

第1問 次の問い（問1～問4）に答えよ。〔解答マーク欄  ～  〕

問1 図1のように、質量  $M$ 、長さ  $3L$  の一様な棒の左端に小物体を固定し、棒の左端から  $L$  の位置に糸を取り付けてつるしたところ、棒が水平になってつり合った。小物体の質量として正しいものを、下の①～⑦のうちから一つ選べ。

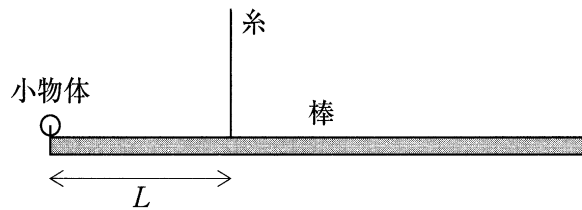


図1

- ①  $\frac{1}{4}M$       ②  $\frac{1}{3}M$       ③  $\frac{1}{2}M$       ④  $M$   
⑤  $2M$       ⑥  $3M$       ⑦  $4M$

問2 1次コイルと2次コイルの巻き数の比が20:1の変圧器がある。この変圧器の1次コイルに、電圧の実効値が100Vで周波数が50Hzの交流電圧を加えたとき、2次コイルに発生した交流電圧の波形は、図2のようになった。図2の空欄A, Bに入る数値として最も適切なものを、下の①~⑩のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

A :  , B :

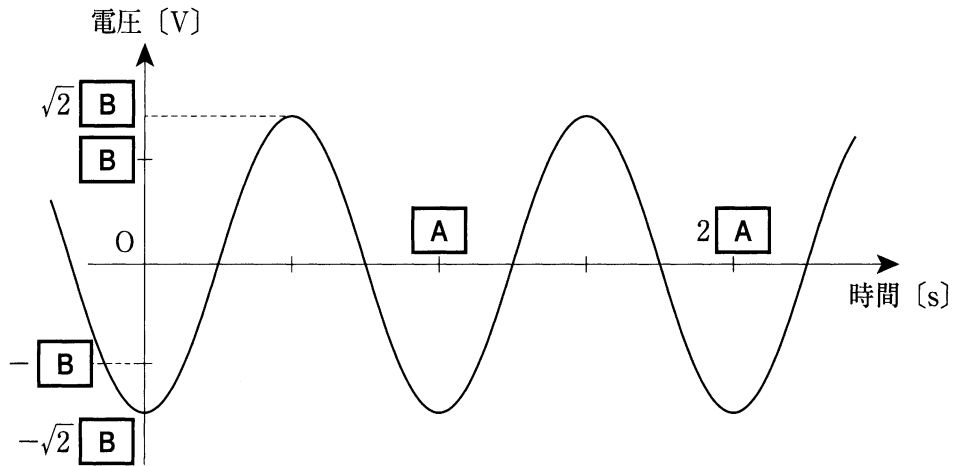


図2

- |         |         |         |       |        |
|---------|---------|---------|-------|--------|
| ① 0.020 | ② 0.040 | ③ 0.050 | ④ 2.0 | ⑤ 2.5  |
| ⑥ 5.0   | ⑦ 10    | ⑧ 50    | ⑨ 100 | ⑩ 2000 |

問3 図3のように、水平面となす角度が $\theta$ のあらい斜面の下端の点Oから、時刻 $t=0$ に、小物体に大きさ $v_0$ の初速度を与えて斜面に沿って滑り上がらせたところ、小物体は、時刻 $t=t_1$ に、斜面上の水平面からの高さが $h$ の点Pまで到達して停止した。 $t_1$ および $h$ として正しいものを、下のそれぞれの解答群のうちから一つずつ選べ。ただし、重力加速度の大きさを $g$ とし、小物体と斜面との間の動摩擦係数を $\mu'$ とする。

$$t_1 = \boxed{4}, \quad h = \boxed{5}$$

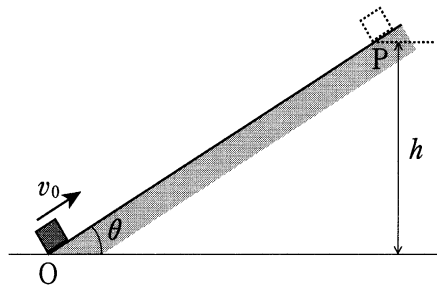


図3

$\boxed{4}$  の解答群：

- |  |   |  |
|--|---|--|
| ① $\frac{v_0}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ | ② $\frac{v_0}{g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ | ③ $\frac{2v_0}{g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ |
| ④ $\frac{v_0}{2g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ | ⑤ $\frac{v_0}{g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ | ⑥ $\frac{2v_0}{g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ |

$\boxed{5}$  の解答群：

- |  |  |  |
|--|--|--|
| ① $\frac{v_0^2}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ | ② $\frac{v_0^2 \sin \theta}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ | ③ $\frac{v_0^2 \cos \theta}{2g(\sin \theta + \mu' \cos \theta)}$ |
| ④ $\frac{v_0^2}{2g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ | ⑤ $\frac{v_0^2 \sin \theta}{2g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ | ⑥ $\frac{v_0^2 \cos \theta}{2g(\sin \theta - \mu' \cos \theta)}$ |

問4 物質にX線を当てたとき、散乱されるX線の波長が変化する現象をコンプトン効果という。コンプトン効果に関する以下の文章中の空欄 **A** , **B** , **C** に入る語句または数式の組合せとして最も適切なものを、下の①～⑧のうちから一つ選べ。ただし、プランク定数を  $h$ 、真空中の光の速さを  $c$  とする。

6

波長  $\lambda$  の入射X線が物質中の静止している電子を跳ね飛ばし、X線が入射方向と異なる方向に散乱されるとき、散乱X線の波長  $\lambda'$  は  $\lambda$  よりも **A** なる。これは、X線のエネルギーのうち、**B** が電子に移動したために起こる現象である。この現象は、X線の **C** としての性質により理解できる。

- ① A : 長く B :  $h\lambda' - h\lambda$  C : 波動
- ② A : 長く B :  $h\lambda' - h\lambda$  C : 粒子
- ③ A : 長く B :  $\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'}$  C : 波動
- ④ A : 長く B :  $\frac{hc}{\lambda} - \frac{hc}{\lambda'}$  C : 粒子
- ⑤ A : 短く B :  $h\lambda - h\lambda'$  C : 波動
- ⑥ A : 短く B :  $h\lambda - h\lambda'$  C : 粒子
- ⑦ A : 短く B :  $\frac{hc}{\lambda'} - \frac{hc}{\lambda}$  C : 波動
- ⑧ A : 短く B :  $\frac{hc}{\lambda'} - \frac{hc}{\lambda}$  C : 粒子

**第2問** 一様な電場または磁場中での、質量  $m$ 、負電荷  $-q$  ( $< 0$ ) の荷電粒子の運動についての文章 I、II を読み、問い (問1～問5) に答えよ。ただし、荷電粒子には電場または磁場による力のみが働くものとする。

[ 解答マーク欄  ～  ; 解答記入欄 1, 2 (解答用紙裏面) ]

I  $x$  軸の正の向きに大きさ  $E$  の一様な電場中に、原点  $O$  から荷電粒子を速さ  $v_0$  で入射させた。入射方向は、図1のように、 $xy$  平面内で  $x$  軸から角度  $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ) の向きであった。また、紙面の裏から表に向かう向き ( $\odot$  の向き) を  $z$  軸の正の向きとする。

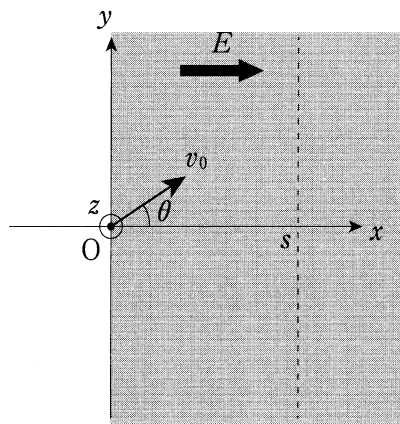


図1

問1 入射後の荷電粒子に働く力の  $x$  成分  $F_x$ 、 $y$  成分  $F_y$ 、 $z$  成分  $F_z$  をそれぞれ求め、答を該当欄に書け。

解答記入欄 1 (解答用紙裏面)

問2 ある時刻に、荷電粒子の位置の  $x$  座標が入射後初めて  $x = s$  ( $> 0$ ) となった。このときの荷電粒子の速度の  $x$  成分  $v_x$ 、 $y$  成分  $v_y$ 、 $z$  成分  $v_z$  として正しいものを、次の①～⑨のうちからそれぞれ一つずつ選べ。

