

平成 2 2 年度

問題冊子

教 科	科 目	ページ数
理 科	物 理	10

試験開始の合図があるまで、問題冊子を開かないこと。

解答の書き方

1. 解答は、すべて別紙解答用紙の所定欄に、はっきりと記入すること。
2. 解答を訂正する場合は、きれいに消してから記入すること。
3. 解答用紙には、解答と選択した選択問題の番号、志望学部及び受験番号のほかは
いっさい記入しないこと。
4. 問題〔IV〕、〔V〕は選択問題である。どちらか一方のみを解答すること。
両方を解答してはいけない。選択問題〔IV〕、〔V〕のうち、選択した問題の
番号を解答用紙3ページ目の所定の枠内に記入すること。

注 意 事 項

1. 試験開始の合図の後、解答用紙1ページ目、3ページ目に志望学部及び受験番号
を必ず書くこと。
2. 選択科目は、願書に記載したものと違ったものについて答えてはいけない。
3. 下書き用紙は、片面だけ使用すること。
4. 問題の内容についての質問には、いっさい応じないが、その他の用事があるとき
は、だまって手をあげて、監督者の指示を受けること。
5. 試験終了時には、解答用紙を机上の右側に置くこと。
6. 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ること。

- 〔 I 〕 図 1 のような断面をもつ走路が水平な床面上に置かれている。走路の直線部と曲線部は滑らかに結ばれているものとする。斜面BCが床面となす角度を 45° とする。また走路の左端には、ばねが取り付けられている。大きさの無視できるボール 1 をばねに押し当て、ばねを x だけ縮めた状態から手を離れた。ばね定数 k 、ボール 1 の質量 m_1 として、以下の問いに答えなさい。なおボール 1 と走路の間の摩擦は無視できるものとする。また重力加速度を g として答えなさい。

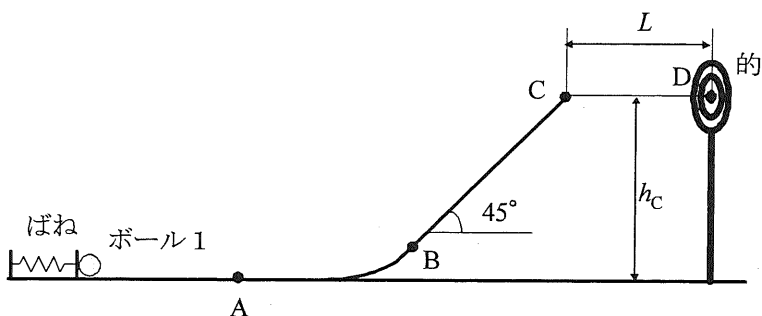


図 1

- (1) 点 A におけるボール 1 の速さを求めなさい。ただし点 A ではボール 1 は、ばねから離れていたとする。
- (2) 床面を基準とした点 C の高さを h_C とする。いま、点 C においてボール 1 の速さが 0 になった。ばねの変位 x はいくらであったか答えなさい。

点 A に、大きさの無視できる質量 m_2 のボール 2 を置いた。ボール 2 と走路の間の摩擦も無視できるものとする。点 C と同じ高さで、水平方向に L だけ離れた位置に中心 D をもつ的があり、この中心 D にボール 2 を当てることを考える。

- (3) ボール 1 をばねに押し当て、ばねを y だけ縮めた状態から手を離

した。反発係数（はねかえり係数） $e=1$ のとき，ボール 1 とボール 2 が衝突した直後，ボール 2 の速さはいくらか答えなさい。

(4) ボール 1 と衝突後，ボール 2 は点 C を越えて空中に飛び出した。

点 C におけるボール 2 の速さを求めなさい。

(5) 点 C から飛び出したボール 2 を的の中心 D に命中させるために

は，点 C におけるボール 2 の速さはいくらであるべきか， L を用いて答えなさい。

(6) $m_1 = 0.500$ [kg], $m_2 = 0.100$ [kg], $k = 245$ [N/m], $h_C = 0.500$ [m], $L =$

