

# 物 理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の問に答えよ。選択肢が与えられている場合は記号で答えよ。必要ならば，地上での重力加速度  $9.8\text{m/s}^2$ ，電子の質量  $9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ ，電気素量  $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ ，空気の平均分子量 28.8，標準状態で  $1\text{mol}$  の気体が占める体積  $22.4\text{l}$  を用いよ。

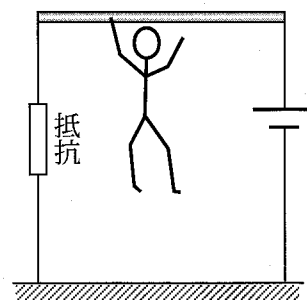
問1 地上付近における大気圧の減少は  $1\text{m}$  上昇するごとに A であり，海水中での水圧の上昇は  $1\text{m}$  下降するごとに B である。A，B にあてはまる最も近い値を答えよ。

- |                     |                     |                     |                     |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| (ア) $1\text{Pa}$    | (イ) $10\text{Pa}$   | (ウ) $100\text{Pa}$  | (エ) $10^3\text{Pa}$ |
| (オ) $10^4\text{Pa}$ | (カ) $10^5\text{Pa}$ | (キ) $10^6\text{Pa}$ |                     |

問2 初速ゼロの電子を  $220\text{V}$  の電圧で加速し，一様な磁束密度  $5 \times 10^{-4}\text{T}$  の磁場に対して垂直に入射させたところ，電子は円運動した。円運動の半径として最も近い値を答えよ。

- |                       |                       |                    |                   |
|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| (ア) $10^{-4}\text{m}$ | (イ) $10^{-3}\text{m}$ | (ウ) $0.01\text{m}$ | (エ) $0.1\text{m}$ |
| (オ) $1\text{m}$       | (カ) $10\text{m}$      |                    |                   |

問3 地上  $2.5\text{m}$  の高さに設置した金属棒と地面との間に  $100\text{V}$  の電圧を与え  $10\text{A}$  の電流を流した。素手素足の人がジャンプをし，宙に浮いた状態で右手で金属棒をつかんでぶら下がり，その後，左手でも金属棒をつかんだ。この人が感電する可能性について簡潔に答えよ。ただし，金属棒の抵抗をゼロとする。



問4 温度  $T_1[\text{K}]$ ，質量  $M_v[\text{kg}]$  の容器に，同じ温度  $T_1[\text{K}]$ ，質量  $m[\text{kg}]$  の試料を入れ，質量  $M_w[\text{kg}]$ ，温度  $T_2[\text{K}]$  の水を注いだところ，容器，試料，水のすべてが等しい温度  $T_3[\text{K}]$  になった。試料の比熱を表す式を求めよ。容器の比熱  $c_v[\text{J/kg}\cdot\text{K}]$ ，水の比熱  $c_w[\text{J/kg}\cdot\text{K}]$  とし，外部との間に熱の出入りはない。

- |   |   |
|---|---|
| (ア) $\frac{1}{m} \left( M_v c_v + M_w c_w \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \right)$  | (イ) $\frac{1}{m} \left( M_v c_v - M_w c_w \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \right)$  |
| (ウ) $\frac{1}{m} \left( -M_v c_v + M_w c_w \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \right)$ | (エ) $\frac{1}{m} \left( -M_v c_v - M_w c_w \frac{T_3 - T_2}{T_1 - T_3} \right)$ |
| (オ) $\frac{1}{m} \left( -M_v c_v + M_w c_w \frac{T_1 - T_2}{T_1 - T_3} \right)$ | (カ) $\frac{1}{m} \left( -M_v c_v + M_w c_w \frac{T_2 - T_1}{T_1 - T_3} \right)$ |

問5 容積 $1\text{cm}^3$ の立方体容器に水が満たされている。この容器にミュー粒子が入射し突き抜けたとき、水中に吸収されたエネルギーは1粒子当たり平均で $2.0\text{MeV}$ であった。

