

科目	物 理
----	-----

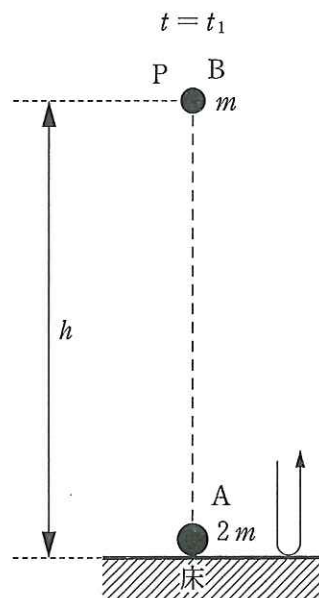
理学部・医学部・薬学部・工学部

注 意

1. 開始の合図があるまで、この冊子を開いてはいけない。
2. 問題は1ページから6ページにわたっている。解答用紙は3枚、下書き用紙は3枚で、問題冊子とは別になっている。これらが不備な場合は、直ちにその旨を監督者に申し出ること。
3. 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入すること。  
指定された解答用紙以外に記入した解答は、評価(採点)の対象としない。
4. すべての解答用紙の上部の欄に、志望学部と受験番号(2か所)を記入すること。
5. 試験終了後、問題冊子・下書き用紙とも、持ち帰ること。

1 質量  $2m$  [kg] の小球 A を床からの高さ  $h$  [m] の点 P から自由落下させた。落下し始めた時刻を  $t = 0$  とする。図のように、時刻  $t_1$  [s] において A が水平な床と弾性衝突し、この瞬間に P から質量  $m$  [kg] の小球 B を自由落下させた。その後、時刻  $t_2$  [s] において A と B は衝突し、B は  $t_3$  [s] において最高点に到達した。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、各小球の運動は鉛直方向のみとする。各小球の大きさは無視できるものとして、以下の問いに  $g$ ,  $m$ ,  $h$  のうち適当なものを用いて答えよ。ただし、A と B の間のはねかえり係数(反発係数)は  $e = \frac{3}{4}$  として計算し、平方根や分数は小数に直さずにそのまま答えよ。(3), (4), (5) については解き方も示せ。

- (1) A が 1 回目に床に衝突する時刻  $t_1$  [s] および速さ  $v_1$  [m/s] を求めよ。
- (2) A が床に衝突してはねかえった瞬間から B に衝突するまでの時間  $T_1$  [s] を求めよ。ただし、 $T_1 = t_2 - t_1$  である。また、A と B が衝突する高さ  $h_1$  [m] を求めよ。
- (3) A と B の衝突直後の速さ  $u_A$  と  $u_B$  [m/s] を求めよ。
- (4) A と B の衝突によって失われた力学的エネルギーの大きさ  $E$  [J] を求めよ。
- (5) A と B の衝突から B が最高点に到達するまでの時間  $T_2$  [s] を求めよ。ただし、 $T_2 = t_3 - t_2$  である。また、最高点の高さ  $h_2$  [m] を求めよ。



問題 2 は次のページから始まります。

- 2 図1のように、真空中に3つの領域があり、領域Ⅰと領域Ⅲでは同じ強さで同じ向きの一様な磁場(磁界)が紙面に垂直に存在し、領域Ⅱには磁場がないものとする。このとき、電子は一定の速さ $v$ で点A, B, C, Dを順に通る、領域ⅠとⅢでは半径 $r$ の円運動を、領域Ⅱでは等速直線運動をする閉じた軌道を描いて運動している。電子の質量を $m$ 、電荷を $-e(e > 0)$ とし、重力の影響は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