$v_x =$   ,  $v_y =$   ,  $v_z =$

- ① 0      ②  $\frac{\sqrt{2}}{2}v_0$       ③  $v_0$       ④  $v_0 \sin \theta$       ⑤  $v_0 \cos \theta$

⑥  $\sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta - \frac{2qEs}{m}}$       ⑦  $\sqrt{v_0^2 \sin^2 \theta + \frac{2qEs}{m}}$

⑧  $\sqrt{v_0^2 \cos^2 \theta - \frac{2qEs}{m}}$       ⑨  $\sqrt{v_0^2 \cos^2 \theta + \frac{2qEs}{m}}$

Ⅱ 次に、加えていた電場を取り除き、 $y$  軸の正の向きに磁束密度  $B$  の一様な磁場を発生させた。この状態で、図2のように、原点  $O$  から  $x$  軸の正の向きに速さ  $v$  で荷電粒子を入射させた。入射時刻を  $t = 0$  とする。

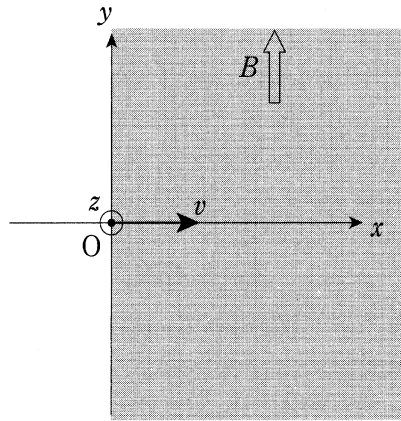


図 2

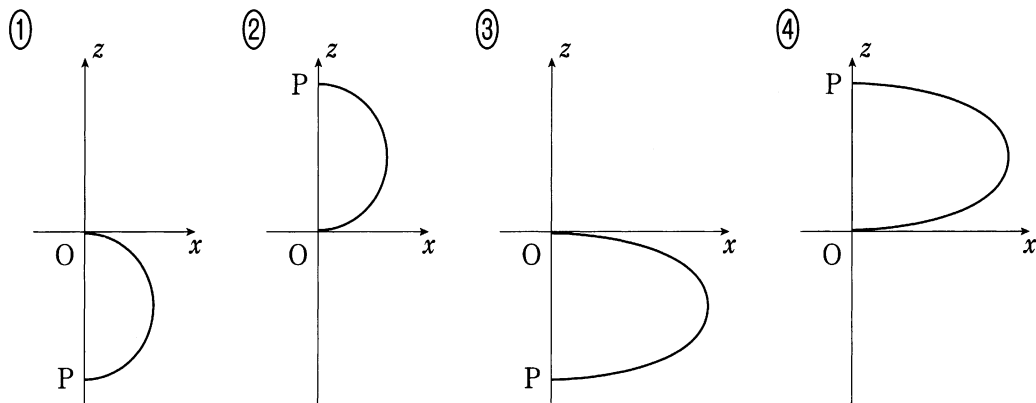
問 3 入射直後の荷電粒子に働く力の  $x$  成分  $F'_x$ ,  $y$  成分  $F'_y$ ,  $z$  成分  $F'_z$  をそれぞれ求め、答を該当欄に書け。

解答記入欄 2 [問 3] (解答用紙裏面)

荷電粒子は、時刻  $t = t_1$  に、入射後初めて  $z$  軸上のある点  $P$  を通過した。

問 4 時刻  $t = 0$  から  $t = t_1$  までの荷電粒子の軌跡を表す図として最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。

10



問 5 点  $P$  の  $z$  座標  $z_P$  および、 $t_1$  を求めよ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄 2 [問 5] (解答用紙裏面)

第3問 以下の文章 I, II を読み, 問い (問1~問4) に答えよ。

[ 解答マーク欄  ~ ,  ~  ; 解答記入欄 3 (解答用紙裏面) ]

I 図1のように, 断面積  $S$  の熱をよく通す円筒容器を二つ用意し, 内部に, 同種類の理想気体を同量封入し, それぞれ, なめらかに動くことができるピストンで閉じ込めた。次に, 自然の長さが  $L$  で, ばね定数が  $k$  のばねの両端を, それぞれのピストンの中央に取り付けた。この装置を, 二つの円筒容器とばねの中心軸が一直線上になり, 右側の円筒容器の底面が鉛直な壁と接するように, なめらかな水平面上に置いた。このとき, それぞれの円筒容器に閉じ込められた気体の高さ (容器底面とピストンの間の距離) は  $h$  であった。また, 大気圧は  $p$ , 気温は  $T$  であった。

