

平成 29 年度 入学 試験 問題

理 科

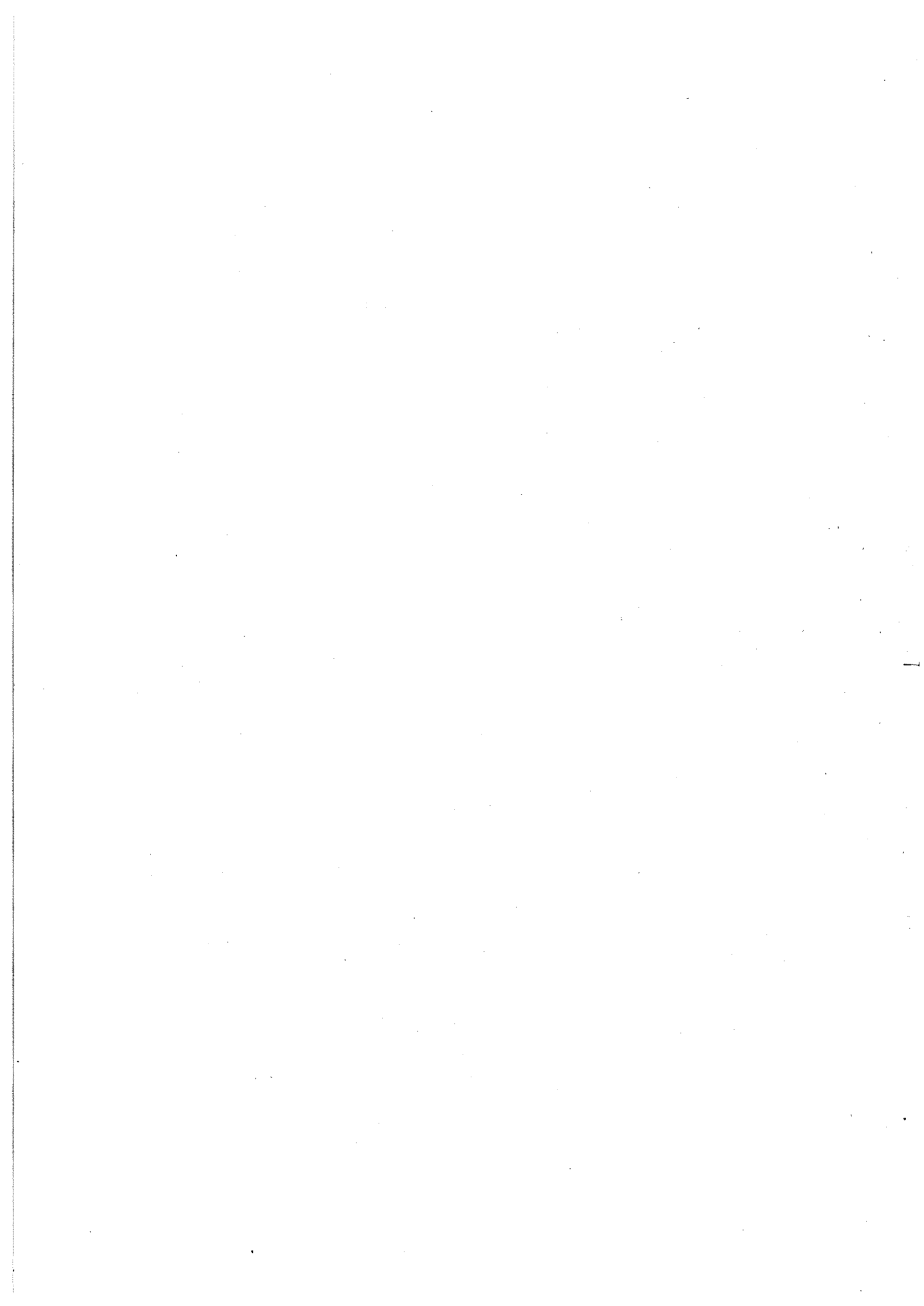
各科目 100 点満点

《配点は、一般入試学生募集要項に記載のとおり。》

物 理	(1～14 ページ)	化 学	(15～34 ページ)
生 物	(35～52 ページ)	地 学	(53～66 ページ)

(注 意)