- ①  $2.0\text{MeV}$ は何Jか。有効数字2桁で答えよ。
- ② ミュー粒子の入射頻度が1分当たり1粒子であるとき、1年当たりのこの水に対する吸収線量の値として、最も近いものを答えよ。[Gy = J/kg]

- (ア)  $2\text{Gy}$                       (イ)  $0.2\text{Gy}$                       (ウ)  $0.02\text{Gy}$   
(エ)  $2 \times 10^{-3}\text{Gy}$               (オ)  $2 \times 10^{-4}\text{Gy}$

- Ⅱ ばね定数  $k$  のばねを鉛直方向に向けた円筒の底面に取り付け、ばねの上端に質量  $m_0$  の板（発射板とよぶ）を取り付けた（図 1 (a)）。その上に質量  $m$  の球を乗せてばねを押し下げ位置を固定した（図 1 (b)）。これを「発射装置」とよび、固定が解除され発射板が上昇し、球が発射板から離れることを「発射」とよぶ。

発射板と球の重量によりばねが自然長から縮んだ長さを  $Z_0$  とし、その状態を「つり合いの状態」とよぶ。円筒内面とばね・発射板・球の間に摩擦はなく、球の大きさおよびばねの質量は無視できる。また、空気抵抗は無視でき、重力加速度を  $g$  とする。以下の問に答えよ。選択肢が与えられている場合は記号で答えよ。

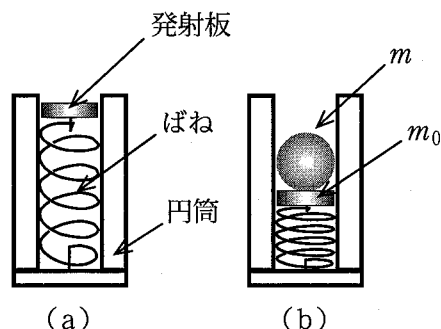


図 1 発射装置

- 問 1 固定が解除された後、球が発射板上にあるときに、発射板から球に働く抗力の大きさを求めよ。鉛直上向きに  $z$  軸をとり、つり合いの状態にあるときの球の位置を  $z = 0$  とする。

- (ア)  $\frac{m_0}{m+m_0} k (Z_0 - z)$       (イ)  $\frac{m}{m+m_0} k (Z_0 - z)$       (ウ)  $k (Z_0 - z)$   
 (エ)  $\frac{m+m_0}{m} k (Z_0 - z)$       (オ)  $\frac{m+m_0}{m_0} k (Z_0 - z)$       (カ)  $2k (Z_0 - z)$

- 問 2 球を発射するには、つり合いの状態からばねをさらに押し下げる必要がある。その長さの下限を求めよ。

- (ア)  $\frac{m}{m+m_0} Z_0$       (イ)  $\frac{m_0}{m+m_0} Z_0$       (ウ)  $Z_0$   
 (エ)  $\frac{m+m_0}{m} Z_0$       (オ)  $\frac{m+m_0}{m_0} Z_0$       (カ)  $2Z_0$

- 問 3 発射後、発射板は上下運動をする。その振幅をできるだけ小さくするには、発射板の質量  $m_0$  をどのようにすればよいか。

- (ア)  $m_0$  を  $m$  に較べてできるだけ小さくする  
 (イ)  $m_0$  と  $m$  をできるだけ等しくする  
 (ウ)  $m_0$  を  $m$  に較べてできるだけ大きくする  
 (エ)  $m_0$  には無関係である