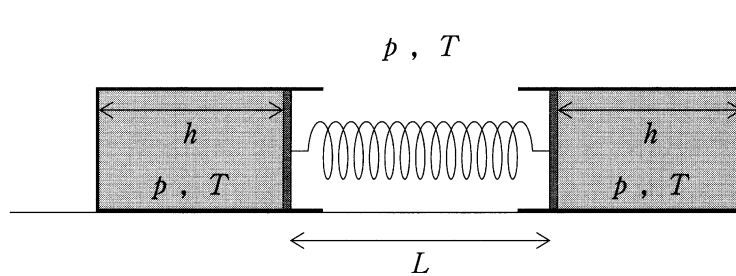


図1

この状態から, 図2のように, 左側の円筒容器の中心軸に沿って水平右向きに力を加え, ゆっくりと装置を押し縮め, ばねの長さが  $L - d$  となったところで固定した。このとき, それぞれの円筒容器に閉じ込められた気体の高さは  $h'$ , 圧力は  $p'$  であった。この間, 気体の温度は  $T$  のまま変化しなかった。

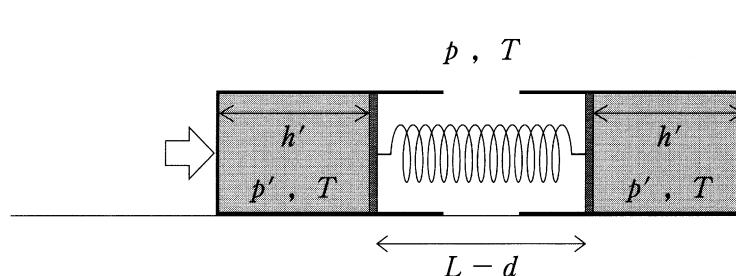


図2

問1 図1から図2への変化の過程で、加えた力がした仕事を  $W$ 、気体全体の内部エネルギーの変化を  $\Delta U$ 、気体全体から外部に放出された熱量を  $Q$  とするとき、以下の3つの数式の空欄 、、 に入る記号として正しいものを、それぞれ、下の①~③のうちから一つずつ選べ。

, ,

$$W \quad \text{11} \quad \frac{1}{2}kd^2$$

$$\Delta U \quad \text{12} \quad 0$$

$$Q \quad \text{13} \quad 0$$

① >                      ② =                      ③ <

問2  $p$  および  $p'$  を、それぞれ、 $h$ ,  $h'$ ,  $S$ ,  $k$ ,  $d$  を用いて表し、答を、導き方も含めて該当欄に書け。

**解答記入欄3 (解答用紙裏面)**



Ⅱ 以下の問いの文章中の空欄のア～ケに当てはまる数字（0～9）を一つずつ選び、解答用紙表面の該当欄にマークせよ。

問3 図3のように、振動数 224 Hz の音を出す音源 1，観測者 O，振動数  $f_2$  の音を出す音源 2 が直線上に並んで静止している。このとき、観測者 O は、1 秒間に 2 回のうなりを聞いた。次に、音源 1 を静止させたまま、音源 2 のみを、直線上右向きに 3 m/s の速さで動かしたところ、観測者 O にはうなりは聞こえなくなった。このとき、風は吹いておらず、音源 2 の振動数  $f_2$  は、**アイウ** Hz，音の速さは、**エオカ** m/s であった。

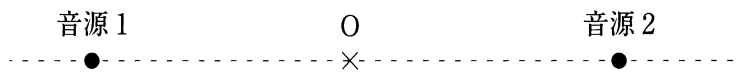


図 3

問4 別の機会に、図4のように、224 Hz の音を出す音源 1，観測者 O，移動可能な反射板を直線上に並べ、反射板を直線上右向きに 5 m/s の速さで動かしたとき、静止している観測者 O は、音源 1 から直接来る音と反射板で反射された音により、10 秒間に 64 回のうなりを聞いた。このとき、風は吹いておらず、音の速さは、**キクケ** m/s であった。