1. 問題冊子および解答冊子は係員の指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は表紙のほかに 66 ページである。また、解答冊子は表紙のほかに、物理：16 ページ、化学：20 ページ、生物：12 ページ、地学：20 ページ、である。
3. 問題は物理 3 題、化学 4 題、生物 4 題、地学 4 題である。
4. 試験開始後、選択した科目の解答冊子の表紙所定欄に学部名・受験番号・氏名をはっきり記入すること。表紙には、これら以外のことを書いてはならない。
5. ◇総合人間学部(理系)・理学部・農学部受験者は、物理・化学・生物・地学のうちから 2 科目を選択すること。
◇教育学部(理系)受験者は、物理・化学・生物・地学のうちから 1 科目を選択すること。
◇医学部・薬学部受験者は、物理・化学・生物のうちから 2 科目を選択すること。
◇工学部受験者は、物理・化学の 2 科目を解答すること。
6. 解答は、すべて解答冊子の指定された箇所に記入すること。
7. 解答に関係のないことを書いた答案は無効にすることがある。
8. 解答冊子は、どのページも切り離してはならない。
9. 問題冊子は持ち帰ってもよいが、選択した科目の解答冊子は持ち帰ってはならない。



物 理

(3 問題 100 点)

物理問題 I

次の文章を読んで、に適した式または値を、それぞれの解答欄に記入せよ。また、問1では、指示にしたがって、解答を解答欄に記入せよ。

図1のように、圧縮ばねを利用した球の打ち出し装置、円弧状二重レール、質量 m の2個の同一球①、②が水平台上に置かれている。円弧状二重レールは内側と外側のレールで構成され、それらの間隔は球の直径と等しい。2つのレールの中間点が描く半円の半径は r であり、その下端を点A、上端を点Bとする。点A、Bは同一鉛直線上にある。球①が打ち出されることによって運動が開始する。球は水平台上や円弧状二重レールの間を滑らかに移動し、かつ円弧状二重レールを含む鉛直平面内のみを運動するものとする。さらに、球の直径は r と比べて無視できるほど小さいものとする。重力加速度の大きさを g とする。

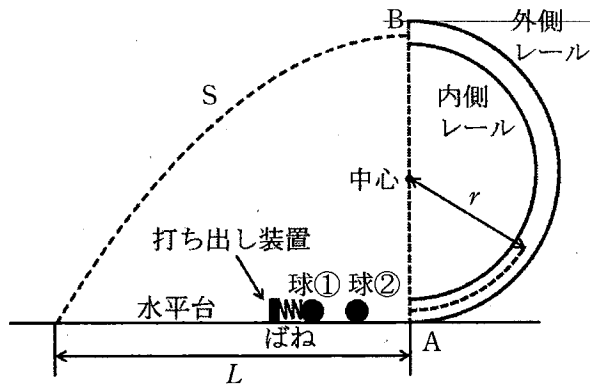


図1

(1) まず、球②が存在せず、球①のみが運動する場合を考える。ばねを大きく縮めて球①を打ち出すと、球①は点 A から二重レール内に進入後、点 B に到達し、図 1 の破線 S で示すような水平投射の放物運動をした。ばねで打ち出された直後の球①の運動エネルギーを E とすると、点 B における球の速さは、 E , g , m , r を用いて、 と表せる。

ばねを最も縮めて球①を打ち出すと、球①は点 A から左側に距離 $L = 4r$ 離れた水平台上に落下した。この結果から、点 B における球①の速さは、 g , r を用いて、 と計算できるので、ばねで打ち出された直後の球①の運動エネルギー E は であることがわかる。

(2) 次に、球②が存在する場合を考えよう。ばねを縮める量を変えて球①を打ち出し、水平台上で球②と衝突させたところ、球①と②の反発係数の大きさは常に 0.5 であった。衝突直後の球①と②の運動エネルギーをそれぞれ E_1 , E_2 とすると、 E_1 , E_2 は、打ち出された直後の球①の運動エネルギー E を用いて、 $E_1 =$, $E_2 =$ と表せる。

