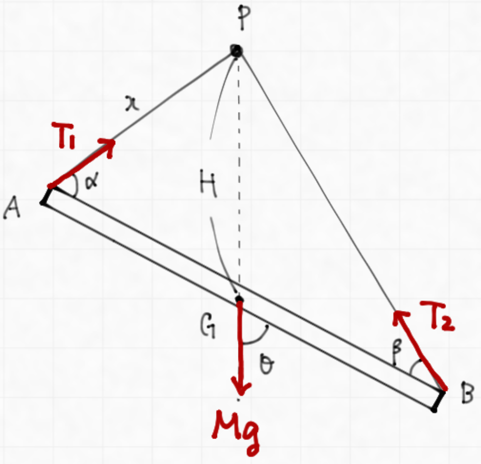
2020 藤田医科

1



問1 （AB方向）

$$T_1\cos\alpha + Mg\cos\theta = T_2\cos\beta \quad \cdots ①$$

（ABに垂直な方向）

$$T_1\sin\alpha + T_2\sin\beta = Mg\sin\theta \quad \cdots ②$$

問2 （Gのまわりのモーメントのつりあい）

$$T_2\sin\beta \times L = T_1\sin\alpha\, L \quad \cdots ③$$

問3 △ABPについて正弦定理より

$$\frac{BP}{\sin\alpha} = \frac{AP}{\sin\beta} \Leftrightarrow \frac{3L-x}{\sin\alpha} = \frac{x}{\sin\beta}$$

△AGPについて正弦定理より

$$\frac{PG}{\sin\alpha} = \frac{AP}{\sin\theta} \Leftrightarrow \frac{H}{\sin\alpha} = \frac{x}{\sin\theta}$$

より $\dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \dfrac{x}{3L-x}$, $\dfrac{\sin\theta}{\sin\alpha} = \dfrac{x}{H}$

③より $\dfrac{T_1}{T_2} = \dfrac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \boldsymbol{\dfrac{x}{3L-x}}$

問4 ②に問3より $T_2 = \dfrac{3L-x}{x}T_1$ を代入

$$T_1\sin\alpha + \frac{3L-x}{x}T_1\sin\beta = Mg\sin\theta$$

$$T_1 = \frac{Mg\sin\theta}{\sin\alpha + \frac{3L-x}{x}\sin\beta} = \frac{Mgx\frac{\sin\theta}{\sin\alpha}}{x + (3L-x)\frac{\sin\beta}{\sin\alpha}} = \frac{Mgx\cdot\frac{x}{H}}{x+x} = \boldsymbol{\frac{x}{2H}Mg}$$

問5 **小さくなる**

理由. 滑車を使うと張力T_1とT_2が等しくなるが、このとき棒ABのGのまわりのモーメントは反時計まわりを正として $T_2\sin\beta - T_1\sin\alpha < 0$ となる（$\because T_2 = T_1$, $\sin\beta < \sin\alpha$）のでABは時計まわりに回転を始めるから

2020 藤田医科

2 問1 $P_B = P_0 - \frac{3Mg}{S} = P_0 - \frac{3}{5}P_0 = \boldsymbol{\frac{2}{5}P_0}$

$\frac{2}{5}P_0 \cdot V_B = P_0V_0$ より $V_B = \boldsymbol{\frac{5}{2}V_0}$

問2 $P_C = P_0 - \frac{Mg}{S} = \frac{4}{5}P_0$

ポアソンの式より

$$\cancel{\frac{2}{5}P_0}\left(\frac{5}{2}V_0\right)^{\frac{5}{3}} = \overset{2}{\cancel{\frac{4}{5}}}\cancel{P_0}V_C^{\frac{5}{3}}$$

$$\frac{5}{2}V_0 = 2^{\frac{3}{5}}V_C$$

$$V_C = 5V_0 \cdot 2^{-1-\frac{3}{5}} = \boldsymbol{5 \cdot 2^{-\frac{8}{5}} \cdot V_0}$$

$$T_C = \cancel{\frac{4}{5}}\frac{\underline{P_0}}{\underline{nR}} \cdot \underline{\cancel{5} \cdot 2^{-\frac{8}{5}}V_0} = 2^{2-\frac{8}{5}}\underline{T_0} = \boldsymbol{2^{\frac{2}{5}}T_0}$$