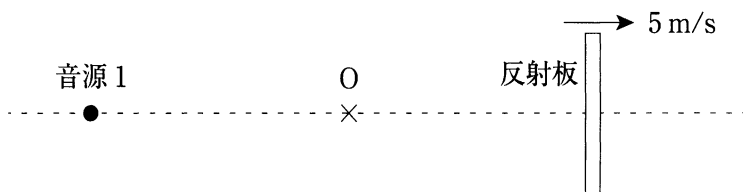


図 4

**第4問** 以下の文章 I, II を読み, 問い (問1~問4) に答えよ。

〔解答マーク欄  コ  ~  チ ; 解答記入欄 4 (解答用紙裏面) 〕

I 図1のように, 軽い糸の上端を天井に固定し, 下端に質量  $0.50 \text{ kg}$  の小球を取りつけた。糸の上端から小球の重心までの長さは  $1.00 \text{ m}$  であった。小球を, 最下点 P からの高さが  $0.40 \text{ m}$  の位置まで持ち上げ, 糸がぴんと張った状態から静かにはなすと, 鉛直面内で振動が始まった。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$ , 空気抵抗は無視できるものとして, 振動中の小球の運動に関する問1, 問2の文章中の空欄コ~チに当てはまる数字 (0~9) をそれぞれ一つずつ選び, 解答用紙表面の該当欄にマークせよ。ただし,  .  の「.」は, 小数点を表す。

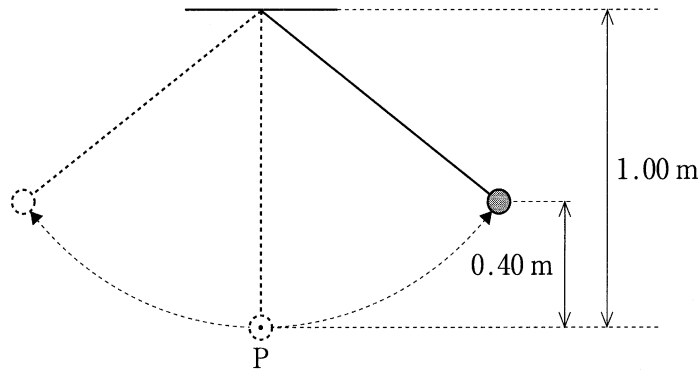


図1

問1 最下点 P での小球の速さは  コ  .  サ   $\text{m/s}$  である。

問2 最下点 P での小球の加速度の大きさは  シ  .  スセ   $\text{m/s}^2$ , 糸の張力の大きさは  ソ  .  タチ   $\text{N}$  である。

Ⅱ 図2のように、同じ長さの軽い糸の下端に質量  $m$  の小球を取りつけたものを二つ用意し、糸が鉛直になったときに二つの小球が点Qで接するよう、糸の上端を水平な天井に取り付けた。左と右の小球をそれぞれA、Bとする。以下では、A、Bは常に鉛直面内で運動するものとし、AとBとの間の反発係数を  $\frac{1}{2}$  とする。

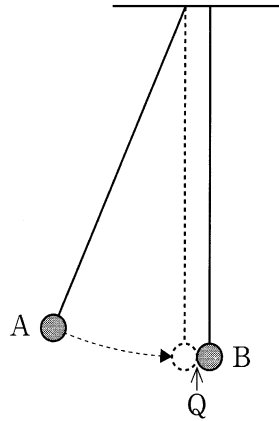


図2

問3 図2のように、小球Aを持ち上げ、糸がぴんと張った状態から静かにはなしたところ、AとBは点Qで衝突した。衝突直前のAの速さを  $v_0$  とするとき、衝突直後のA、Bの速度  $v_A$ 、 $v_B$  をそれぞれ求め、答を該当欄に書け。ただし、水平方向右向きを正の向きとする。

解答記入欄4 [問3] (解答用紙裏面)

問4 次に、図3のように、A、Bを左右に同じ高さだけ持ち上げ、糸がぴんと張った状態から同時に静かにはなしたところ、AとBは衝突を繰り返した。1回目の衝突直前のA、Bの速さを  $v_0$ 、 $n$  回目 ( $n = 1, 2, \dots$ ) の衝突直後のAの速さを  $v_n$  とするとき、 $v_n < \frac{v_0}{5}$  となる最小の  $n$  を求めよ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄4 [問4] (解答用紙裏面)

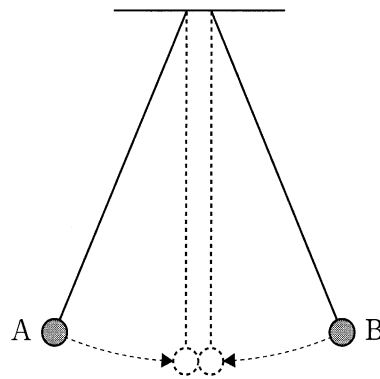


図3