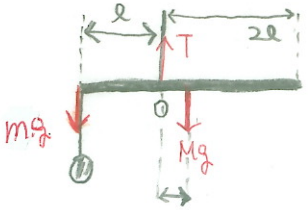
物理 2020

第1問

問1　O点まわりの力のモーメントを考えればよく、



(棒は一様)

$$0 = mg\cdot l - Mg\cdot 0.5l \quad \therefore\ m = \frac{1}{2}M$$ ③

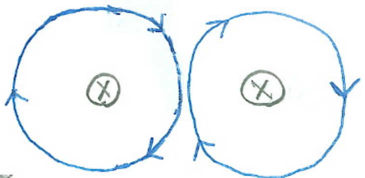
問2　・磁力線の接線の向きがその地点での磁場の向き

・導線から湧き出ているのではない (N極から出てS極に移動する)

・磁力線の密度がその地点での磁場の強さを表す

→この時点で ① or ② のみ。

いま、A, Bには同じ向きに電流が流れるので、右図のとおり。



A, Bの中点付近では磁場の強さはゼロと考えられる。　よって ①

問3　管Bを L 引き出したことにより、A→B→C の経路と A→D→C の経路の経路差が 2L となり、この間に音は $\underbrace{\text{最小}}_{\text{はじめ}}$ → 最大 → $\underbrace{\text{最小}}_{\text{Lうごかしたとき}}$ となっていることから

$\lambda = 2L$　④

である。

問4　理想気体の状態方程式

$$pV = nRT$$

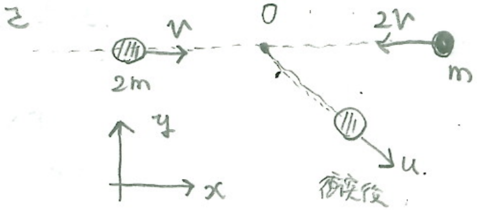
より、T一定のもとで体積を2倍にすれば圧力は $\frac{1}{2}$ 倍

p一定のもとで絶対温度を $\frac{1}{2}$ 倍にすると体積は $\frac{1}{2}$ 倍 ―(*)

である。また、単原子分子理想気体の内部エネルギーは $\frac{3}{2}nRT$ とあらわされることから(*)のとき、内部エネルギーは $\frac{1}{2}$ 倍

以上より ③

問5　右図のように設定し、速度を



衝突前　A : $(v, 0)$

B : $(-2v, 0)$

衝突後　A : $(u, -u)$

B : (u'_x, u'_y)

とおく。すると、運動量保存則より、

$$x:\ 2mu + mu'_x = 2mv + m(-2v)\ (=0)$$
$$y:\ \underbrace{2m(-u) + mu'_y}_{\text{衝突後}} = \underbrace{0}_{\text{衝突前}}$$

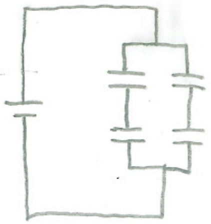
すると、$u'_x = -2u$

$u'_y = 2u$

となるので、小球Bは ④ の向きの速度となる。

第2問

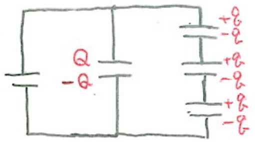
A： 問1. 題意どおり，P, Q, R, Sを導線・境界の誘電体をコンデンサとみると



左図のようになる。

よって ④

問2 問1同様に回路図にすると下図のようになる。また、電荷保存と初期条件より下のように電荷がおける。



誘電体を考慮した、コンデンサ1つの容量をCとすると回路の式は

$$\begin{cases} V = \dfrac{Q}{C} \\ V = \dfrac{q}{C} + \dfrac{q}{C} + \dfrac{q}{C} \end{cases} \Rightarrow q = \frac{1}{3}Q$$

