

〔「物理基礎・物理」「化学基礎・化学」「生物基礎・生物」〕

(時間：2 出題科目で 120 分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
「物理基礎・物理」	1 ～ 3	左の 3 出題科目のうちから、あらかじめ届け出た 2 出題科目について解答しなさい。
「化学基礎・化学」	4 ～ 6	
「生物基礎・生物」	7 ～ 9	

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 問題冊子の余白は計算等に用いて構いません。
- 6 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

物理基礎・物理

〔 1 〕 次の文章を読み、下の問い(問 1 ～ 5)に答えよ。ただし、問 2 ～ 5 には簡潔な説明を付けよ。

滑らかで水平な床の上に質量 M の厚さが一定の板を置き、板の上に質量 m の小物体を置く。小物体は、板の上を動く際一定の摩擦力を受ける。重力加速度の大きさを g 、板と小物体との間の動摩擦係数を μ とする。

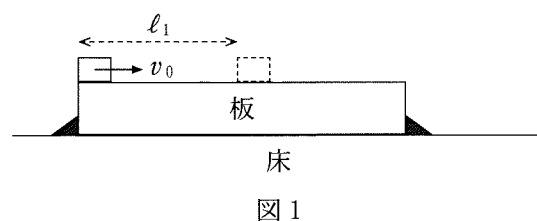


図 1 のように板を床に固定し、小物体に右向きに v_0 の速さを与えた。小物体は動き出してから経過時間が t_1 のとき静止した。小物体が動き出してから静止するまでに、小物体が板の上を移動した距離は l_1 であった。



問 1 小物体の速さの時間変化を表す線を解答欄の図に描け。

問 2 t_1 と l_1 を g , v_0 , μ を用いてそれぞれ表せ。

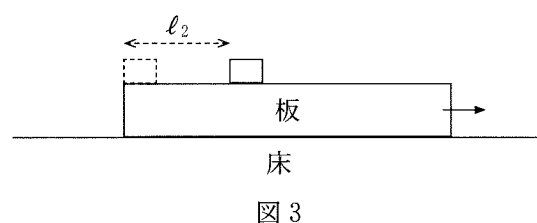


図 2 のように板の固定を外した。板も小物体も床に対して静止した状態で小物体に右向きに v_0 の速さを与えた。すると、板は小物体と異なる速さで小物体の運動と同じ方向に床の上を動き出した。小物体が動き出してから経過時間が t_2 のとき、小物体は板に対して静止した。その後、小物体は板と一体となって運動した。小物体が動き出してから板に対して静止するまでに、小物体が板に対して移動した距離は l_2 であり(図 3)、小物体が床に対して移動した距離は L であった。

問 3 床から見た、小物体の加速度の大きさを a 、板の加速度の大きさを A とする。小物体が板に対して動いているときの、小物体と板の運動方程式を a , g , m , A , M , μ から必要なものを用いてそれぞれ表せ。ただし、右向きを正とする。

問 4 t_2 を g , m , v_0 , M , μ を用いて表せ。

問 5 $M = 2m$ の場合、小物体と板のそれぞれの床に対する速さの時間変化を表す線を解答欄の図にそれぞれ描け。また、この場合の L 、および l_2 を g , v_0 , μ を用いてそれぞれ表せ。

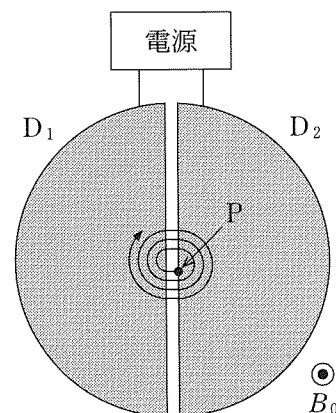
〔2〕 次の文章を読み、空欄 ア ～ エ を適切に埋め、下の問い(問1～4)に簡潔な説明を付けて答えよ。

磁束密度の大きさが B の一様で一定な磁場(磁界)が鉛直上向きにかけられた真空の空間で、質量 m 、正電荷 q をもつ粒子がローレンツ力のみを受けて水平面内を運動している場合を考えよう。粒子の運動エネルギーが E であるとき、粒子の速さは m 、 E を用いて ア と表される。粒子はローレンツ力を受け、その大きさは m 、 q 、 B 、 E を用いて イ と表される。このローレンツ力が向心力となり、粒子は等速円運動をする。これより、円運動の半径は m 、 q 、 B 、 E を用いて ウ と表される。この状況は半径 ウ の円軌道上を電流が流れていると考えることもできる。

問1 粒子の円運動の周期 T を m 、 q 、 B を用いて表せ。

問2 下線部の電流の大きさ I を、 m 、 q 、 B を用いて表せ。

次に、荷電粒子の加速器であるサイクロトロンについて考えよう。装置の概略と荷電粒子を加速する仕組みは次の通りである。D字形で中空の電極 D_1 、 D_2 を、図のように水平面内で正対させて設置する。装置は真空中にあり、 D_1 と D_2 の間には電源により電圧 V 、 $-V$ を一定の時間間隔 t で交互にかけることができるようにしておく。磁束密度の大きさが B_0 の一様で一定な磁場を鉛直上向き(紙面の裏から表に向かう向き)に装置全体の範囲でかける。今回は陽子を加速することを考える。電場(電界)の向きが D_2 から D_1 へ向かう向きである時に中心付近の点 P に陽子を発生させる。初速度 0 m/s の陽子は電場によって加速され D_1 に到達し、 D_1 内では磁場による力のみを受けて等速円運動する。半円を描いた後 D_1 から D_2 へ移る際には、電極間の電場の向きは反転していて陽子は2回目の加速をされる。陽子はその後も半周ごとに電極間を通過するが、そのたびに電場の向きが反転しており、結果として、渦巻き状の軌道を描きながら電極間を通過するたびに加速されていく。この一連の陽子の運動を成立させるためには t を陽子の円運動の周期の エ 倍に設定すれば良い。ただし、 D_1 と D_2 の隙間は非常に狭く、粒子が電極間を通過している間、電場は常に一様で一定であるものとする。陽子の運動は水平面内に限られるものとする。また、電気素量 e を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。



