

令和2年度

14時10分～16時40分

理 科 問 題 冊 子

科目名	頁
物 理	1 ～ 6 頁
化 学	8 ～ 11 頁
生 物	12 ～ 18 頁

注 意 事 項

1. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、この注意をよく読むこと。
2. 試験開始の合図〔チャイム〕があるまで、問題冊子ならびに解答用紙は開かないこと。
3. 試験開始の合図〔チャイム〕の後に問題冊子ならびに選択した科目に拘わらず解答用紙の全ページの所定の欄に受験番号と氏名を記入すること。
4. 解答はかならず定められた解答用紙を用い、それぞれ定められた位置に問題の指示に従って記入すること。また、解答用紙に解答以外のことを書かないこと。
5. 解答はすべて黒鉛筆を用いてはっきりと読みやすく書くこと。
6. 解答用紙のホチキスはずさないこと。
7. 質問は文字が不鮮明なときに限り受け付ける。
8. 問題冊子に、落丁や乱丁があるときは手を挙げて交換を求めること。
9. 試験開始60分以内および試験終了前10分間は、退場を認めない。
10. 試験終了の合図〔チャイム〕があったとき、ただちに筆記用具を置くこと。
11. 試験終了の合図〔チャイム〕の後は、問題冊子ならびに解答用紙はいずれも表紙を上にして、通路側から解答用紙、問題冊子の順に並べて置くこと。いっさい持ち帰ってはならない。
なお、途中退場の場合は、すべて裏返しにして置くこと。
12. 選択科目の変更は認めない。
13. その他、監督者の指示に従うこと。

受験番号		氏 名	
------	--	-----	--



物 理

以下の各問題の解答はすべて解答欄に記入し、必要なら単位も含めて答えなさい。特に指示のない限り解答の過程も簡潔に示しなさい。

1 以下の文章の (①) から (⑫) に適切な数値を入れなさい。ただし、解答の過程を示す必要はない。

- [1] 図1のように水平な床に長さ5.0 mの、密度が一様でないまっすぐな棒がある。棒の端Bを床につけたまま端Aに鉛直上向きの力を加えたところ、 $1.5 \times 10^2 \text{ N}$ でわずかにAが持ち上がった。また、Aを床につけたままBに鉛直上向きの力を加えたところ、 $1.0 \times 10^2 \text{ N}$ でわずかにBが持ち上がった。このとき、棒の重さは (①) Nであり、棒の重心はAからBに向かって (②) mの距離にある。この棒を水平な状態にして二人で持った。このとき、一人がAの位置を持ち、もう一人がBからAに向かって (③) mの距離の位置を持てば、二人にかかる力の大きさが等しくなる。



図1

- [2] 断面積 1.00 mm^2 、長さ 50.0 cm の導線に 255 V の電圧を加えたところ、導線の温度が $100 \text{ }^\circ\text{C}$ で一定になり、そのときの電流は $5.00 \text{ }\mu\text{A}$ で一定となった。温度が一定になってから 600 秒 で発生するジュール熱は (④) Jであり、この温度での導線の抵抗は (⑤) Ω である。この導線の $0 \text{ }^\circ\text{C}$ での抵抗率は、抵抗率の温度係数を $2.00 \times 10^{-4} / \text{K}$ とすると (⑥) $\Omega \cdot \text{m}$ である。
- [3] 媒質1から媒質2へ入射角 30 度 で単色光を入射した。媒質1に対する媒質2の相対屈折率が $\frac{1}{\sqrt{2}}$ と表せるとすると、反射角は (⑦) 度、屈折角は (⑧) 度である。また、媒質1から媒質2へ入射するときの臨界角は (⑨) 度である。
- [4] 放射性崩壊にはヘリウム ${}^4_2\text{He}$ を放出する α 崩壊や、電子を放出する β 崩壊などがある。不安定な原子核の中には α 崩壊や β 崩壊を繰り返し起こすものがあり、例えばウラン ${}^{234}_{92}\text{U}$ は α 崩壊と β 崩壊を繰り返してポロニウム ${}^{210}_{84}\text{Po}$ になる。このとき、 α 崩壊が起こった回数は (⑩) 回、 β 崩壊が起こった回数は (⑪) 回である。また、放射性崩壊を特徴付ける量に半減期という物理量がある。炭素 ${}^{14}_6\text{C}$ の半減期は $5.7 \times 10^3 \text{ 年}$ であるため、ある物質に含まれている炭素 ${}^{14}_6\text{C}$ の現在の含有量は、 $1.14 \times 10^4 \text{ 年前}$ の (⑫) % にまで減少している。



