

第1問

問1 棒の重心は棒の midpoint で、O から右に $\frac{l}{2}$ の位置であるので、力のモーメントのつり合いより

$$Mg \times \frac{l}{2} - mgl = 0 \quad \therefore \quad m = \frac{1}{2}M \quad \dots \textcircled{3}$$

問2 直線電流を中心に回るように磁場が出来る。A と B の midpoint は、電流の向きが同じなので磁場が逆向きで、合成磁場は 0 となる。磁場の大きさは磁力線の疎密であるので該当するのは ①

問3 音が最小から大きくなり再び最小となるので、経路は λ だけ大きくなっている。ゆえに $\lambda = 2L$ ④

(経路が $2L$ 長くなったことは問題文にしっかりと書いてあります。)

問4 ア. 圧力 p , 体積 V として、温度一定なのでボイルの法則より

$$pV = \text{一定}$$

圧力が $\frac{1}{2}$ 倍になると、体積は 2 倍。

イ. 温度 T として、圧力一定なのでシャルルの法則より

$$\frac{V}{T} = \text{一定}$$

ゆえに、温度が $\frac{1}{2}$ 倍になると体積も $\frac{1}{2}$ 倍になる。

ウ. 内部エネルギーは温度に比例するので $\frac{1}{2}$ 倍

$$\text{ア. } 2 \quad \text{イ. } \frac{1}{2} \quad \text{ウ. } \frac{1}{2} \quad \dots \textcircled{3}$$

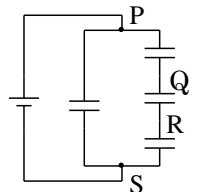
問5 衝突前の小球 A, B の運動方向の運動量の和は 0, 垂直方向も 0 である。衝突後の A, B の運動は一直線上で逆向きでないと運動量の和は 0 とならない。 $\dots \textcircled{4}$

第2問

問1 コンデンサーは誘電体が導体で挟まれたものである。誘電体のあるところが 1 つのコンデンサーと考える。PS 間, SR 間と PQ 間, QR 間がコンデンサーである。 $\dots \textcircled{4}$

問2 同じ容量のコンデンサーが、右図のように接続されていると考えればよい。

$$\text{電池の電圧を } V \text{ とすると, QR 間の電圧は } \frac{V}{3} \quad \dots \textcircled{2}$$



問3 正電荷であることに注意する。左手の法則より、点 Q でローレンツ力は下向きなので軌道は(b)

ローレンツ力は速度と常に直交する方向にはたらくので仕事をしない。ゆえに、運動エネ

ルギーは変化しない。 …⑤

問 4 PQ 間で荷電粒子が得たエネルギーは qV である。運動エネルギーの変化が qV となるので

$$\frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = qV \quad \therefore V = \frac{3mv^2}{2q}$$

電気量が同じであれば、得るエネルギーは同じだが、質量が大きいので速さは $2v$ より小さくなる。 …③

第 3 問

問 1 ア. 山と山の間隔が、波長 λ である。波の進む速さ V 、周期 T より

$$\lambda = VT$$

イ. この間、観測者は v_0T_1 、波は VT_1 だけ移動するが、波の移動距離が 1 波長分長い。ゆえに

$$VT_1 - v_0T_1 = VT \quad T_1 = \frac{V}{V - v_0}T \quad \dots\textcircled{3}$$

(別解)ドップラー効果と考える。元の波の振動数を f 、動く観測者が観測する振動数を f_1 とすると、ドップラー効果の公式より

$$f_1 = \frac{V - v_0}{V}f$$

$f = \frac{1}{T}$, $f_1 = \frac{1}{T_1}$ より, $T_1 = \frac{V}{V - v_0}T$ となる。

問 2 波源が動いているときの波長 λ' は

$$\lambda' = \frac{V - \frac{1}{4}V}{f} = \frac{3}{4}VT$$

となる。図 2 の状態より、波長 λ =グラフの 4 目盛りなので、 λ' =グラフの 3 目盛りである。該当するのは ②

(他にも波の到達時間等から考えるなど、別解はいろいろある)