問3 $V = 1.0 \times 10^5 \text{ V}$ であるとき、15回加速された後の陽子の運動エネルギーを求めよ。

続けて、問3の条件で加速した陽子を別の電極を用いて速さは変えず向きのみを変えて装置外に取り出した。その陽子を単独で存在する原子 A の中心に向けて真空中を直進させることを想定しよう。陽子は A から距離 r まで近づき、その後逆戻りした。ただし、状況を単純にするため以下を仮定する。

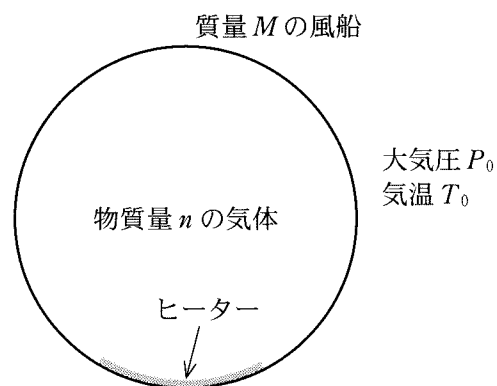
- ・ A は動かず、電子を伴っていない。
- ・ A と陽子の大きさは無視できる程小さい。
- ・ 陽子は A と陽子を結ぶ直線上のみを運動する。
- ・ A に向けて陽子を直進させはじめた場所に A がつくる電場の大きさは無視できる程小さい。
- ・ A および陽子がつくる電場以外の電場や磁場は存在しない。

問4 A の原子番号が74であるときの r を有効数字2桁で求めよ。ただし、真空中のクーロンの法則の比例定数 k を $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ とする。

〔3〕 次の文章を読み、空欄 ア ～ エ を適切に埋め、下の問い(問1～4)に簡潔な説明を付けて答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とする。

図のように、質量 M の風船に物質質量 n の気体を封入する。風船の内部にはシート状のヒーターを設置し、内部の気体の温度を変えることができるようにする。なお、状況を単純にするため以下を仮定する。

- ・この風船が存在する空間で大気圧 P_0 と気温(絶対温度) T_0 は一定である。
- ・風船は厚みを無視できる断熱材でできており、伸縮可能で風船内部の圧力は常に P_0 である。
- ・風船内部の気体の温度は一定である。
- ・大気(空気)を窒素分子と酸素分子からなる二原子分子理想気体とみなせる混合気体とし、モル質量(物質質量1モルあたりの質量)を m_a と表す。
- ・ヒーターの質量は M に比べて無視できるほど小さい。
- ・風船が受ける浮力の大きさは風船と同じ体積の空気の重さに等しい。



風船が受ける浮力と内部の気体を含めた風船全体にかかる重力がつり合う条件を考えよう。空気の密度は m_a , P_0 , R , T_0 を用いて ア と表される。風船の体積を V とすると、風船が受ける浮力の大きさは g , m_a , P_0 , R , T_0 , V を用いて イ と表される。風船内部の気体のモル質量を m とすると、内部の気体を含めた風船全体にかかる重力は g , m , n , M を用いて ウ と表されるので、 イ = ウ が成り立つとき、風船が受ける浮力と内部の気体を含めた風船全体にかかる重力がつり合う。

風船内部に、モル質量が m_1 の単原子分子理想気体を物質質量 n 封入した場合について考えよう。はじめ、風船内部の気体の絶対温度は T_0 、風船の体積は V_0 であった。ヒーターでゆっくりと加熱することで風船内部の気体に Q_1 の熱量を加えたとき、風船が受ける浮力と、内部の気体を含めた風船全体にかかる重力がつり合った。このときの風船の体積を V_1 、風船内部の気体の絶対温度を T_1 とすると V_1 は T_0 , T_1 , V_0 を用いて エ と表される。

問1 T_1 を m_1 , m_a , n , M , T_0 を用いて表せ。

問2 下線部の操作で風船内部の気体が外部に対してした仕事 W_1 を m_1 , m_a , n , M , R , T_0 を用いて表せ。

風船内部に、モル質量が m_2 の二原子分子理想気体を物質質量 n 封入した場合について考えよう。はじめ、風船内部の気体の絶対温度は T_0 、風船の体積は V_0 であった。ヒーターでゆっくりと加熱することで風船内部の気体に Q_2 の熱量を加えたとき、風船が受ける浮力と、内部の気体を含めた風船全体にかかる重力がつり合った。このとき、風船内部の気体の絶対温度は T_2 であった。

問3 $\frac{T_2}{T_1}$ を m_1 , m_2 , n , M を用いて表せ。

問4 $\frac{Q_2}{Q_1}$ を m_1 , m_2 , m_a , n , M を用いて表せ。必要であれば、絶対温度 T 、物質質量 n の二原子分子理想気体の内部エネルギーは $\frac{5}{2} nRT$ であることを用いてよい。