2 真空中において、向きのそろった磁場（磁界）中を等速円運動する1個の電子を考える。電子は、図2のような xyz 座標系の原点 O を中心として、 xy 平面 ($z = 0$) 内を z 軸の正の方向から見て左回り（反時計回り）に、周期 T 、半径 R で等速円運動している。真空の透磁率を μ_0 、電子の質量を m 、電気素量を e 、円周率を π とし、以下の各問に答えなさい。ただし、電子の運動によってつくられる磁場は無視できる。〔1〕、〔3〕、〔5〕、〔8〕は解答の過程を示す必要はない。

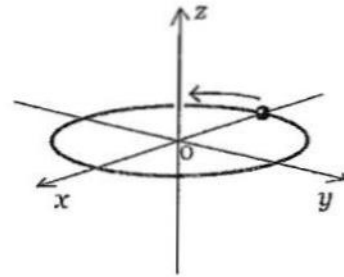


図2

- 〔1〕 この電子にはたらく向心力の具体的な名称を答えなさい。
- 〔2〕 電子の速さを求めなさい。
- 〔3〕 磁場の向きを答えなさい。
- 〔4〕 電子の位置での磁場の強さを求めなさい。

電子の円軌道はコイルとみなせる。電子の円運動の軌道半径を R に保ったまま、円軌道内部における単位時間あたりの磁束の変化量が一定になるように磁場を変化させた。このとき、電子の運動エネルギーは時間とともに増加し、電子が1周するたびに K ずつ増加した。

- 〔5〕 円軌道内部における磁束の増減を答えなさい。
- 〔6〕 円軌道内部における単位時間あたりの磁束の変化量の大きさを求めなさい。

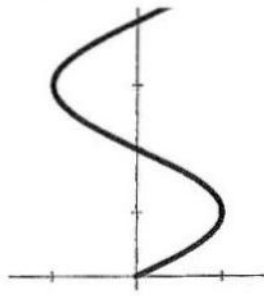
再び、はじめの周期 T 、半径 R の等速円運動の状態にした後、電子が $x = -R$ の位置に来た瞬間に、 z 軸の正の方向に一様な電場（電界） E を加え、その後同じ電場を加え続けた。

- 〔7〕 電場を加えた時刻を 0 s とし、それ以後の時刻 t での電子の速さを求めなさい。
- 〔8〕 電場を加えた時刻以降の yz 平面に投影した電子の軌道として、最も適切な図を【選択肢】(あ)～(た)の中から選び、その記号を答えなさい。選択肢の図において、太線は電場を加えた瞬間からの電子の軌道を表し、横線、縦線およびそれらの交点は、それぞれ y 軸（右向きが正）、 z 軸（上向きが正）および原点 O を表す。 y 軸の目盛りは電場を加える前の等速円運動の半径に等しく、 z 軸の目盛りは等距離を示し、その単位は任意である。

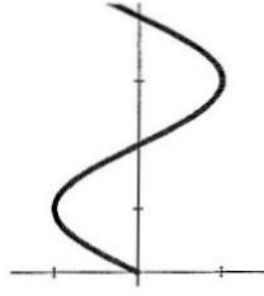


【選択肢】

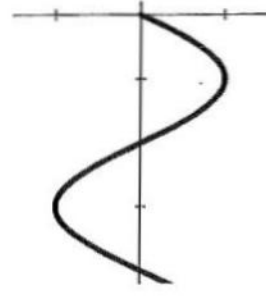
(あ)