1.00 [m], $g = 9.80$ [m/s²] とする。的の中心 D にボール 2 を命中させ

るためには，ばねの変位 y はいくらにすべきか，単位を付けて答えなさい。

〔Ⅱ〕 ヘリウムガスが口内に満たされた状態で話すと声の高さが変化する。この理由について考察してみる。空气中，ヘリウムガス中で伝播する音波の音速をそれぞれ 330 m/s , 990 m/s とする。以下の問いに答えなさい。ただし，波長や振動数の計算では単位を記しなさい。

1 番目の実験を行う。ヘリウムガスが空気より軽いことを利用して図 2 に示す実験装置を作り，ヘリウムガスで満たされた空間(a)と空気で満たされた空間(b)が接する構造にした。実験を行う短時間の間に空気とヘリウムガスが混じることはない。空間(a)に設置された固有振動数 440 Hz のおんさを叩いた。

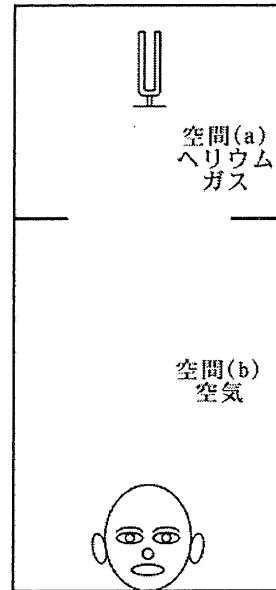


図 2

- (1) 空間(a)を伝播する音波の波長を求めなさい。
- (2) 媒質がヘリウムガスの空間(a)から媒質が空気の空間(b)へ音波が伝播する際，振動数，波長，音速の中で変化しないものをすべて答えなさい。
- (3) 空間(b)を伝播する音の波長を求めなさい。
- (4) 空間(b)にいる人に聞こえる音の振動数を答えなさい。

次にリコーダー（縦笛）を用いた 2 番目の実験を行う。空気中では 440 Hz の「ラ」の音階が鳴る指の押さえ方で、ヘリウムガスで満たされたリコーダーに、ヘリウムガスを吹き込んで音を鳴らした。

- (5) リコーダー内に生じる音波の波長を求めなさい。
- (6) ヘリウムガスで満たされたリコーダーから空気中へ音波が伝播する際、振動数、波長、音速の中で変化しないものをすべて答えなさい。
- (7) 空気中を伝播する音の波長を求めなさい。
- (8) 第三者に聞こえる音の振動数を答えなさい。

以上 2 つの実験結果を元に次の問いに答えなさい。

- (9) ヘリウムガスを口内に満たして話すと音の高さが変化することを説明できる実験は、1 番目と 2 番目の実験のどちらであるか答えなさい。
- (10) 口内で発声中の音波を特徴づける振動数、波長、音速の中で口内を満たす媒質が空気でもヘリウムガスでも変わらないものをすべて答えなさい。

〔Ⅲ〕 物理学をはじめ工学や医学など多くの分野で広く利用されている質量分析器の構成原理についての説明文を読んで以下の問いに答えなさい。

質量分析器の概略を図3に示す。この質量分析器は真空中に置かれており、質量分析器中における荷電粒子の運動は、重力の影響を受けないと仮定する。

質量分析器は速度選択部と質量選別部で構成されている。速度選択部には紙面に垂直上向きに磁束密度 B_0 の磁界が加わっている。速度選択部の左右には、一組の電極板があり、一定の電位差が加えられ、電界強度 E_0 の一様な電界が発生している。速さ v に加速した電荷 q 、質量 m の荷電粒子が、スリット1、2を通して速度選択部に入射する。ただし、 $q>0$ とする。速度選択部で速さ v で移動する荷電粒子は、電界、磁界のために力を受ける。ある条件を満足する荷電粒子は、その進行方向を変えないことなしに、等速直線運動しスリット3、4を通過して速度選択部から出てくる。つまり、スリット3、4を通過して出てくる荷電粒子は、加えた電界と磁界の強度によって決められる一定速さ v_0 を持った荷電粒子ということになる。従って、速度選択部に入射する速さ v にばらつきがあっても、速度選択部から出てくる荷電粒子は一定速さ v_0 を持つ荷電粒子のみとなる。