打ち出された直後の球①の運動エネルギー E がある値より小さい場合、衝突後の 2 球は点 A から二重レール内に進入し、再衝突することなく経路途中で速さ 0 となり、その後、逆戻りを始めた。球①, ②が速さ 0 となる点までの水平台からの高さを h_1 , h_2 とすると、これらの比は常に $\frac{h_2}{h_1} =$ であった。また、ばねを最も縮めた場合、衝突直後の球②の運動エネルギーは、 g , m , r を用いて、 $E_2 =$ と表せる。このとき、球②は点 B から水平投射され、点 A から左側に距離 $L =$ 離れた水平台上に落下した。

(3) (2)において、球②が二重レール内を移動するときの運動方程式を考えてみよう。図2のように、点Aから反時計回りに角度 θ ($0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)を定義し、角度 θ における円周方向の速さを v とすると、円の中心方向の加速度の大きさは $\frac{v^2}{r}$ である。球②が内側および外側レールから受ける円の中心方向の力を F とし、円の中心に向かう向きを正とする。さらに重力の効果を考慮すると、円の中心方向の運動方程式は、

$$m \frac{v^2}{r} = \boxed{\text{ケ}} \quad (\text{i})$$

と与えられる。ここで、力 F が正である場合は、球②が外側レールから抗力を受けることを意味し、負の場合は、内側レールから抗力を受けることを意味する。角度 θ における力学的エネルギーの保存則は、 E_2 , g , m , r , θ を用いて、

$$\frac{1}{2} mv^2 = \boxed{\text{コ}} \quad (\text{ii})$$

と表せる。式(i), (ii)から v を消去すれば、球②が内側および外側レールから受ける力 F を計算できる。

ここで、球②が二重レール内で速さ0となる場合の運動を考える。速さが0になる角度 θ_V が $\theta_V > 90^\circ$ のとき、 $F=0$ となる角度 θ_F が存在する。球②は $0^\circ \leq \theta < \theta_F$ の領域で外側レールから抗力を受け、 $\theta_F < \theta \leq \theta_V$ の領域で内側レールから抗力を受ける。このとき、 $\frac{\cos \theta_F}{\cos \theta_V} = \boxed{\text{サ}}$ の関係が成立する。

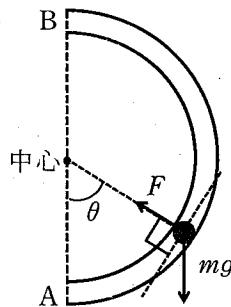


図2

問 1 ばねを適当に縮めて球①を打ち出したところ、球②は二重レール内の高さ h_2 ($h_2 > r$) の点で速さが 0 となり、その後、経路を逆戻りした。次に、内側レールを取り外し、球①の打ち出しエネルギーを同じにして実験を行なった。すると、球②は $F = 0$ となる角度 θ_F からレールを離れ、斜方投射の放物運動をした。球②の放物運動の最高到達点は h_2 よりも低くなった。この理由を 100 字以内で説明せよ。

物理問題 II

次の文章を読んで、には適した式または値を、{ }からは適切なものを選び、それぞれの解答欄に記入せよ。なお、は、すでにで与えられたもの、または{ }で選択したものと同一ものを表す。また、問1では、指示にしたがって解答を解答欄に記入せよ。

- (1) 図1のように、細長い直方体(奥行き w 、高さ d)の導体を考える。導体中には電気量 $-q$ ($q > 0$)の自由電子が数密度(単位体積あたりの個数) n で存在しているとす。直方体の面を図1のように、A(左面)、D(前面)、G(上面)、J(背面)、K(下面)、H(右面)とする。また、図1の右上に示すように、 x 、 y 、 z 軸を直方体の辺と平行になるように選ぶ。なお、重力と地磁気の影響は無視する。