問 3 光の波長を λ 、スリットとスクリーンの距離を L とする。ヤングの実験の説明は省略するが、光路差と干渉条件より明線の間隔 Δx を求めると

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

である。

ウ. 赤と紫では、紫の方が波長 λ が小さいので Δx が小さくなる。

エ. d を小さくすると Δx は大きくなる。 ⑥

問 4 オ. 2 つの光の光路差は $2d$ 、また、平凸レンズの下面の反射では屈折率が大から小への変化なので位相は変化せず、平面ガラスの表面反射では位相が π 変化する。ゆえに、強め合う条件は、 m を 0 以上の整数として

$$2d = \lambda \times \left(m + \frac{1}{2}\right) \quad \dots(i)$$

カ. 光路差は $2nd$ となる。強め合う条件は

$$2nd = \lambda \times \left(m + \frac{1}{2}\right) \quad \cdots(\text{ii})$$

となる。(i)式と(ii)式で、同じ m で強め合う位置で、(ii)式の方が d が小さくなる。つまりより中心に近い位置になるので明環の半径は小さくなる。

答 ⑦

第4問

問1 運動量保存則より

$$mv = (m + 3m)V \quad \therefore V = \frac{1}{4}v \quad \cdots\textcircled{1}$$

問2 点Pで小物体Cが円筒面から離れないためには、重力より遠心力が大きい必要がある。点Pでの速さを V_P として

$$4mg \leq \frac{4mV_P^2}{r} \quad \therefore V_P^2 \geq gr \quad \cdots(\text{i})$$

また力学的エネルギー保存則より

$$\frac{1}{2} \cdot 4mV^2 = \frac{1}{2} \cdot 4mV_P^2 + 4mg \cdot 2r \quad \therefore V_P^2 = V^2 - 4gr$$

V_P を(i)式に代入して整理して

$$V^2 - 4gr \geq gr \quad \therefore V \geq \sqrt{5gr} \quad \cdots\textcircled{3}$$

問3 小球1, にはたらく力のつり合いより

$$\text{小球1 : } T - mg - ks = 0$$

$$\text{小球2 : } ks - mg = 0$$

これを解いて

$$s = \frac{mg}{k}, \quad T = 2mg \quad \cdots\textcircled{4}$$

問4 離れた直後、ばねの伸びは s である。小球1, 2の加速度を鉛直下向きを正としてそれぞれ a_1, a_2 とする。それぞれの運動方程式より

$$\text{小球1 : } ma_1 = mg + ks$$

$$\text{小球2 : } ma_2 = mg - ks$$

問3より、 $ks = mg$ を代入して、 a_1, a_2 とを求めると

$$a_1 = 2g, \quad a_2 = 0 \quad \cdots\textcircled{4}$$

第5問

問1 容器と気体を一体としてはたらく力を考えると、容器の重力 mg と、浮力 $\rho S l_1 g$ である。力のつり合いより

$$mg - \rho S l_1 g = 0 \quad \therefore l_1 = \frac{m}{\rho S} \quad \cdots\textcircled{1}$$

問2 上昇を始めるときなので、容器にはたらくそこからの垂直抗力 $N = 0$

気体の最下面の水深は l_2 なので、圧力は

$$p_2 = p_0 + \rho l_2 g \quad \text{答 } \textcircled{2}$$

問3 容器の質量は M で変わらない。気体の体積が図 1 と同じ Sl_1 になれば浮力も同じになり、底からの垂直抗力がなくても力が釣り合うので、そこから離れる。ボイル・シャルルの法則より

$$\frac{p_1 Sl_1}{T_1} = \frac{p_2 Sl_1}{T_2} \quad \therefore T_2 = \frac{p_2}{p_1} T_1 \quad \dots \textcircled{3}$$

第 6 問

問1 ア. 原子核反応の前後では、質量数、電荷（原子番号）が保存するので、 $\boxed{\text{ア}}$ の原子核の原子番号 Z 、質量数 A として

$$A + 209 = 278 + 1 \quad \therefore A = 70$$

$$Z + 83 = 113 + 0 \quad \therefore Z = 30$$

となるので、 $\boxed{\text{ア}}$ の原子核は ${}_{30}^{70}\text{Zn}$

イ. α 崩壊するたびに原子番号が 2、質量数が 4 減少する。 α 崩壊の回数を N 回として

$$113 - 101 = 2N \quad \therefore N = 6 \text{ 回} \quad \text{答 } \textcircled{8}$$

問2 ${}^4_2\text{He}$ は、2 個の陽子と 2 個の中性子から出来ているので質量欠損 Δm は

$$\Delta m = (2 \times 1.673 + 2 \times 1.675 - 6.645) \times 10^{-27} = 5.1 \times 10^{-29} \text{kg}$$

結合エネルギー E は

$$E = \Delta mc^2 = 5.1 \times 10^{-29} \times (3.0 \times 10^8)^2 = 4.59 \times 10^{-12} \text{J} \quad \dots \textcircled{5}$$

問3 γ 線は電荷が 0 であるので直進、 α 粒子は正電荷で電場の向きに力を受け、 β 粒子は電子で負電荷なので電場と逆向きに力を受けて運動する。該当するのは $\textcircled{6}$