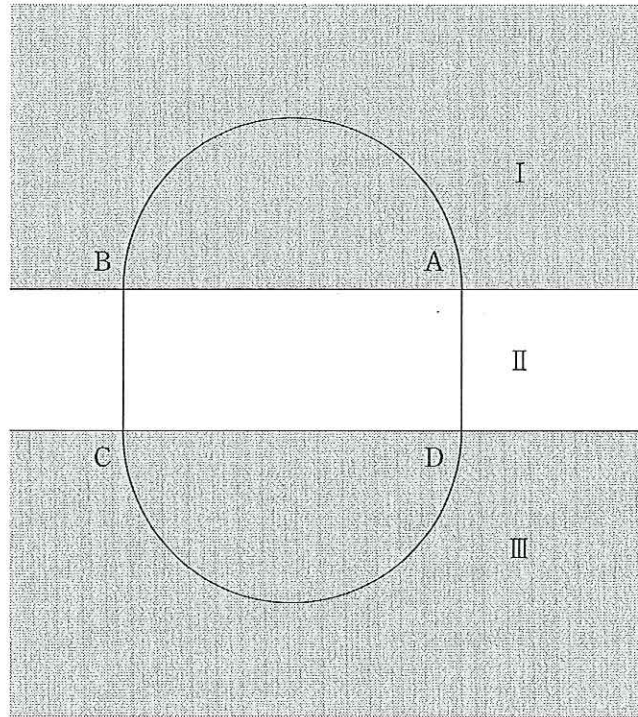


図1

- (1) 図1の状態、領域ⅠとⅢの磁場について考える。
- (a) 磁場の向きを答えよ。ただし、磁場が紙面の表から裏へ向く場合には $\otimes$ 、裏から表へ向く場合には $\odot$ と記せ。
- (b) 磁束密度の大きさを求めよ。また、その解き方も示せ。



(2) 次に図2のように、領域Ⅱに極板の間隔が  $d$  の平行平板コンデンサーを極板が BC に垂直になるようにおく。この2枚の極板の中央  $P_1$  と  $P_2$  に小さな穴があいていて、 $P_1$  と  $P_2$  は BC を結ぶ一直線上にあり、電子はこのコンデンサーの穴を通して領域Ⅲの C に達することができるものとする。電子が極板間にあるときだけ、極板に電位差  $V$  を加える。ただし、コンデンサーにあけた穴は十分に小さいため極板間の電場(電界)を乱さないものとする。