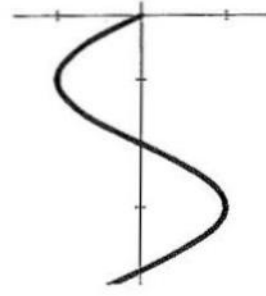
(い)



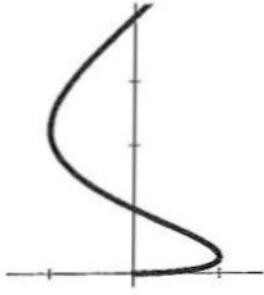
(う)



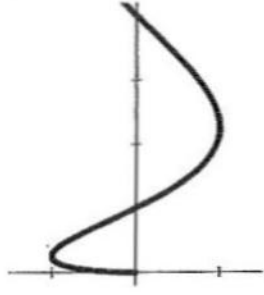
(え)



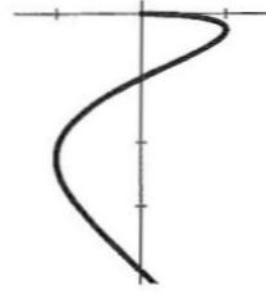
(お)



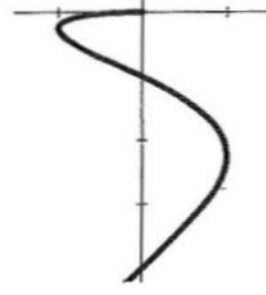
(か)



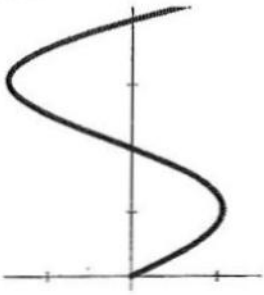
(き)



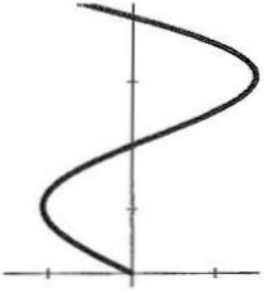
(く)



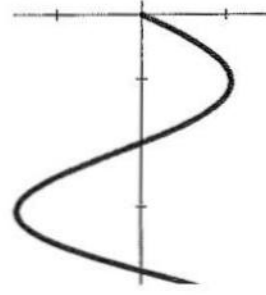
(け)



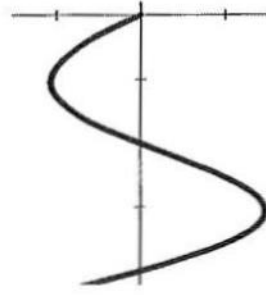
(こ)



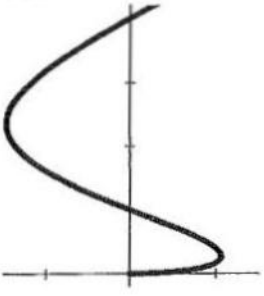
(さ)



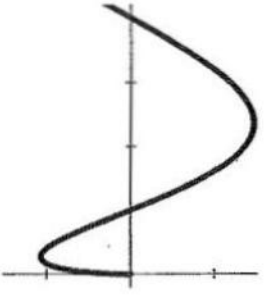
(し)



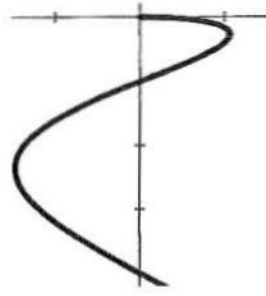
(す)



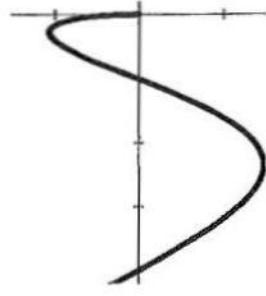
(せ)



(そ)



(た)



