

理 科(物理)

(2024)

- (注意事項)
- 1 問題文は12ページあります。
 - 2 解答は解答用紙の所定欄に記入してください。指示されたところでは解答の導き方についても記入してください。下書きは、問題冊子の余白を利用してください。ただし、回収はしませんので採点の対象とはなりません。
 - 3 定規を使用することができます。ただし、計算・メモ・通信などの機能をもった時計や電卓、携帯電話などは使用できません。
 - 4 解答は一部記述を含むマークセンス方式となっていますので、解答用紙の注意事項をよく読み解答してください。
 - 5 受験番号・氏名・フリガナは、監督者の指示に従って、解答用紙の所定欄に丁寧に記入してください。
 - 6 解答用紙にマークセンス方式の受験番号欄があります。受験番号をマークする際は濃く丁寧にぬってください。
 - 7 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページ落丁・乱丁及び解答用紙の汚れなどに気づいた場合は、手を挙げて監督者に知らせてください。

第1問 次の問い（問1～問5）に答えよ。

〔解答マーク欄 ～ 〕

問1 図1のように、質量 M 、長さ L の一様な棒を水平面に置き、棒のA端から $\frac{L}{3}$ の位置に軽い糸を取り付け、糸を鉛直上向きに引く。引く力を徐々に強くしていくと、力の大きさが T を超えたときに、B端を水平面につけたままA端が少しだけ持ち上がり始めた。 T として正しいものを、下の①～⑨のうちから一つ選べ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

$T =$

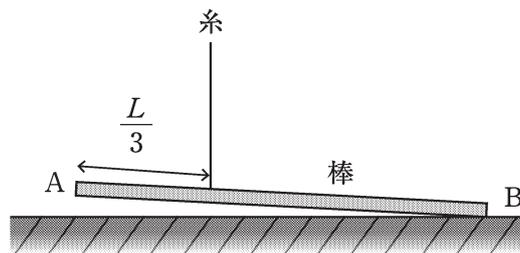
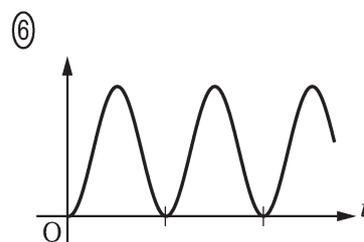
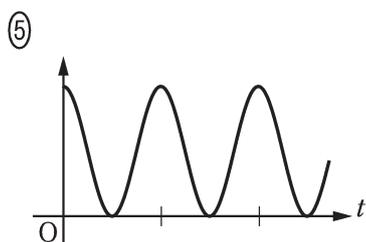
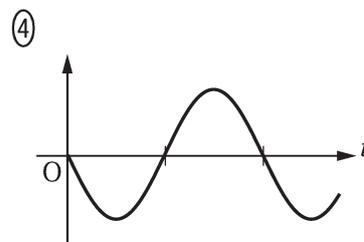
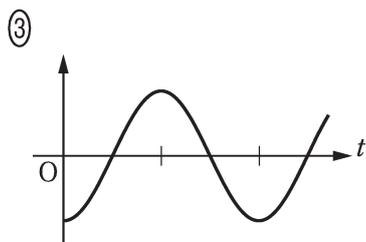
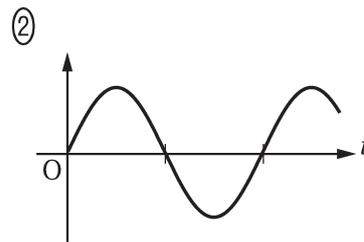
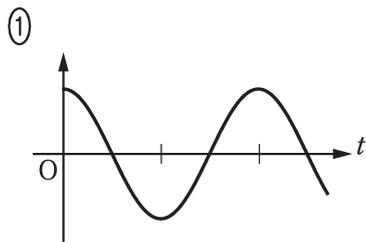


図1

- ① $\frac{1}{4} Mg$ ② $\frac{1}{3} Mg$ ③ $\frac{1}{2} Mg$ ④ $\frac{2}{3} Mg$ ⑤ $\frac{3}{4} Mg$
⑥ Mg ⑦ $\frac{5}{4} Mg$ ⑧ $\frac{4}{3} Mg$ ⑨ $\frac{3}{2} Mg$