これより，求める電圧は $\frac{q}{C} = \frac{1}{3}\frac{Q}{C} = \frac{1}{3}V$

となるので，②

B： 問3 荷電粒子はローレンツ力により図中(a)の向きに進む（下図参照）。

この際，はたらく力はローレンツ力のみであり，ローレンツ力は仕事をしないので，エネルギーは変わらない

以上より ⑤

問4 電極P, Qでのエネルギー保存を考えればよい

Pでのエネルギー　　Qでのエネルギー

$$\underbrace{\frac{1}{2}mv^2}_{運動エネルギー} + \underbrace{qV}_{位置エネルギー} = \underbrace{\frac{1}{2}m(2v)^2}_{運動エネルギー} + \underbrace{q\cdot 0}_{位置エネルギー}$$

$$\therefore\ qV = \frac{3}{2}mv^2 \Rightarrow V = \frac{3mv^2}{2q}$$

一方，質量M $(m < M)$ の別の粒子で同様に考えると Qを通過する際の速さv'として

$$\frac{1}{2}Mv^2 + qV = \frac{1}{2}Mv'^2 + q\cdot 0$$

$$\frac{1}{2}Mv'^2 = \frac{1}{2}Mv^2 + q\cdot\frac{3mv^2}{2q}$$

$$v'^2 = v^2 + 3\cdot\frac{m}{M}v^2 = \left(1+3\frac{m}{M}\right)v^2 < 4v^2$$

であるので，$v' < 2v$ となり，小さい

以上より ③

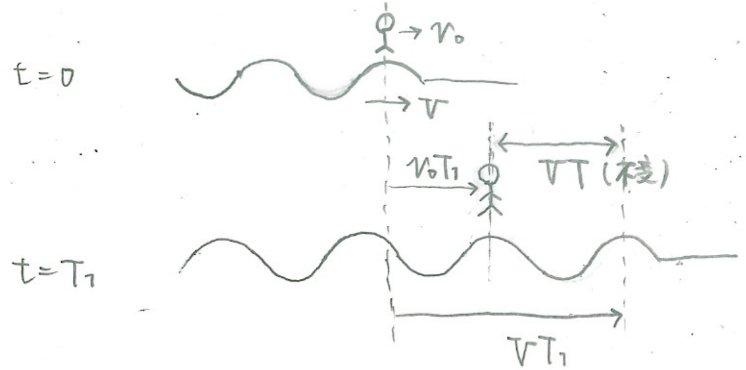
第3問

A: 問1 波の伝わる速さV, 波の周期T であるので、

波長λ は $\lambda = VT$ である

これより、波源を固定した際の山と山の間のきょりは波長に等しく、VT

ここで、観測者がx軸の正の向きに速度v_0で動くと、



上図より、

$$VT_1 = v_0T_1 + VT$$

$$\therefore (V-v_0)T_1 = VT \Rightarrow T_1 = \frac{V}{V-v_0}T$$

となるとわかる。よって ③

問2 与えられた条件のもとでは

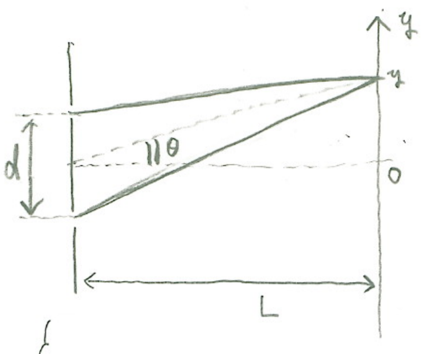
2波長分は $\lambda = VT$ の波長であり、

その後 $\lambda' = \frac{3}{4}VT$ の波長となる

これを満たしているのは ②

（波長については、音源が動く場合の音波のドップラー効果と同様である。）

B 問3



実際にはdは充分小さい

左図のようにおくと

干渉条件は

明線: $d\sin\theta = m\lambda$ (mは整数)

さらに $\sin\theta \approx \tan\theta = \frac{y}{L}$ とすれば、

$$\frac{d}{L}y = m\lambda$$

(mは整数)

となる

すると明線間隔Δyは、

$$\Delta y = \frac{L}{d}\lambda$$

となりλが短いほどΔyも小さい

よって、明線間隔が短いのは 紫の光 である

同様に考えると dを狭くすると 明線間隔は 広くなる

以上より ⑥

問4 図のような光が強めあうのは、平面ガラス表面での反射で位相がπずれることに注意すれば

$$\frac{2d}{\lambda} = m + \frac{1}{2} \Leftrightarrow d = \frac{\lambda}{2}\left(m + \frac{1}{2}\right)$$

のときである。

また、空気層を屈折率n'の物質で満たしたとき、

波長が $\frac{1}{n'}$ 倍となるので、明線条件は

$$\frac{2d}{\lambda/n'} = m + \frac{1}{2} \Leftrightarrow d = \frac{1}{n'}\frac{\lambda}{2}\left(m + \frac{1}{2}\right)$$