質量選別部には磁束密度 B_1 の一様な磁界が紙面に垂直上向きに加えられている。速さ v_0 で質量選別部に入射された荷電粒子は等速円運動する。円運動の軌道半径 R とすると、質量選別部への入射点から距離 $2R$ だけ離れた観測板上の点に荷電粒子は到達する。観測板上の到達点を計測することで、軌道半径 R を知ることができ、未知の荷

電粒子の比電荷 q/m が測定できる。

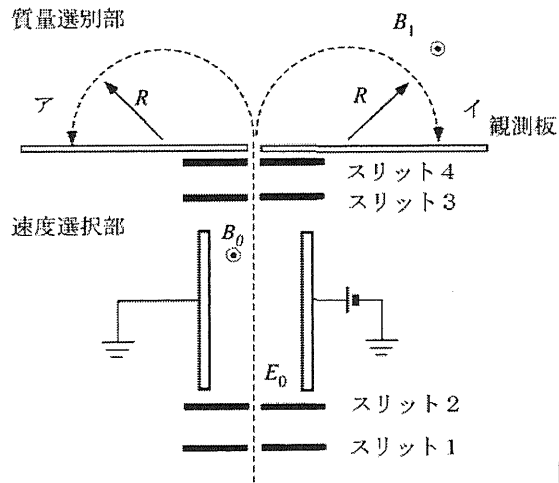


図 3

- (1) 速度選択部において荷電粒子が、磁界 B_0 により受ける力とその方向を答えなさい。ただし、方向は上下左右で示しなさい。
- (2) 速度選択部において荷電粒子が、電界 E_0 により受ける力とその方向を答えなさい。ただし、方向は上下左右で示しなさい。
- (3) 速度選択部を荷電粒子が等速直線運動で通過するための条件を文章で説明しなさい。
- (4) 速度選択部から出てくる荷電粒子の速度 v_0 を B_0 と E_0 を用いて表しなさい。
- (5) $q > 0$ の場合、質量選別部での円軌道は、図中のア、イどちらが正しいか答えなさい。
- (6) 質量選別部において荷電粒子が等速円運動する理由を述べなさい。
- (7) 荷電粒子の比電荷 q/m を v_0 、 B_1 そして R を用いて表しなさい。

[IV] 選択問題

ピストンのついた容器の中に n モルの単原子分子理想気体が閉じ込められている。容器は熱源によって加熱及び冷却することができ、気体の温度を変化させることができる。容器、ピストンの質量や熱容量は無視できるものとし、熱源以外との熱の出入りは無視してよい。図4に示すように気体の状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と変化させた。ここで縦軸と横軸はそれぞれ理想気体の圧力 P と体積 V である。状態 A における圧力と体積をそれぞれ P_0 , V_0 とし、状態 A , B の圧力差を ΔP , 状態 A , D の体積差を ΔV とする。理想気体の気体定数を R とし以下の問いに答えなさい。特に指示のない場合、解答は n , P_0 , V_0 , R , ΔP , ΔV を用いて答えなさい。