問4 つり合いの状態から  $2Z_0$  だけばねを押し下げて固定する場合について、固定を解除してから発射までの時間と発射の瞬間の球の速さを求めよ。

①時間

- (ア)  $\pi\sqrt{\frac{m+m_0}{4k}}$  (イ)  $\pi\sqrt{\frac{4(m+m_0)}{9k}}$  (ウ)  $\pi\sqrt{\frac{m+m_0}{2k}}$  (エ)  $\pi\sqrt{\frac{2(m+m_0)}{3k}}$   
 (オ)  $\pi\sqrt{\frac{m+m_0}{k}}$  (カ)  $\pi\sqrt{\frac{3(m+m_0)}{2k}}$  (キ)  $\pi\sqrt{\frac{2(m+m_0)}{k}}$  (ク)  $\pi\sqrt{\frac{9(m+m_0)}{4k}}$

②速さ

- (ア)  $\frac{2\sqrt{gZ_0}}{3}$  (イ)  $\sqrt{gZ_0}$  (ウ)  $\sqrt{2gZ_0}$  (エ)  $\sqrt{3gZ_0}$   
 (オ)  $2\sqrt{gZ_0}$  (カ)  $\sqrt{5gZ_0}$  (キ)  $\sqrt{6gZ_0}$

次に、図2、図3のように、水平な  $xy$  面内で回転するアームの先端に発射装置を取り付け、回転中に球を発射した。空中では、重力のほかに、 $x$  軸の正の向きにも一定の水平な力  $F$  が球に作用する。発射後、ちょうど1回転してきた発射板上に球が落下するように、発射位置、ばねの押し下げ量、力  $F$  を決定し、その時の球の空中での運動を知りたい。発射時の球の位置を原点  $O$  とし、鉛直上向きに  $Z$  軸、 $x$  軸と平行で同じ向きに  $X$  軸をとると、球は  $O-XZ$  平面内を運動する。回転軸から球までの距離は  $L$ 、発射後の発射板の振幅は十分小さく無視できる。アームは、発射前後で一定の回転周期  $T_0$  を保持する。また、発射の瞬間まで、球は円筒から向心力を受ける。