3 図3のように水平な床の上に水平な底面と上面をもつL字型の台 S_1 、 S_2 が、十分離れてともに静止している。 S_1 の質量は m_1 、 S_2 の質量は m_2 であり、これらは底面から上面までの高さが等しく、上面の長さともに d である。はじめ S_1

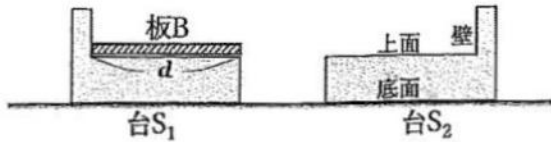


図3

の上面には、一様な密度をもつ質量 m 、一辺の長さが d の直方体の板 B が載っている。 S_1 、 S_2 の底面と床との間の摩擦、および S_1 、 S_2 の上面と B との間の摩擦は無視でき、 S_1 と S_2 が衝突したときの反発係数（はね返り係数）を e とする。以下の各問に答えなさい。ただし、速度はすべて図3の水平方向右向きを正とする。〔1〕、〔2〕は解答の過程を示す必要はない。

- 〔1〕 反発係数が1より小さい衝突を何と呼ぶか答えなさい。
- 〔2〕 S_1 に図3の左から水平方向右向きに一定の力 f をある時間だけ与えたところ、 S_1 と B の速度がともに v になった。このとき S_1 が B に与えた仕事を求めなさい。
- 〔3〕 力 f を与えている間に S_1 が移動した距離を求めなさい。
- 〔4〕 〔2〕の後、 S_1 は S_2 に初めて衝突した。これにより B は速度 v のまま S_1 の上面をすべり始めた。衝突直後の S_1 と S_2 の速度をそれぞれ求めなさい。
- 〔5〕 〔4〕の衝突の時刻から、 B と S_1 が完全に離れるまでの時間を求めなさい。
- 〔6〕 〔4〕の衝突によって B が S_1 から S_2 の上面に移り、 S_2 の壁に衝突するためには、 B と S_1 が完全に離れたときに、 B の重心が S_2 の上面の上であればよい。 B が S_2 の壁に衝突するために e が満たすべき範囲を求めなさい。



4 図4のように、内部に仕切り壁のあるシリンダーにピストンが挿入されており、シリンダー内に2つの密閉空間A、Bができています。シリンダーとピストンは断熱材でできており外部と熱のやりとりができないが、仕切り壁は熱をゆっくりと伝えることができます。ただし、仕切り壁の熱容量は無視できるものとする。仕切り壁は固定されておりAの体積は一定で、その値を V_0 [m³]とする。ピストンは滑らかに動くこともできるが、動かないように位置を固定することもできる。シリンダーとピストンの外側には大気が存在している。Bには物質質量 $3n_0$ [mol]の単原子分子理想気体が封入されており、気密は保たれている。気体定数を R [J/(mol・K)]とする。

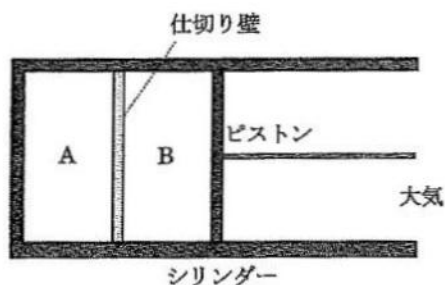


図4

以下の各問に答えなさい。ただし、数値は小数にする必要はなく、分数のままでよい。

[イ] はじめ、Aには気体が封入されておらず真空となっている。ピストンを滑らかに動ける状態にして時間を十分に経過させたところ、Bに封入された気体の温度は T_0 [K]、体積は V_0 となった。

- [1] B内の気体の内部エネルギーを求めなさい。
- [2] 大気圧を求めなさい。

[ロ] 次に、Aに物質質量 $19n_0$ 、温度 $4T_0$ の単原子分子理想気体を素早く封入し、A内の気密が再び保たれる状態にした。Aに気体を封入している間に仕切り壁が伝える熱は無視できる程に小さく、Aに気体を封入した直後のB内の気体の温度、体積はそれぞれ T_0 、 V_0 のままだった。ピストンを滑らかに動ける状態にしたまま十分に時間を経過させたところ、A内の気体とB内の気体の温度は等しくなり、Bの体積は増加した。

