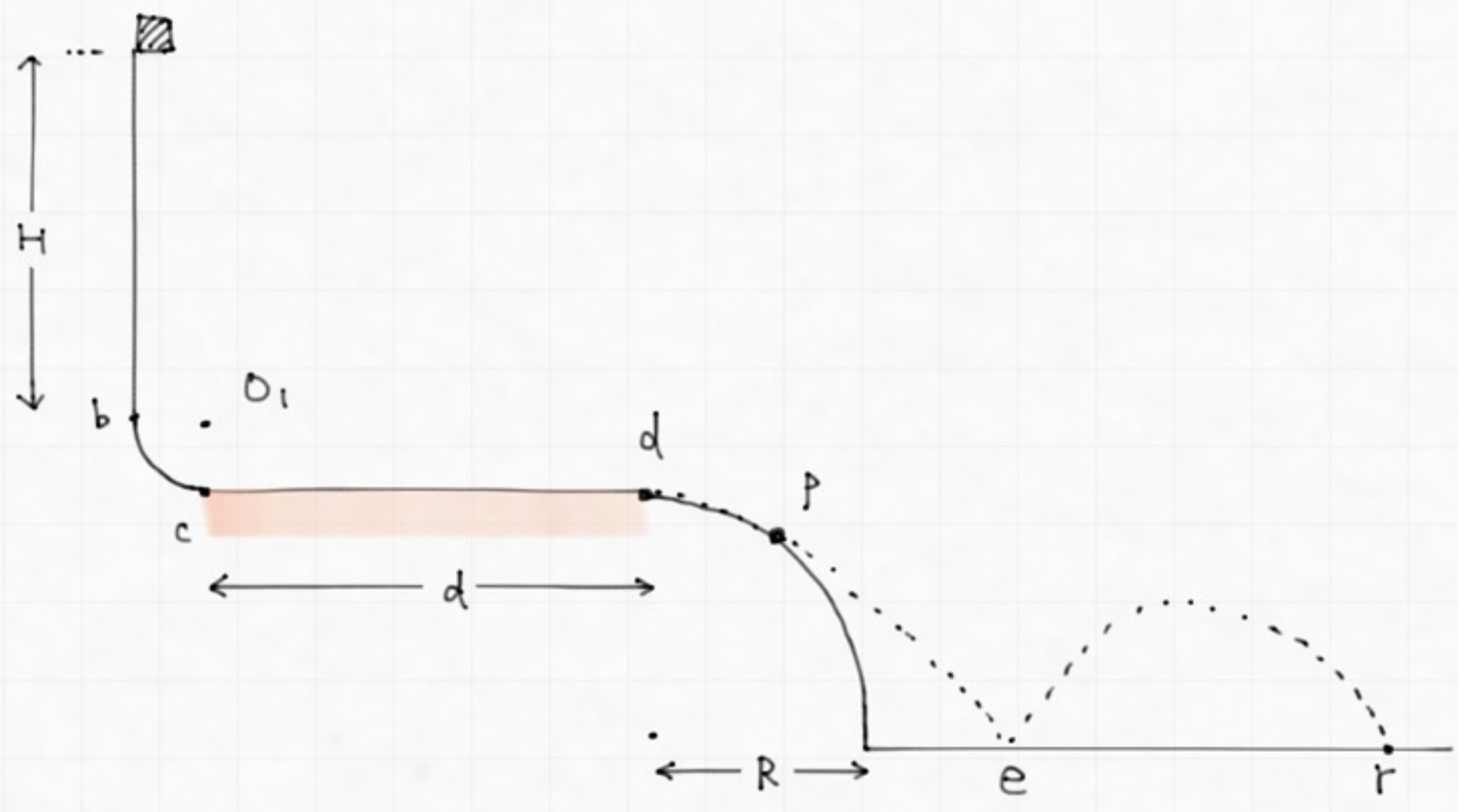
$$\Leftrightarrow \sin^2\theta < n_1^2 - n_2^2 \Leftrightarrow \sin\theta < \sqrt{n_1^2-n_2^2}$$ ⑪