状態A $P_0V_0 = nRT_0$

$\downarrow$ 等温

$Q_{AB} = W_{AB} + 0$

状態B $\left(P_0 - \frac{3Mg}{S}\right)V_B = nRT_0$

$\downarrow$ 断圧

$0 = W_{BC} + \frac{3}{2}nR(T_C - T_0)$

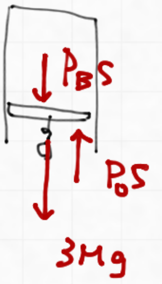
$\left(P_0 - \frac{3Mg}{S}\right)V_B^{\gamma} = \left(P_0 - \frac{Mg}{S}\right)V_C^{\gamma}$

状態C $\left(P_0 - \frac{Mg}{S}\right)\underline{V_C} = nR\underline{T_C}$

$\downarrow$ 定圧

$Q_{CD} = \left(P_0 - \frac{Mg}{S}\right)(V_D - V_C) + \frac{3}{2}nR(T_0 - T_C)$

状態D $\left(P_0 - \frac{Mg}{S}\right)V_D = nRT_0$



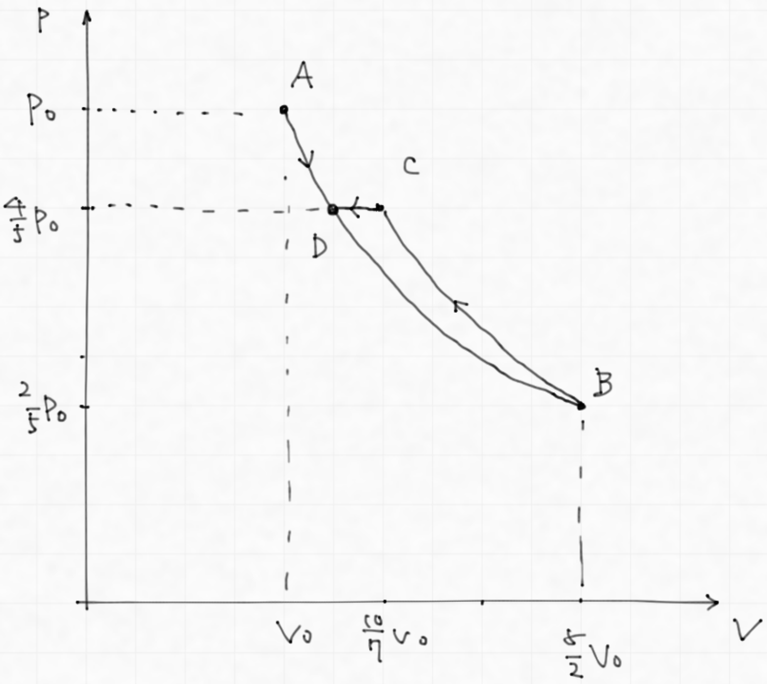
$P_0S = P_BS + 3Mg$

$P_B = P_0 - \frac{3Mg}{S}$

問3 $\frac{V_C}{V_B} = \frac{5 \cdot 2^{-\frac{8}{5}}V_0}{\frac{5}{2}V_0} = 2^{-\frac{3}{5}} < 1$ したがって B→Cは断熱圧縮. だから、気体は負の仕事をしている ($W_{BC} < 0$)。断熱変化では. 気体の行った仕事と、内部エネルギーの変化の和が 0 だから 内部エネルギーは**増加**している

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2}nR(T_C - T_0) = \frac{3}{2}nR\left(2^{\frac{2}{5}} - 1\right)T_0 = \boldsymbol{\frac{3}{2}\left(2^{\frac{2}{5}} - 1\right)P_0V_0}$$

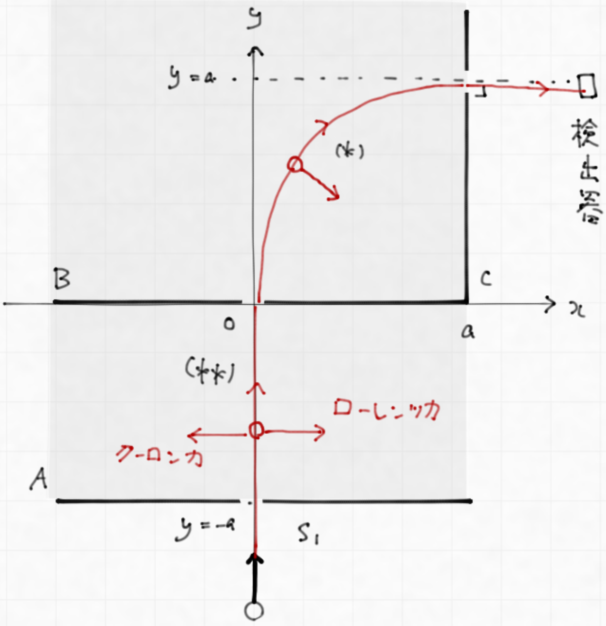
問4



$$V_C = 5 \cdot 2^{-\frac{8}{5}}V_0 = 5 \cdot 2^{-1} \cdot 2^{-\frac{3}{5}}V_0$$

$$= 5 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1.5}V_0 = \frac{10}{7}V_0$$