- [3]十分に時間が経過した後のA、B内の気体の温度を求めなさい。
- [4] Bの体積が増加する間にB内の気体がした仕事を求めなさい。

[ハ] 次に、ピストンを左に動かすことでBの体積を V_0 に戻し、ピストンの位置を固定した。ピストンを動かす間に仕切り壁が伝える熱は無視できる程に小さく、この間のB内の気体の状態変化は断熱変化と見なすことができる。この状態で十分に時間を経過させたところ、A内の気体とB内の気体の温度は等しくなった。

- [5] 断熱変化によりB内の気体がされた仕事を求めなさい。ただし、単原子分子理想気体の断熱変化では次の関係が成立することをを用いてよい。

$$(\text{圧力}) \times (\text{体積})^{\frac{5}{3}} = (\text{一定})$$

- [6]十分に時間が経過した後のA、B内の気体の温度を求めなさい。



5 以下の各問に答えなさい。

[A] 次の文章の (①) に適切な語を、(②) から (⑦) に適切な式を入れなさい。ただし解答の過程を示す必要はない。

音源や観測者が動くことによって、音源の音の高さと異なる高さの音が観測されることがある。この現象を (①) 効果という。音源や観測者が同一直線上を移動する場合について、音源の振動数 f 、音速 c 、音源や観測者が移動する速さ v ($< c$) を用いて、観測者が観測する音の振動数 f' を与える公式を導こう。ただし、1 波長分の波を 1 個の波と数えることとする。

まず、音源 S が静止していて、観測者 O が速さ v で音源 S に近づく場合を考える。音源 S は静止しているので、音の波長は (②) である。観測者 O に対する音の相対速度は (③) である。

以上より $f' = \frac{c+v}{c} f$ となる。

次に、観測者 O が静止していて、音源 S が速さ v で観測者 O に近づく場合を考える。ある時刻に音源 S から出た音が観測者 O に達するまでの時間を t とすると、音が観測者 O に達した瞬間の OS 間距離は (④) である。時間 t の間に音源 S から発生する波の数は (⑤) である。したがって、観測者 O が観測する音の波長は (⑥) となる。観測者 O に対する音の相対速度は (⑦) である。以上より $f' = \frac{c}{c-v} f$ となる。

[B] 上で示した効果を利用すると、移動する物体に波を当て、その物体からの反射波を調べることで、物体の速度を計測することができる。この計測方法は、自動車の速度、球速、血液の流れの速度などの計測装置に応用されている。今、水中を等速直線運動する物体 P を考える。物体 P の移動する線上の一点に装置 M を固定する。装置 M は、音を発する音源部 S と、音を観測する検出部 D とを備えている。物体 P に、音源部 S から振動数 f_0 の音波を当てたところ、音波は物体 P で反射して装置 M に戻ってきた。この反射波を検出部 D で検出したところ、反射波の振動数は f_1 であった。水中での音速を c 、物体 P の速さを v とする。

- [1] 物体 P 上での音波の振動数 f' を c 、 v 、 f_0 を用いて表しなさい。物体 P が装置 M に対して近づいている場合と遠ざかっている場合とに分けて答えること。
- [2] f_1 を c 、 v 、 f_0 を用いて表しなさい。物体 P が装置 M に対して近づいている場合と遠ざかっている場合とに分けて答えること。
- [3] $f_0 = 6.0 \times 10^6$ Hz に対して、 $f_1 - f_0 = 4.0 \times 10^3$ Hz であった。物体 P は装置 M に対して近づいているか遠ざかっているかを答えなさい。また、 $c = 1.5 \times 10^3$ m/s として、 v を有効数字 2 けたで求めなさい。

以上