11. $\frac{L}{\cos\theta_1}$ の距離を進むので

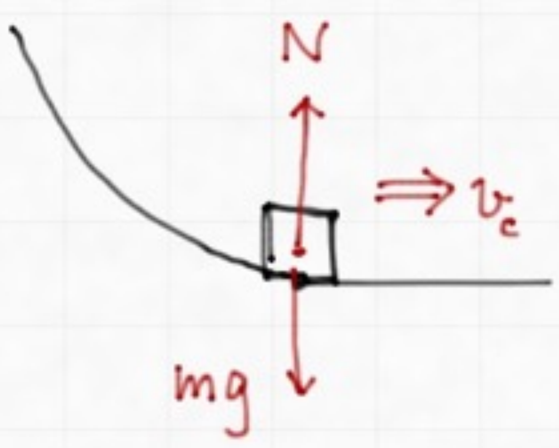
$$\frac{L}{\cos\theta_1} \times n_1 \div c = \frac{n_1 L}{c\cos\theta_1} = \frac{n_1 L}{c\sqrt{1-\frac{\sin^2\theta}{n_1^2}}} = \frac{n_1^2 L}{c\sqrt{n_1^2-\sin^2\theta}}$$ ⑬

2020 北里大学

$\boxed{2}$



問1



12. エネルギー保存 $mgH = \frac{1}{2}mv_c^2$ $v_c = \sqrt{2gH}$ ⑤

13. 運動方程式 $m\frac{v_c^2}{r} = N - mg$

より $N = \frac{m}{r} \times 2gH + mg = mg\left(\frac{2H}{r} + 1\right)$ ⑥

問2 c → d の区間で動摩擦力のする仕事は $-\mu mgd$ （μ は動摩擦係数）

エネルギーの変化量＝仕事の関係より

$$\frac{1}{2}mv_d^2 - \frac{1}{2}mv_c^2 = -\mu mgd$$

$$\mu gd = \frac{1}{2}v_c^2 - \frac{1}{2}v_d^2 = \cancel{\frac{1}{2}} \times \cancel{2}gH - \frac{1}{2}v_d^2$$

$$\mu = \frac{H}{d} - \frac{v_d^2}{2gd} = \frac{2gH - v_d^2}{2gd}$$ ⑤

問3

左のようにθをおく

エネルギー保存 $\frac{1}{2}mv_d^2 + mgR = \frac{1}{2}mv_p^2 + mgR\cos\theta$

運動方程式 $m\frac{v_p^2}{R} = mg\cos\theta - N$

N＝0のとき離れるので

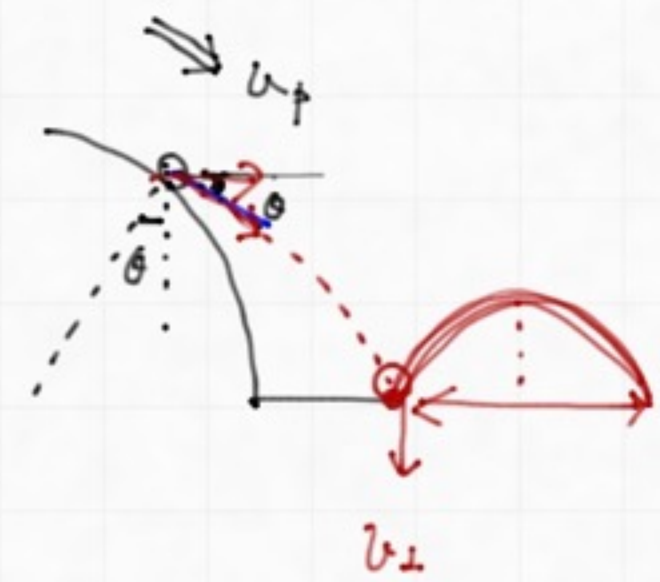
$$\cancel{\frac{1}{2}}\cancel{m}v_d^2 + \overset{2}{\cancel{m}}gR = \cancel{\frac{1}{2}} \times R\cancel{m}g\cos\theta + \overset{2}{\cancel{m}}gR\cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{v_d^2 + 2gR}{3gR}$$