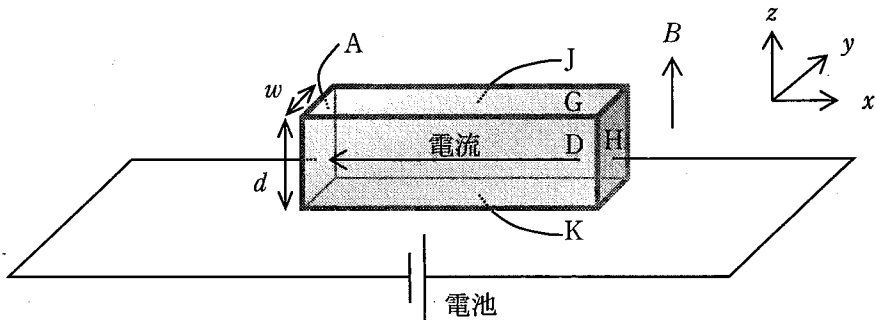


図1

導体の両端に電池をつなぎ、面Aと面Hの間に電圧をかける。このとき生じる強さ E_1 の電界により電子は x 軸の正の向きに大きさ の電気力を受けて進む一方、電子の速さ v に比例した抵抗力(比例係数 k)を受ける。そのため、電子が受ける力は

$$F = \text{イ} - kv$$

と表せる。その後、電気力と抵抗力がつり合い、電子の速度が一定になった。そのときの速さは $v_1 = \text{ロ}$ である。

次に、磁束密度の大きさ B の磁界を z 軸の正の向きに加える。以下、ハ、ヘ、ト、チ、リの解答には w, d, q, n, v_1, B のうち必要なものを使って答えよ。

磁界により電子は大きさ $\boxed{\text{ハ}}$ のローレンツ力を (z 軸の正, x 軸の負, y 軸の正, y 軸の負, z 軸の正, z 軸の負) の向きに受ける。電子はローレンツ力によって面 {ホ : A, D, G, J, K, H} に集まり、この面は負に、向かい合う面は正に帯電する。この帯電により生じる強さ E_2 の電界により、電子は $\boxed{\text{ニ}}$ の方向と逆向きに力を受ける。この力とローレンツ力 $\boxed{\text{ハ}}$ がつり合うと電子は直進するようになり、帯電はこれ以上進まなくなる。このつり合いの条件から、 $E_2 = \boxed{\text{ヘ}}$ が得られる。導体の奥行きは w 、高さは d なので、面 $\boxed{\text{ホ}}$ と向かい合う面の間に生じる電圧は $U = \boxed{\text{ト}}$ と表せる。一方、電子が一定の速さ v_1 で進むとすると、導体を流れる電流の大きさは、 $I = \boxed{\text{チ}}$ と表せる。

以上より、 $B = \boxed{\text{リ}} \times \frac{nU}{I}$ の関係が得られるので、 n が既知であるときに電圧 U と電流 I を測定すれば、磁束密度の大きさ B を求めることができる。

この問題は、次のページに続いている。

(2) 図2のように、直方体(長さ L)の半導体の両端の面A, Hのごく近くに、面積 S の2枚の金属板a, hを置く。金属板は面A, Hと同じ形で、面を覆うように置く。半導体は、導体と絶縁体の中間の抵抗率をもつ物質であり、もともと半導体中には自由電子は存在しないとみなす。また、半導体と金属板の間には、 L に対して十分小さな隙間があり、金属板から半導体に電子が流入することはない。したがって、図2のように金属板に電池と抵抗をつないだ回路では、金属板と半導体からなる系は平行板コンデンサーの働きをする。ただし、抵抗の抵抗値は十分に小さく、コンデンサーの充電時間は無視できる。また、抵抗による電圧降下は電池の電圧に比べて十分小さい。

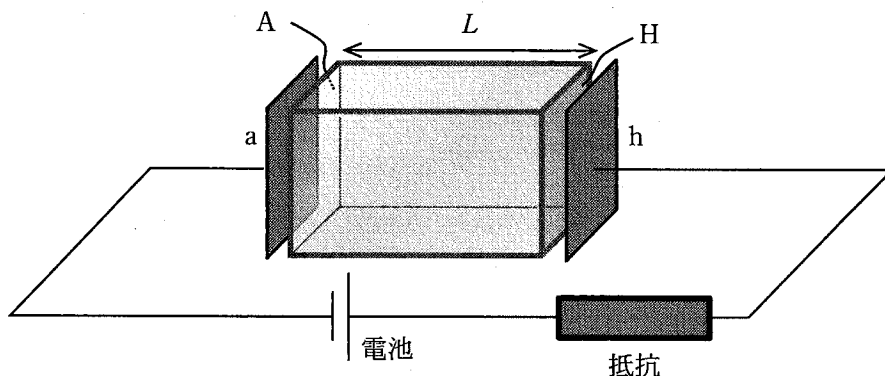


図2

このコンデンサーは極板の面積が S 、極板間の距離が L であり、極板の間は半導体で満たされているとみなせる。半導体の誘電率を ϵ とすると、コンデンサーの電気容量は $C = \boxed{\text{又}}$ と表せる。コンデンサーには、電池(電圧 V)により、 $Q = CV$ の電荷が蓄積される。なお、極板の面積は十分に大きく、極板の間に一様な電界が生じるとしてよい。