問2 ばねをなめらかな水平面上の x 軸に沿って置き、一端を固定し、他端におもりを取り付けた。ばねが自然の長さのときのおもりの位置は $x = 0$ であった。おもりを手で引き、 $x > 0$ のある位置で静止させた後、時刻 $t = 0$ に静かに手を離したところ、おもりは x 軸上で単振動を始めた。振動中のおもりの x 座標、 x 軸方向の速度 v_x 、および、おもりに働く x 軸方向の力 F_x の時間変化を表す図として最も適切なものを、それぞれ、次の①～⑥のうちから一つずつ選べ。

x 座標： , v_x : , F_x :



問3 熱容量が 42 J/K の容器に 100 g の水が入っていて、これらは 10°C であった。この中に、温度 T の湯 60 g を入れたところ、全体の温度は 40°C になった。水の比熱を $4.2 \text{ J/(g} \cdot \text{K)}$ とし、熱の移動は、容器と水と湯の間だけで起こるものとするとき、 T として最も適切なものを、次の①～⑥のうちから一つ選べ。 $T =$

- ① 75°C ② 80°C ③ 85°C ④ 90°C ⑤ 95°C ⑥ 100°C

問4 円筒容器に単原子分子理想気体を入れ、なめらかに動くピストンで閉じ込めた。このとき、気体の体積と圧力は、それぞれ $2.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, $1.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ であった。この気体を、圧力を一定に保ったままゆっくりと加熱したところ、体積が $3.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ の状態となった。この変化の過程で、気体の内部エネルギーの変化 ΔU と気体が吸収した熱量 Q として最も適切なものを、それぞれ、次の①～⑨のうちから一つずつ選べ。

$$\Delta U = \boxed{6}, Q = \boxed{7}$$

- ① $1.0 \times 10^2 \text{ J}$ ② $1.5 \times 10^2 \text{ J}$ ③ $2.0 \times 10^2 \text{ J}$ ④ $2.5 \times 10^2 \text{ J}$ ⑤ $3.0 \times 10^2 \text{ J}$
⑥ $3.5 \times 10^2 \text{ J}$ ⑦ $4.0 \times 10^2 \text{ J}$ ⑧ $4.5 \times 10^2 \text{ J}$ ⑨ $5.0 \times 10^2 \text{ J}$

問5 一様な電場中のある点Aに、電気量 $2.0 \mu\text{C}$ の荷電粒子を静かに置いたところ、荷電粒子は動きだした。点Aから 0.10 m 離れた点Bに達したときの荷電粒子の運動エネルギーは 10.0 J であった。一様な電場の強さとして最も適切なものを、次の①～④のうちから一つ選べ。ただし、荷電粒子は電場以外からの力を受けないものとする。

8

- ① $2.0 \times 10^6 \text{ N/C}$ ② $5.0 \times 10^6 \text{ N/C}$ ③ $2.0 \times 10^7 \text{ N/C}$ ④ $5.0 \times 10^7 \text{ N/C}$

第2問 図1のように、水平面の左右に斜面がなめらかにつながっている。水平面と θ の角をなす左側の斜面の一部はあらく、あらい部分の最上部を点A、最下部を点Bとする。ABの長さは $\frac{d}{2}$ である。AB間以外の面はすべてなめらかであるものとする。点Aからさらに長さ $\frac{d}{2}$ だけ上部の点Oの位置に、質量 m の小物体を置いて時刻 $t=0$ に静かに手を離れたところ、小物体は斜面に沿ってすべり出した。左側の斜面をすべり下りた小物体は水平面を進み、右側の斜面をすべり上がった。AB間の面と小物体との間の動摩擦係数を μ' 、重力加速度の大きさを g とする。以下の問い（問1～問4）に答えよ。

[解答記入欄1]

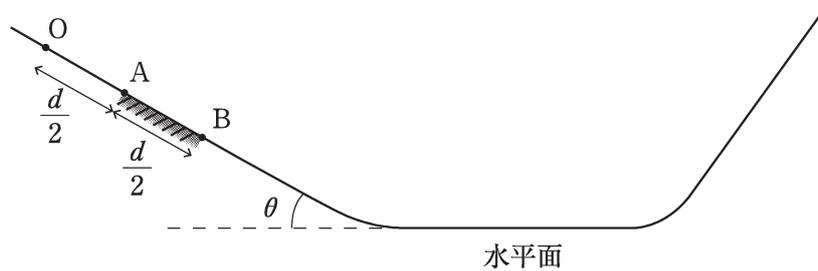


図1

問1 小物体が最初に点Aを通過する時刻 t と、そのときの速さ v_A を求め、答を該当欄に書け。

解答記入欄1 [問1]