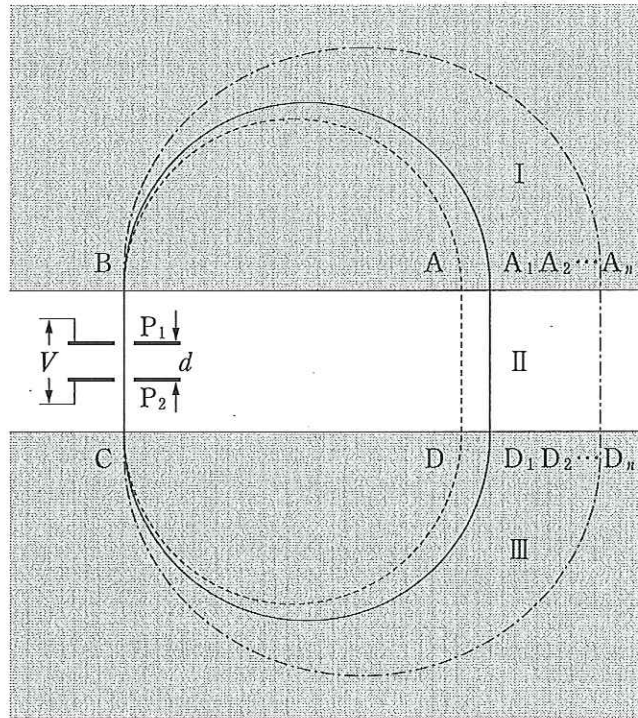


図2

- (a) コンデンサーを通過した電子の速さが  $v$  より大きくなる(加速する)ようにするには  $P_1$  と  $P_2$  のどちらの電位を高くすればよいか。  $P_1$  か  $P_2$  で答えよ。
- (b) 極板間で電場が電子におよぼす力の大きさを求めよ。
- (c) コンデンサーを通過した電子の速さ  $v_1$  を求めよ。また、その解き方も示せ。
- (d) 加速された電子は C を経て領域Ⅲに入り、円軌道を描いて点  $D_1$  を通る。円軌道の直径  $CD_1$  を求めよ。
- (3)  $D_1$  を通過した電子はこの後、点  $A_1$  を通り B にもどり、(2)と同じ働きをするコンデンサーを通り抜けて再び加速され、C を通って、 $D_2, A_2, \dots$  の各点を通ることを繰り返す。コンデンサーで  $n$  回加速された電子は領域Ⅲで半円  $CD_n$  を描いて点  $D_n$  に達する。ただし、電子が最初に加速されて領域Ⅲに入ったときを1回目とする。
- (a) 電子が  $n$  回目に C に達したときの電子の速さ  $v_n$  を求めよ。
- (b) 電子が  $n$  回目に C に達してから半円を描いて  $D_n$  に達するまでの時間を求めよ。
- (c) 電子が  $D_n$  を通過し、コンデンサーで  $n + 1$  回目の加速を受けた。加速されている間に領域Ⅲの磁場を変化させ、電子が再び  $D_n$  に達するようにした。このときの磁束密度の大きさは最初の磁束密度の大きさの何倍になるか。解き方も示せ。

3 高さ 20 cm 程の透明なガラスの円筒形ビーカーを逆さにして水中に入れてビーカー内の空気をいっくらか外に出し、ビーカーの底を水面に平行にした。それからビーカーの位置を上下させ、図 1 のようにビーカーの内と外の水面の高さが同じになるようにした。このときビーカー内の空気部分の高さは  $\ell_0$ 、ビーカー内の空気の温度は  $T_0$  であった。この状態からビーカーを鉛直方向に沈めたり引き上げたりして実験を行った。大気圧を  $P_0$ 、水の密度を  $\rho$ 、重力加速度の大きさを  $g$  として、以下の問いに答えよ。ただし、ビーカーのガラスの厚さは無視できるものとする。

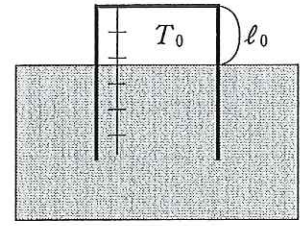


図 1

(1) 次の文中の空欄 (ア) ~ (エ) にあてはまる適切な数式を解答欄に記入せよ。(エ) については解き方も示せ。

図 1 の状態からビーカーを水中に沈めて図 2 の状態にした。水面上からビーカーの底を見てビーカーを沈めた深さ  $d$  を求めることを考える。ビーカーの底の点 A から鉛直上方の水面上の点を B、ビーカーの底が見える視点を E、この E を通る鉛直線が水面と交わる点を D とする。A から出た光線が水面上のある点 C で屈折して進み E へ達する。C を通る鉛直線と線分 AC がなす角度を  $\alpha$ 、鉛直線と線分 CE がなす角度を  $\beta$ 、空気に対する水の屈折率を  $n$  とすると、 $\alpha$ 、 $\beta$  と  $n$  の間には  $n =$  (ア) の関係がある。BC =  $L_1$  とすると深さ  $d$  は  $L_1$  と  $\alpha$  を用いて  $d =$  (イ) と表される。また、視点の水面上からの高さ DE を  $h$ 、CD を  $L_2$  とすると、高さ  $h$  は  $L_2$  と  $\beta$  を用いて  $h =$  (ウ) と表される。BD =  $L$  として、これらの関係式から、 $L$ 、 $h$ 、 $\beta$  と  $n$  を用いて  $d$  を求めることができる。