ここで、電気量 $-q$ ($q > 0$)の電子 N 個を時刻 $t = 0$ において瞬間的に面Aに一様に注入する。この電子群の運動を考えてみよう。外部から半導体に注入された電子は、半導体中を移動することができる。いま、注入された電子群は、シート状の分布のまま半導体中を面Aから面Hの向きに一定の速さ(ここでは

v_2 とする)で進むとする。このシート状の電子群は、コンデンサーの極板の間に挿入された十分に薄い導体とみなすことができる。したがって、半導体中をシート状の電子群が運動するときの状況は、図3のように、 $-qN$ に帯電した導体 m がコンデンサー内を速さ v_2 で動いているとみなすことができる。

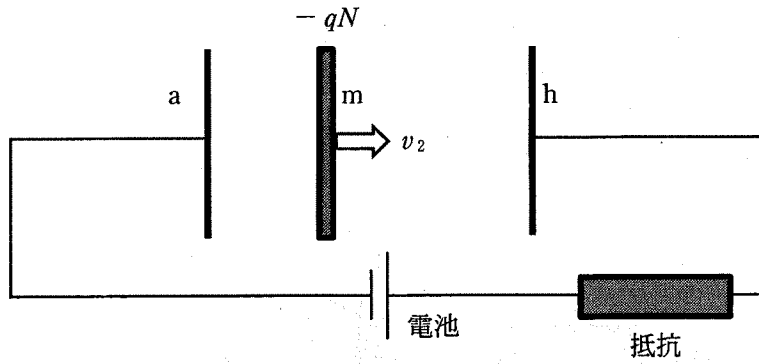


図 3

この問題は、次のページに続いている。

極板間に置かれた導体 m の電荷の影響により、抵抗に電流が流れる。この状況を理解するために、図4のように、導体 m を短い導線でつながれた金属板 a' 、 h' に置き換えて考える。このとき、 a と a' 、 h と h' はそれぞれコンデンサー①、②を構成する。コンデンサーの極板間は誘電率 ϵ の物質で満たされている。時刻 t において、コンデンサー①と②の極板間距離は、それぞれ $v_2 t$ と $L - v_2 t$ である。したがって、コンデンサー①とコンデンサー②の電気容量は、 C を含む式としてそれぞれ **ル**、**ヲ** と表せる。

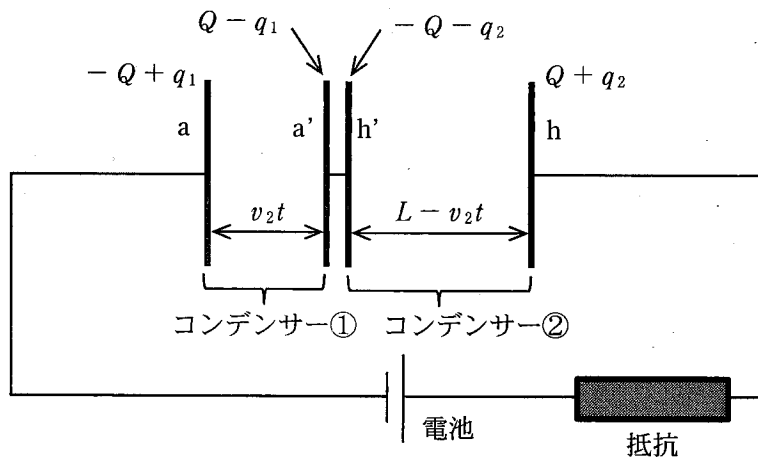


図4

コンデンサー①に蓄えられる電荷を $Q - q_1$ 、コンデンサー②に蓄えられる電荷を $Q + q_2$ とする。ここで、極板 a' 、 h' の電荷の和は $-qN = -q_1 - q_2$ であり、極板 a 、 h の電荷の和は $qN = q_1 + q_2$ であるとする。コンデンサー①の電圧 V_1 とコンデンサー②の電圧 V_2 は、 C を含む式としてそれぞれ $V_1 =$ **ワ** と $V_2 =$ **カ** と表せる。