となり、$m=0$のときを考えると、空気の場合よりdが小さくなる

これは明環の半径が小さくなることを示している

以上より ⑦

第4問

A 問1 運動量保存則より、

$$\underbrace{4mV}_{合体後} = \underbrace{mv + 3m\cdot 0}_{合体前} \qquad \therefore V = \frac{1}{4}v$$

よって ①

問2. 円運動中の運動方程式は

中心方向 $4m\dfrac{u^2}{r} = N + 4mg\sin\theta$ —— (*)

接線方向 $4m\cdot a = -4mg\cos\theta$

であり、エネルギー保存則は

$\frac{1}{2}4mu^2 + 4mgr\sin\theta = (一定)$ —— (**)

となる

$\theta = -\frac{\pi}{2}$ のときを考えると (**) の一定値は

$$\frac{1}{2}\cdot 4m\cdot V^2 - 4mgr$$

である。よって

$$\frac{1}{2}4mu^2 + 4mgr\sin\theta = 2mV^2 - 4mgr$$

$$\Rightarrow 4mu^2 = 4mV^2 - 8mgr - 8mgr\sin\theta$$

であり、(*)より

$$N = 4mu^2/r - 4mg\sin\theta$$

であるので、点Pを通過する条件は $\theta = \frac{\pi}{2}$ のとき $N \geq 0$ で、

$$N = \frac{4mV^2}{r} - 20mg \geq 0$$

$\therefore V^2 \geq 5gr$ すなわち $V \geq \sqrt{5gr}$

よって ③

B 問3

各小球にはたらく力は左図のとおりで、

小球1：$m\cdot 0 = T - mg - ks$

小球2：$m\cdot 0 = ks - mg$.

となる。よって、

$$s = \frac{mg}{k}, \quad T = 2mg$$

であるので； ④

問4 問3で $T=0$ のときを考えれば、

$m\cdot a_1 = -mg - ks$

$ma_2 = ks - mg \fallingdotseq 0$ 問3より

となる これを解くと

$a_1 = 2g$, $a_2 = 0$

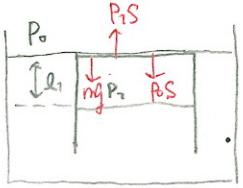
である。 よって ④

第5問

問1　容器上面のつりあいを考えることにより

$$m\cdot 0 = P_1S - mg - P_0S \quad \therefore P_1 = P_0 + \frac{mg}{S}$$

一方、容器下面（水面）については、



$$P_1 = P_0 + \rho l_1 g$$

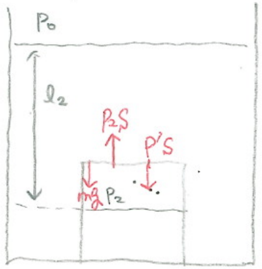
となる。これらより

$$\frac{mg}{S} = \rho l_1 g \qquad \therefore l_1 = \frac{m}{\rho S}$$

よって ①

問2　右図のように考える

なお、"上昇をはじめる"ので、底面からの垂直抗力 N は $N=0$ である。



$$m\cdot 0 = P_2S - P'S - mg$$

ただし

$$\frac{P_2Sl'}{T'} = \frac{P_1Sl_1}{T_1}$$

である。ここで、 $P' = P_2 - \rho l' g$ であり、

$$P_2 = P_0 + \rho l_2 g$$

でもある。　よって ②

問3.　このとき、問2より

$$l' = \frac{P' - P_2}{-\rho g} = \frac{mg}{\rho g S} = \frac{m}{\rho g} = l_1$$

であるから

$$T' = \frac{P_2}{P_1}T_1$$

である　　よって ③

第6問

問1　質量数、陽子数の保存を考えて $\boxed{ア}$ は $^{70}_{30}Zn$ である

また、α崩壊では $^{4}_{2}He^{2+}$ が放出されるため、6回 である。

よって ⑧

問2　質量欠損は

$$2\times1.673\times10^{-27} + 2\times1.675\times10^{-27} - 6.645\times10^{-27}$$

$$= 5.1\times10^{-29}\ \mathrm{kg}.$$

であるので、このエネルギーは、

$$5.1\times10^{-29}\times(3.0\times10^{8})^2 = 5.1\times9.0\times10^{-13}$$

$$= 45.9\times10^{-13}$$

$$\approx 4.6\times10^{-12}\ [\mathrm{J}]$$

よって ⑤

問3　α線は正電荷、β線は負電荷を帯びており、γ線は電気的に中性であるので、

適するのは ⑥