問2 小物体が最初に点Bを通過するときの速さ v_B を求めよ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄1 [問2]

右側の斜面をすべり上がった小物体は最高点に達した後、右側の斜面をすべり下りて水平面を通過し、左側の斜面に沿ってすべり上がり、点Aを越えることなく AB 間のある位置で一旦停止した。

問3 小物体が AB 間をすべり上がる時の加速度 a を求め、答を該当欄に書け。ただし、斜面に沿って上向きを正とする。

解答記入欄 1 [問3]

問4 以上のように、点Oからすべり出した小物体が AB を通過し、再び戻ってきて AB 間で一旦停止するための条件（必要十分条件）を、 $p\mu' < \tan \theta \leq q\mu'$ の形で表し、 p, q の値を求めよ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄 1 [問4]

第3問 以下の文章Ⅰ、Ⅱを読み、問い（問1～問5）に答えよ。問4、問5については、文章中の空欄ア～キに当てはまる数字（0～9）をそれぞれ一つずつ選べ。ただし、.の「.」は、小数点を表す。小数で解答する場合は、指定された桁数の一つ下の桁を四捨五入して答えよ。

[解答記入欄 2 ; 解答マーク欄 9 ; ア ~ キ]

Ⅰ 質量 m 、電気量 $-e$ の電子が、電気量 $+e$ の原子核の周りを、原子核から受ける静電気を向心力として等速円運動をしているとする水素原子のモデルを考える。電子の円運動の半径を r 、速さを v とする。また、クーロンの法則の比例定数を k_0 、プランク定数を h とする。

問1 電子の円運動の半径 r を、 m 、 v 、 k_0 、 e を用いて表せ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄 2 [問1]

問2 ボーアの量子条件を説明する以下の文章中の空欄 (1) , (2) に入る数式を、 m 、 r 、 v 、および、 h のうちから、必要なものを用いて表し、それぞれ、該当欄に書け。

解答記入欄 2 [問2]

電子の円運動の軌道（円周）の長さ (1) と、電子の物質波としての波長 (2) が、

$$\text{(1)} = n \text{(2)} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

の関係を満たすとき、物質波は軌道上で定常波となり、安定に存在できる。このときの電子の状態を定常状態といい、 n を量子数という。

問3 以下の文章中の空欄 **あ** , **い** に入る記号と数式の組合せとして正しいものを, 下の①~⑥のうちから一つ選べ。 9

量子数 n の定常状態の電子のエネルギー E_n は, その状態の電子の運動エネルギーと, 原子核からの静電気力による位置エネルギーとの和で与えられる。位置エネルギーの基準を無限遠の位置とするとき, 任意の n について,

$$E_n \text{ **あ** } 0, \quad \text{および,} \quad E_n = \text{ **い** } E_1$$

が成り立つ。

① $\text{あ} : > , \quad \text{い} : n^2$

② $\text{あ} : < , \quad \text{い} : n^2$

③ $\text{あ} : > , \quad \text{い} : n$

④ $\text{あ} : < , \quad \text{い} : n$

⑤ $\text{あ} : > , \quad \text{い} : \frac{1}{n^2}$

⑥ $\text{あ} : < , \quad \text{い} : \frac{1}{n^2}$

Ⅱ 図1のように、自由に移動させることができるピストンを取り付けたガラス管の管口近くにスピーカーを置き、気柱の固有振動を観測する実験を行った。実験中、音の速さは変化せず、開口端補正（気柱の定常波の管口外側の腹の位置から管口までの距離）は固有振動によらず常に一定であるとする。管口からピストンまでの距離を L とする。最初、ピストンは管口の位置にあった。

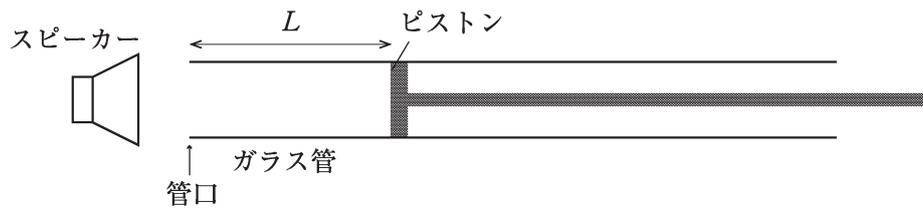


図1

問4 スピーカーから、725 Hz の音を出し続け、ピストンをゆっくりと右に移動させることで、 L を 0 cm から徐々に大きくしていったところ、 $L = 10.5$ cm の位置で初めて固有振動が生じ、 $L = 34.5$ cm の位置で2番目の固有振動が生じた。音の速さは **アイウ** m/s である。