極板 a, h 間の電位差が常に $V = \frac{Q}{C}$ に保たれる条件と $-qN = -q_1 - q_2$ の関係を用いると、 $q_2 = \boxed{\exists} \times v_2 t$ が得られる。ごく短い時間 Δt の間に導体 m は $v_2 \Delta t$ だけ移動するので、この間の電荷の変化量は $\boxed{\exists} \times v_2 \Delta t$ であり、抵抗に流れる電流の大きさは $I_d = \boxed{\exists} \times v_2$ と表せる。電子群が面 H に到達した後は、電流は $\boxed{\text{タ}}$ になる。

以上より、抵抗に流れる電流の時間変化を計測することにより電子群が面 A から面 H まで移動する走行時間 $\frac{L}{v_2}$ が得られる。

問 1 以下の図 5 を解答欄に描き写し、各時刻で抵抗に流れる電流の大きさを時間の関数としてグラフに示せ。

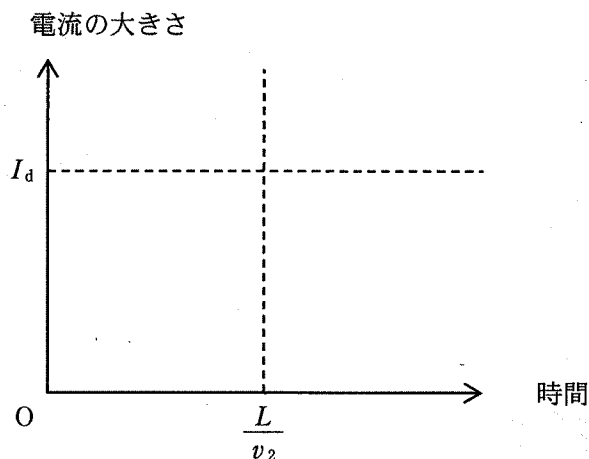


図 5

物理問題 III

次の文章を読んで、には適した式を、{ }からは適切なものを選びその番号を、それぞれの解答欄に記入せよ。なお、は、すでにで与えられたものと同じ式を表す。

図1のように平坦で透明な薄い壁Mで隔てられた、部屋Rと隣接した広場Pがある。壁Mの上に原点Oをとり、壁Mと直交する方向にx軸、壁Mと重なる方向にy軸をとる。この広場Pの中に車Sがあり、振動数 f の音を鳴らし続けている。部屋Rの気温は広場Pの気温より高いとする。このとき、部屋Rの空気中の音速 c_R は広場Pの空気中の音速 c より速い。また、部屋Rおよび広場Pは無風であるとする。