15 pの高さはθを用いて $R\cos\theta = \frac{v_d^2 + 2gR}{3g}$ ⑨

16 このときの速さ $v_p = \sqrt{gR\cos\theta} = \sqrt{\frac{v_d^2 + 2gR}{3}}$ ⑨

問4 $\frac{2gR+v_d^2}{3g}=h$



Qで衝突直前の鉛直方向の速度を $v_\perp$ とおき、エネルギー保存より

$$\frac{1}{2}\cancel{m}(v_p\sin\theta)^2+\cancel{m}gh=\frac{1}{2}\cancel{m}v_\perp^2$$

$$\frac{1}{2}\times\frac{2gR+v_d^2}{3}\sin^2\theta+gh=\frac{1}{2}v_\perp^2$$

$$\frac{1}{2}hg(1-\cos^2\theta)+gh=\frac{1}{2}v_\perp^2 \qquad \cos\theta=\frac{h}{R}\text{を代入して}$$

$$hg\left(1-\frac{h^2}{R^2}\right)+2gh=v_\perp^2 \qquad v_\perp=\sqrt{3gh-\frac{h^3}{R^2}g}$$

17 衝突によって速さは e 倍になるので、衝突後に達する最高点の高さを h' として

$$\cancel{m}gh'=\frac{1}{2}\cancel{m}(ev_\perp)^2$$

$$h'=\frac{1}{2\cancel{g}}e^2\left(3\cancel{g}h-\frac{h^3}{R^2}\cancel{g}\right)=\frac{e^2(3R^2-h^2)h}{2R^2} \quad ⑫$$

18. $v_p\cos\theta=\sqrt{\frac{2Rg+v_d^2}{3}}\times\frac{h}{R}=\sqrt{gh}\,\frac{h}{R}=\frac{h}{R}\sqrt{gh}$ ⑥

問5 $\frac{ev_\perp}{g}\times2\times v_p\cos\theta=\frac{2e}{\cancel{g}}\sqrt{3\cancel{g}h-\frac{h^3}{R^2}\cancel{g}}\times\frac{h}{R}\sqrt{gh}=\frac{2eh}{R}\sqrt{h^2\left(3-\frac{h^2}{R^2}\right)}=\frac{2eh^2}{R}\sqrt{3-\frac{h^2}{R^2}}=\frac{2eh^2}{R^2}\sqrt{3R^2-h^2}$

⑬

2020 北里大学

3

問1

$$U_A + U_B = \frac{3}{2}n_1RT_A + \frac{3}{2}n_2RT_B$$
$$= \frac{3}{2}PV + \frac{3}{2}PV = \mathbf{3PV} \quad 12$$

問2 $T_B - T_A = \frac{PV}{n_2R} - \frac{PV}{n_1R} = \frac{PV}{R}\left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_1}\right)$ 4

問3 $V_A^{\gamma} = \frac{1}{2}V^{\gamma}$ より $V_A = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{1}{\gamma}}V$ 4

問4

$$W = \frac{3}{2}n_1R(T_A' - T_A)$$
$$= \frac{3}{2}2PV_A - \frac{3}{2}PV = 3PkV - \frac{3}{2}PV$$
$$= \frac{3}{2}PV(2k-1) \quad 10$$

問5 $2PV_B = n_2RT_B'$

$2P(2V - kV) = n_2RT_B'$ 　　$T_B' = \frac{2PV}{n_2R}(2-k)$ 17

問6 $Q_B = W + \frac{3}{2}n_2R(T_B' - T_B)$

$$= \frac{3}{2}PV(2k-1) + \frac{3}{\cancel{2}}\cancel{n_2R}\cdot\frac{\cancel{2}PV}{\cancel{n_2R}}(2-k) - \frac{3}{2}PV = PV\left(\cancel{3k} - \frac{3}{2} + 6 - \cancel{3k} - \frac{3}{2}\right) = \mathbf{3PV} \quad 6$$

問7 $P' = \frac{2P(2V-kV)^{\gamma}}{V^{\gamma}} = 2P(2-k)^{\gamma}$ 8

A

$PV = n_1RT_A$

断熱圧縮 $\downarrow$ $0 = -W + \frac{3}{2}n_1R(T_A' - T_A)$

$PV^{\gamma} = 2PV_A^{\gamma}$

$2PV_A = n_1RT_A'$

$\downarrow$ $Q_A = W' + \frac{3}{2}n_1(T_A'' - T_A')$

$P'V = n_1RT_A''$

B

$PV = n_2RT_B$

$\downarrow$ $Q_B = W + \frac{3}{2}n_2R(T_B' - T_B)$

$2PV_B = n_2RT_B'$

$V_A + V_B = 2V$

断熱 $\downarrow$ $0 = -W' + \frac{3}{2}n_2R(T_B'' - T_B')$

$2PV_B^{\gamma} = P'V^{\gamma}$

$P'V = n_2RT_B''$