問5 ピストンをさらに移動させ、 $L = 36.0$ cm の位置で固定した後、スピーカーから出す音の振動数を、725 Hz から徐々に大きくしていったところ、振動数がある値となったとき、ピストンを固定してから初めての固有振動が生じた。このときの音波の波長は . m である。

第4問 図1のように、抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 、スイッチ S_1 、 S_2 、コイル L 、起電力 6.0 V の電池をつないだ回路がある。 R_1 、 R_2 、 R_3 の抵抗値は、それぞれ、 $20\ \Omega$ 、 $30\ \Omega$ 、 $40\ \Omega$ である。最初、スイッチ S_1 は閉じられており、スイッチ S_2 はa側に接続されているとする。電池の内部抵抗やコイルの抵抗の影響は無視できるものとして、以下の問い（問1～問4）に答えよ。問1、問2については、文章中の空欄ク～ソに当てはまる数字（0～9）をそれぞれ一つずつ選べ。ただし、 $\square.\square$ の「.」は小数点を表す。小数で解答する場合は、指定された桁数の一つ下の桁を四捨五入して答えよ。

〔解答マーク欄 \square ～ \square ； 解答記入欄 3 〕

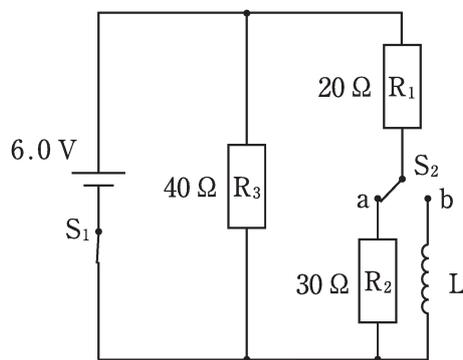


図1

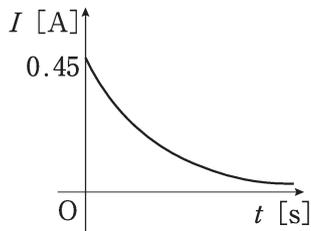
問1 抵抗 R_1 （抵抗値 $20\ \Omega$ ）を流れる電流は \square . \square A、抵抗 R_3 （抵抗値 $40\ \Omega$ ）を流れる電流は \square . \square A である。

問2 50秒間に3つの抵抗 R_1 、 R_2 、 R_3 で発生するジュール熱の合計は \square J である。

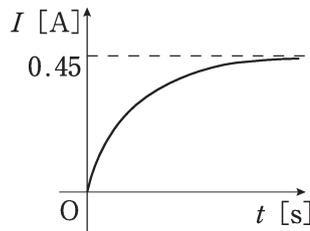
問3 次に、スイッチ S_1 を閉じたまま、スイッチ S_2 を時刻 $t=0$ に b 側に接続した。この後のコイル L に流れる電流 I の時間変化を表す図として最も適切なものを、次の①～③のうちから一つ選べ。

タ

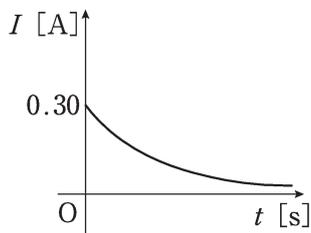
①



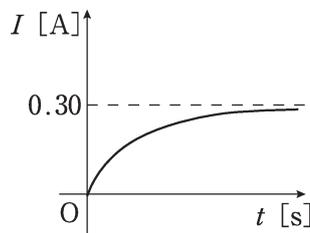
②



③



④



問4 スイッチ S_2 を b 側に接続してから十分時間が経過し、コイル L に流れる電流が一定になった後、スイッチ S_2 は b 側に接続したままスイッチ S_1 を開いた。この直後のコイルの自己誘導による起電力の大きさを求めよ。答は導き方も含めて該当欄に書け。

解答記入欄 3

—問題文終了—