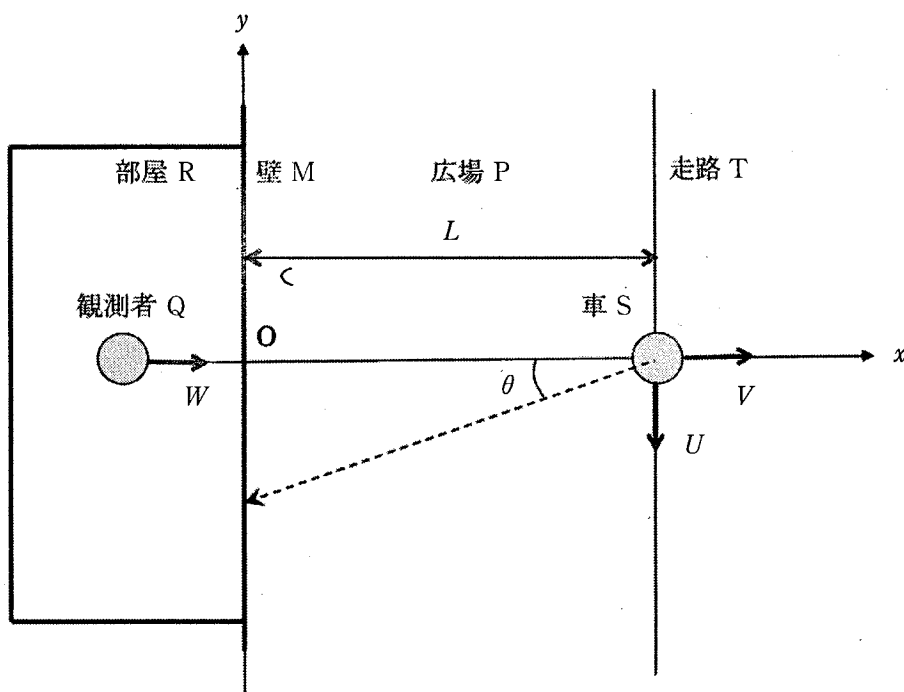


図1

(1) 広場 P の中の x 軸上の場所 $x = L$ に車 S が停車している。このとき、広場 P の空気中を伝わる音波の波長は である。この音波は壁 M を振動させ、部屋 R の空気中に音波として伝わることで、部屋 R の中の x 軸上の地点で静止している観測者 Q に聞こえるものとする。このとき、観測者 Q に届く音波の波長は と異なり である。また、観測者 Q が聞く音波の振動数は である。

(2) 次に、車 S が広場 P の中で x 軸上を正の向きに音速 c よりも十分遅い速さ V で移動している場合を考える。車 S から発せられて x 軸の負の向きに伝わる音波の波長は である。また、この音波が壁 M で反射して戻って来たときに、車 S に乗車している運転手 D に聞こえる音波の振動数は である。

この音波が壁 M を経由して部屋 R の空気中に伝わったときの波長は である。このとき、車 S を見て x 軸の正の向きに速さ W で駆け寄った観測者 Q が聞く音波の振動数は である。

(3) 次に、 y 軸に平行で原点 O からの距離が L である走路 T 上で、車 S が y 軸の負の向きに音速 c よりも十分遅い速さ U で移動している場合を考える。車 S から発せられた音波は全方位に伝わるが、これらの音波のうち、壁 M に反射して運転手 D に聞こえるのは、音速 c と車 S の速さ U により定まる特定の方向に伝わった音波だけとなる。

この音波の方向を求めるために、図中に破線で示された角度 θ の向きに進む音波について考えてみよう。車 S が移動する速度には音波が進む方向の成分がある。その成分の大きさは、 である。そのため、空気中に伝えられた音波の波長は、車 S が静止しているときに空気中に伝わる音波の波長と比べて 倍となる。

この音波は壁 M で反射して、再び広場 P の空気中を進み、音波の経路が走路 T と交差する点を越えて伝わるものとする。この音波が「車 S \Rightarrow 壁 M \Rightarrow 走路 T と交差する点」の経路を伝わる間に車 S が移動する距離を L' と書く。この距離 L'

が L と θ を用いて与えられる距離 $\boxed{\text{こ}}$ と等しいときに限り、音波が運転手 D に届いて聞こえる。言い換えれば、この関係を満たす角度 θ 方向に伝わる音波だけが、運転手 D に聞こえることとなる。この条件を角度 θ と広場 P の空気中の音速 c および車 S の速さ U の関係に直せば、 $\sin \theta = \boxed{\text{さ}}$ となる。またこのとき、運転手 D の聞く反射音の振動数は $\boxed{\text{し}}$ となる。

- (4) (3)の状況で、運転手 D は反射音とともに、車 S が発する音波を直接聞くこととなる。これらの音波は干渉し合うこととなり、車 S と壁 M の距離 L を少しずつ変化させた実験を繰り返したとき、これらの音波は強め合ったり弱め合ったりした。このとき、音波が弱め合う条件は、

$L = \boxed{\text{す}} \times (\text{せ: ① } n + \frac{1}{2}, \text{ ② } n + 1) (n \text{ は } 0, 1, 2, \dots \text{ を表す})$ と表すことができる。ただし、運転手 D と車 S の音源の間の距離は無視し、壁 M での空気中の音波の反射条件は固定端反射とみなすものとする。

白 紙

物理問題は、このページで終わりである。