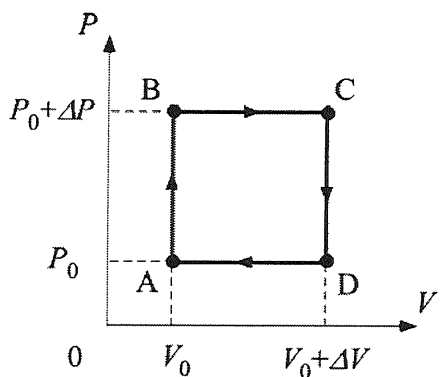


図4

- (1) 状態 A , B , C , D における気体の絶対温度 T_A , T_B , T_C , T_D を求めなさい。
- (2) この1サイクルの体積と温度の関係 (V - T グラフ) を描きなさい。
- (3) 絶対温度が T のとき, n モルの単原子分子気体の内部エネルギー U を n , R , T を用いて表しなさい。

- (4) 状態変化 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ において気体が外に対してした仕事 W 及び気体が熱源から受け取った熱量 Q を求めなさい。
また各状態変化で気体が熱源から熱を供給されたか、あるいは熱源によって冷却されたかを明記しなさい。
- (5) 状態変化 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の 1 サイクルで、気体がピストンによって外部に対してした仕事の合計 W_T を求めなさい。
- (6) 供給した熱量 Q_T に対し、気体をした仕事 W_T の比 $e = W_T / Q_T$ を求めなさい。

〔V〕 選択問題

Aさんは分光器を使って水素原子の放出する線スペクトルを観測した。Aさんが観測した可視光の線スペクトルは色が赤、青緑、青、紫の4本あり、そのうち3つの波長が $6.56 \times 10^{-7} \text{ m}$, $4.86 \times 10^{-7} \text{ m}$, $4.10 \times 10^{-7} \text{ m}$ であることを記録した。水素原子の線スペクトルは、次の規則に従うことが知られている。観測される線スペクトルの波長を λ とすれば、

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2} \right) \quad \left(\begin{array}{l} m=1, 2, 3, \dots \\ k=m+1, m+2, m+3, \dots \end{array} \right)$$

と表せる。 R はリュードベリ定数である。この式で $m=2$ の場合は、可視光の範囲での一連の線スペクトルに対応しバルマー系列と呼ばれている。Aさんが観測した線スペクトルはすべてバルマー系列に属するものとする。水素原子内のエネルギー状態について以下の問いに答えなさい。

(1) 観測し、記録した3つの線スペクトルの波長の値に対し、

$\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2}$ と $\frac{1}{\lambda}$ との関係を図表に表しなさい。このとき作図に使っ

た線等は残しておくこと。ただし、 $m=2$ に対して $\frac{1}{m^2} - \frac{1}{k^2}$ の値は k の

値の小さい方から順にそれぞれ 0.138, 0.188, 0.210, 0.222 であり、

$\frac{1}{6.56} = 0.152$, $\frac{1}{4.86} = 0.206$, $\frac{1}{4.10} = 0.244$ である。

(2) R の値はいくらか、記録した線スペクトルの波長のうちいずれか1つを使い有効数字2桁で求めなさい。

(3) Aさんが観測したが記録しなかった線スペクトルに対する k の値

を答えなさい。またこの線スペクトルの波長を有効数字 2 桁で求めなさい。

- (4) 水素原子内で電子（質量 m 、電荷 $-e$ ）が水素原子核（電荷 e ）のまわりを速さ v で半径 r の等速円運動をしているとき、円運動の方程式を書きなさい。ただし、電気力の比例定数を k_0 とする。
- (5) 水素原子の中で電子が定常状態であれば次の量子条件を満たす。

$$v_n = \frac{nh}{2\pi m r_n} \quad (n=1, 2, 3, \dots)$$

ただし、 v_n 、 r_n はそれぞれ量子数が n のときの電子の速さと軌道半径、 h はプランク定数である。この時の軌道半径 r_n と電子の全エネルギー E_n （運動エネルギーと位置エネルギーの和）を n 、 k_0 、 m 、 e 、 h を用いて表しなさい。

- (6) リュードベリ定数を k_0 、 m 、 e 、 c 、 h を用いて表しなさい。ただし、 c は光速を表すとする。