2020 藤田医科



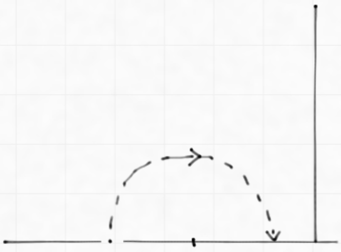
3 問1 領域2で時計まわりの円運動をするので右図(*)のようにローレンツ力が働くことになる. 正の電荷を持つ粒子が+yの方向に飛びこみ, +xの方向の力を受けるので, 左手の法則より磁場の向きは, 紙面 **裏から表**の向きと分かる

領域1ではこのローレンツ力と逆向きにクーロン力を受けていたことになる(**)ので, x軸負の向きに力を受けていたことが分かる.
つまり電場の向きは **x 軸負の向き**

問2 領域1 (力のつりあい) $qE = qvB$ より $v = \boldsymbol{\frac{E}{B}}$

問3 領域2 (円運動) $m\frac{v^2}{r} = qvB$ より

$$r = \frac{mv}{qB}$$



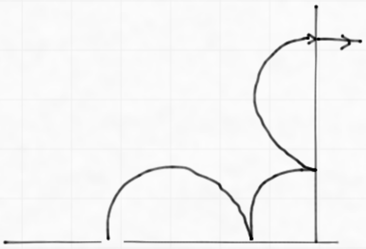
壁Bと衝突するのは右図のように半周期後

$$\frac{\pi r}{v} = \boldsymbol{\frac{\pi m}{qB}}$$

問4 $qE_0 = qvB_1$, $m\frac{v^2}{a} = qvB_1$ より $v = \frac{E_0}{B_1}$

$$m\frac{1}{a}\frac{E_0}{B_1} = qB_1 \quad B_1 = \boldsymbol{\sqrt{\frac{mE_0}{aq}}} \qquad T_1 = \frac{1}{4}\times\frac{2\pi a}{v} = \frac{1}{2}\pi a\frac{B_1}{E_0} = \frac{\pi a}{2E_0}\sqrt{\frac{mE_0}{aq}} = \boldsymbol{\frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{am}{qE_0}}}$$

問5 右のような軌跡を描くとき.



半径は $\frac{a}{3}$ になっているので. $m\frac{v^2}{\frac{a}{3}} = qvB_2$

$$B_2 = \frac{3mv}{aq} = \frac{3m}{aq}\frac{E_0}{B_2} \qquad B_2 = \sqrt{\frac{3mE_0}{aq}} = \boldsymbol{\sqrt{3}}\,B_1$$

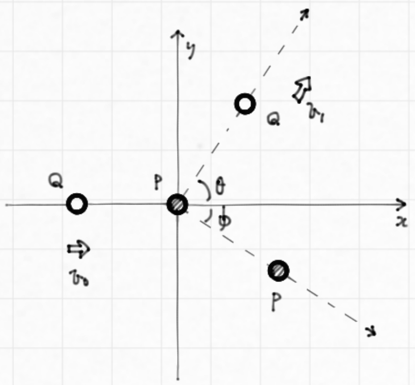
$\frac{5}{4}$周期分だけ動くので $\frac{5}{4}\times\frac{2\pi\frac{a}{3}}{v} = \frac{5}{6}\cdot\frac{a}{v} = \frac{5}{6}a\frac{\pi}{E_0}\cdot\sqrt{\frac{3mE_0}{aq}} = \frac{\pi}{2}\sqrt{\frac{am}{qE_0}}\cdot\boldsymbol{\frac{5}{\sqrt{3}}}$

問6 領域1を通過するのは $v = \frac{E_1}{B_2}$ を満たすものだから Eを大きくすると通過できる粒子は速くなっていく. そのため, 再び検出されるときは E_0, B_1 のときと同じように $\frac{1}{4}$ 周した粒子となっている.