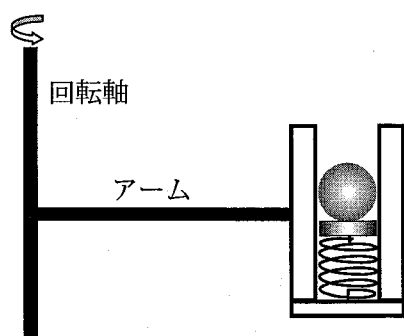


図2 アームに取り付けた発射装置を水平方向から見た図

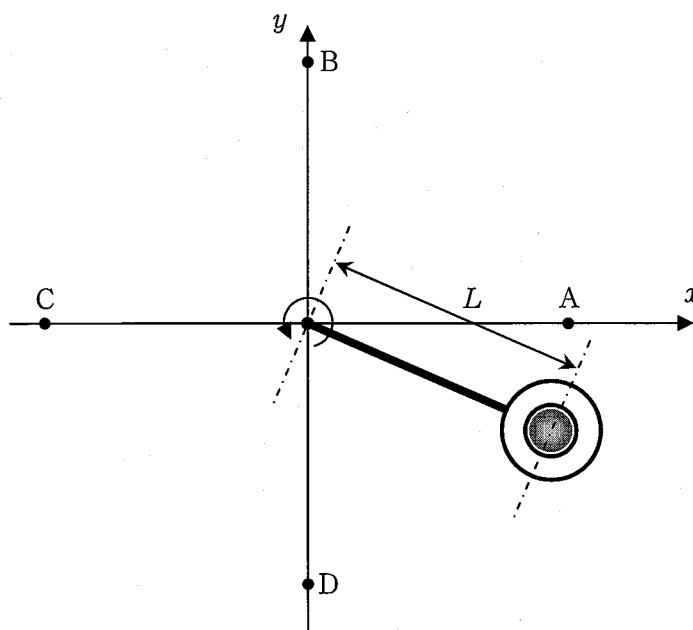


図3 鉛直上方から見た図

問5 発射位置は、回転軸から  $L$  の距離にある4つの位置 A～D のうちのどれか。

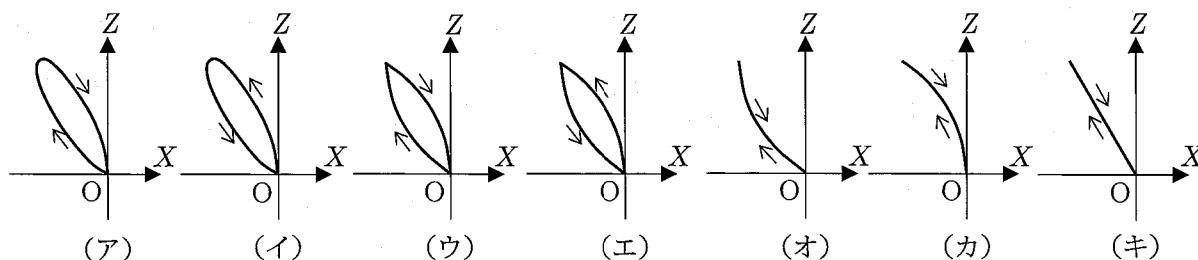
問6 つり合いの状態からばねを押し下げる長さを  $T_0$ ,  $Z_0$ ,  $g$  を使って表し,  $T_0=1.0\text{s}$ ,  $Z_0=1.0\text{mm}$ ,  $g=10\text{m/s}^2$  のときの値を求めよ。

問7 力  $F$  を  $m$ ,  $L$ ,  $T_0$  を使って表せ。

問8 発射時刻を  $t=0$  として, 時刻  $t$  における球の  $X$  座標を求めよ。

- |   |  |  |
|---|--|--|
| (ア) $-\frac{L}{T_0} \left( t + \frac{t^2}{T_0} \right)$     | (イ) $-\frac{L}{T_0} \left( t - \frac{t^2}{T_0} \right)$      | (ウ) $\frac{L}{T_0} \left( t + \frac{t^2}{T_0} \right)$       |
| (エ) $\frac{L}{T_0} \left( t - \frac{t^2}{T_0} \right)$      | (オ) $-\frac{2\pi L}{T_0} \left( t + \frac{t^2}{T_0} \right)$ | (カ) $-\frac{2\pi L}{T_0} \left( t - \frac{t^2}{T_0} \right)$ |
| (キ) $\frac{2\pi L}{T_0} \left( t + \frac{t^2}{T_0} \right)$ | (ク) $\frac{2\pi L}{T_0} \left( t - \frac{t^2}{T_0} \right)$  |  |

問9 発射後の球の軌跡を適切に表わしている図を答えよ。図中の矢印は軌道上の球の運動の向きを表す。



### III

問1 人が聞くことのできる音に関する以下の問の答えを解答群より選び、記号で答えよ。

- ① 耳で聞くことのできる音の振動数の上限は加齢とともに A , 60歳では B 程度である。

A の解答群

- (ア) 変化せず                      (イ) 低くなり                      (ウ) 高くなり

B の解答群

- (ア) 100 Hz                      (イ) 1 kHz                      (ウ) 10 kHz  
(エ) 100 kHz                      (オ) 1 MHz                      (カ) 10 MHz

- ② 「音の強さ」「音の高さ」「音色」のそれぞれについて最も関係の深い語句を答えよ。

- (ア) 波形                      (イ) 振動の方向                      (ウ) 伝搬の方向  
(エ) 振幅                      (オ) 振動数

- ③ 気体中の音速を決定づける最も大きな要因を答えよ。

- (ア) 発音体の種類                      (イ) 気体の種類                      (ウ) 音波の振幅  
(エ) 音波の伝搬方向                      (オ) 音波の振動数