$$d = \text{(エ)}$$

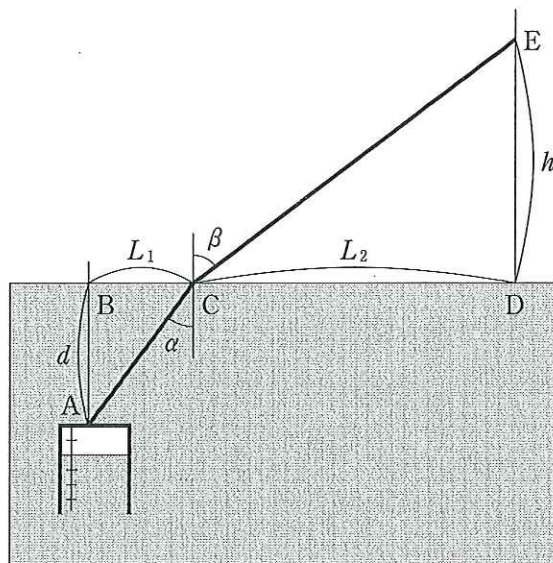


図 2



- (2) ビーカー内の圧力などを測定して深さ  $d$  を求めることを考える。図3のように沈められたビーカー内では圧力と温度が変化して、圧力が  $P_1$ 、温度が  $T_1$ 、空気部分の高さが  $l_1$  になっていた。

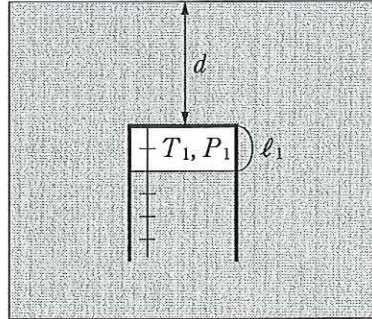


図3

- (a)  $P_1$  を  $P_0, d, l_1, g, \rho$  を用いて表せ。  
 (b)  $P_1$  を  $P_0, T_0, T_1, l_0, l_1$  を用いて表せ。  
 (c) 深さ  $d$  を  $P_0, T_0, T_1, l_0, l_1, g, \rho$  を用いて表せ。
- (3) 図1の状態からビーカーを引き上げて図4の状態にした。このとき、ビーカー内の水面はビーカーの外よりも  $x$  だけ高くなっており、ビーカー内の空気部分の高さは  $l_2$  であった。また、ビーカー内の空気の温度は  $T_0$  で圧力は  $P_2$  であった。この状態でビーカーを固定したまま、ビーカーの外の水面を図5のように波立たせた。このとき、ビーカー内の水面はほとんど変化しなかった ( $l_2$  の値がほとんど変化しなかった)。この理由を考える。

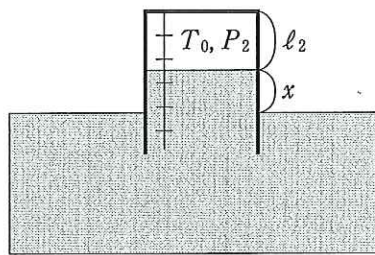


図4

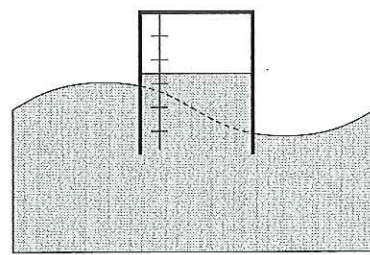


図5

- (a)  $P_2$  を  $P_0, x, g, \rho$  を用いて表せ。  
 (b)  $\frac{l_0}{l_2}$  を  $P_0, x, g, \rho$  を用いて表せ。  
 (c) 波立たせたことによる影響を  $x$  が数 cm 程変化したものとする。このとき、(b) の結果と  $P_0 = 1.0 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ ,  $\rho = 1.0 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$  の数値を用いて、下線部の理由を説明せよ。ただし、ビーカー内の空気の温度は変化しなかったものとする。