$$B_2 = \sqrt{\frac{mE_1}{aq}} = \sqrt{\frac{3mE_0}{aq}} \text{ より. } E_1 = \boldsymbol{3}E_0$$

2020　藤田医科

4



1.　衝突後のPの速度を v_2 とする

運動量保存　$m_Q v_0 = m_Q v_1\cos\theta + m_P v_2\cos\phi$　…①

$0 = m_Q v_1\sin\theta - m_P v_2\sin\phi$　…②

エネルギー保存　$\frac{1}{2}m_Q v_0^2 = \frac{1}{2}m_Q v_1^2 + \frac{1}{2}m_P v_2^2$　…③

② より　$m_P = \frac{m_Q v_1\sin\theta}{v_2\sin\phi}$ を ① に代入

$$\cancel{m_Q} v_0 = \cancel{m_Q} v_1\cos\theta + \frac{\cancel{m_Q} v_1\sin\theta}{\cancel{v_2}\sin\phi}\cancel{v_2}\cos\phi$$

$$v_0 - v_1\cos\theta = \frac{v_1\sin\theta}{\tan\phi}$$　　$$\tan\phi = \frac{v_1\sin\theta}{v_0 - v_1\cos\theta}$$

2.　① より $v_2 = \frac{m_Q(v_0 - v_1\cos\theta)}{m_P\cos\phi}$ を ③ に代入

$$\cancel{\frac{1}{2}}\cancel{m_Q}v_0^2 = \cancel{\frac{1}{2}}\cancel{m_Q}v_1^2 + \cancel{\frac{1}{2}}\cancel{m_P}\frac{(v_0 - v_1\cos\theta)^2 m_Q^{\cancel{2}}}{m_P^{\cancel{2}}\cos^2\phi}$$

$$\frac{m_Q}{m_P}\cdot(v_0 - v_1\cos\theta)^2\cdot\frac{1}{\cos^2\phi} = v_0^2 - v_1^2$$　　$\tan^2\phi + 1 = \frac{1}{\cos^2\phi}$ を用いて

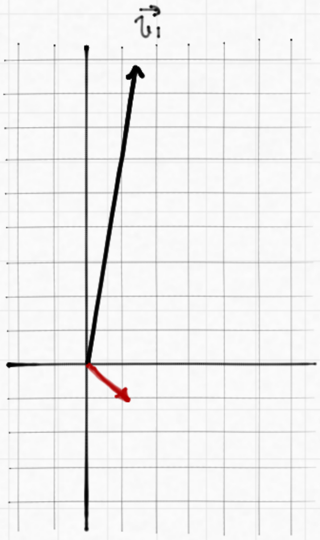
$$\frac{m_P}{m_Q} = \frac{(v_0 - v_1\cos\theta)^2}{v_0^2 - v_1^2}\times\left\{\frac{v_1^2\sin^2\theta}{(v_0 - v_1\cos\theta)^2} + 1\right\} = \frac{1}{v_0^2 - v_1^2}\left(v_1^2\sin^2\theta + v_0^2 + v_1^2\cos^2\theta - 2v_0v_1\cos\theta\right)$$

$$= \frac{v_0^2 + v_1^2 - 2v_0v_1\cos\theta}{v_0^2 - v_1^2}$$

3.　$\tan\phi = \frac{\frac{v_1}{v_0}\sin\theta}{1 - \frac{v_1}{v_0}\cos\theta} = \frac{\frac{9}{10}\times\sqrt{1 - 0.14^2}}{1 - \frac{9}{10}\times 0.14} \fallingdotseq \frac{9\times(1 - \frac{1}{2}0.14^2)}{10 - 1.26} = 1.019..$　　$\phi \fallingdotseq 45°$　**(エ)**

4.　$\frac{m_P}{m_Q} = \frac{1 + (\frac{v_1}{v_0})^2 - 2\frac{v_1}{v_0}\cos\theta}{1 - (\frac{v_1}{v_0})^2} = \frac{1 + (\frac{9}{10})^2 - 2\cdot\frac{9}{10}\cdot 0.14}{1 - (\frac{9}{10})^2} = \mathbf{8.2}$　倍

5.



$v_1 = \frac{9}{10}v_0$.　$\cos\theta = 0.14$.

$$v_2 = \frac{m_Q(v_0 - v_1\cos\theta)}{m_P\cos\phi} = \frac{v_0(1 - \frac{9}{10}\times 0.14)}{8.2\times\frac{\sqrt{2}}{2}} = 0.15v_0$$

よって $\vec{v_2}$ は 左のようになる