問2 図1に示すように、点Aから点Bの向きに気体が速さ  $v_D$  で流れている。Aで音波を発生させてからBで音波を受けるまでの時間を  $t_{AB}$  , Bで音波を発生させてからAで音波を受けるまでの時間を  $t_{BA}$  , AB間の距離を  $L$  , 流れのない気体中での音速を  $V$  とする。

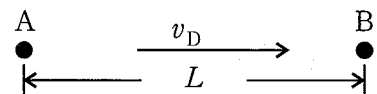


図1

- ①  $V$  および  $v_D$  を,  $t_{AB}$  ,  $t_{BA}$  ,  $L$  を使って表せ。ただし,  $v_D$  は  $V$  よりも小さいとする。
- ② 温度  $T$  [°C] における音速  $V$  [m/s] は  $V = 331.5 + 0.6T$  であり, 音速の測定から気温を求めることができる。 $v_D = 0$  ,  $L = 50\text{ cm}$  のとき,  $0.1^\circ\text{C}$  の精度で室温付近の気温を求めるために必要な  $t_{AB}$  の測定精度として最も近い値を以下の解答群から選び記号で答えよ。必要ならば  $x$  の大きさが1よりも十分に小さいとき成立する近似式  $\frac{1}{1+x} \doteq 1-x$  を用いよ。

- (ア)  $10^{-1}\text{s}$                       (イ)  $10^{-3}\text{s}$                       (ウ)  $10^{-5}\text{s}$                       (エ)  $10^{-7}\text{s}$                       (オ)  $10^{-9}\text{s}$

問3 図2に示すように、気体が速さ  $v_D$  で流れている開管の一端に、ある振動数の音波を入射したところ共鳴が生じた。この共鳴は音波が管内を1往復したとき1周期ずれる条件のとき生じる。 $v_D$  は気体中の音速  $V$  (流れのない場合) よりも小さく、管の長さを  $L$  とし、音波は開口端で開口端補正ゼロの自由端反射をする。この音波の振動数を  $V, v_D, L$  を使って表せ。

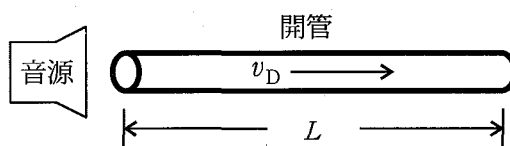


図2

問4 図3に示すように、A君が静止空気中を速さ  $v_A$  で柵に向かってまっすぐに歩きながら、ある振動数の音を発したところ、柵が音波の回折格子の働きをして1次の回折音を反射したため、A君はこの回折音を聞くことができた。 $v_A$  は空気中の音速  $V$  よりも小さく、回折格子の格子定数を  $d$ 、歩行方向と回折格子面との角度を  $\theta$ 、A君と回折格子との距離は音波の波長や回折格子の大きさより十分に大きいとする。A君が発した音波の振動数を  $V, v_A, d, \theta$  で表せ。

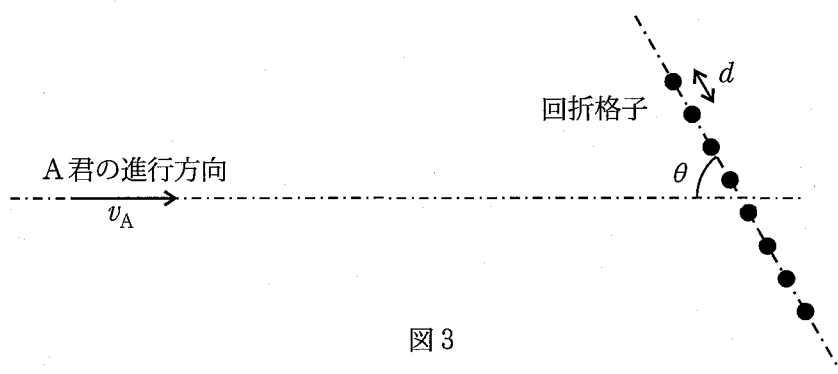


図3