

令和4年度一般選抜試験(後期)

理 科 (問 題)

注 意

- 1) 理科の問題冊子は全部で37ページあり、問題数は、物理4問、化学4問、生物4問である。白紙・余白の部分は計算・下書きに使用してよい。
- 2) 別に解答用紙が3枚ある。解答はすべてこの解答用紙の指定欄に記入すること。指定欄以外への記入はすべて無効である。
- 3) 3枚の解答用紙のすべての所定欄に、それぞれ受験番号を記入すること。氏名を記入してはならない。なお、記入した受験番号が誤っている場合や無記入の場合は、当該科目の試験が無効となる。また、※印の欄には何も記入してはならない。
- 4) 理科は物理・化学・生物のうち2科目を選択して解答すること。選択しない科目の解答用紙には(受験番号は忘れず記入の上)用紙全体に大きく×印をつけて、選択しなかったことがはっきりと分かるようにすること。
- 5) 3科目全部にわたって解答したものを、および解答用紙3枚のうち1枚に×印のないものは、理科の試験全部が無効となる。
- 6) 問題冊子は持ち帰ること。
- 7) 解答用紙は持ち出してはならない。
- 8) 試験終了時には、解答用紙を裏返して、下から順に物理、化学、生物の解答用紙を重ねて置くこと。解答用紙の回収後、監督者の指示に従い退出すること。

物 理 (後期)

I 以下の文章中の空欄に適切な文字式を入れよ。

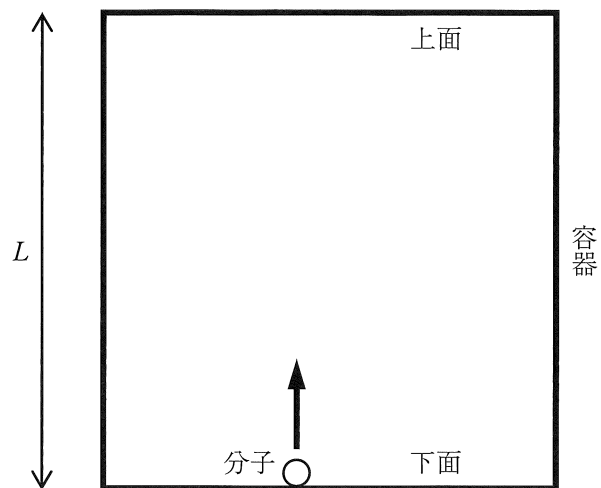
大気圧の起源が気体に作用する重力であることはよく知られている。しかし、空中で運動している気体分子に作用する重力がなぜ大気圧として計測できるのかは自明ではない。そこで、気体分子を重力のもとで運動する質点と考える。

図のように、直方体の密閉容器を一辺が鉛直方向になるように置き、その中に質量 m の気体分子を 1 個だけ入れる。容器の鉛直方向の高さは L である。重力加速度の大きさを g とする。簡単のために、分子は鉛直方向にのみ運動するとし、容器にはじょうぶな質量があるため分子の衝突によって動くことはないとする。なお、以下では力積は全て鉛直上向きを正とする。

この分子を容器の下面に置き、時刻 $t=0$ で鉛直上向きに大きさ v_0 の初速度を与えたところ、分子は容器の上面に到達することなく、途中で向きを変えて落下し下面に弾性衝突した。衝突の直前の分子の速さは 、衝突した時刻は である。分子が 1 回の衝突で下面に与える力積は である。この運動を続けた分子が単位時間のうちに下面に衝突する回数は 回なので、単位時間の中に分子が下面に与える力積は となる。

つぎに、同じく下面に置いた分子に時刻 $t=0$ で鉛直上向きに大きさ v_1 ($v_1 > v_0$) の初速度を与えたところ、分子は容器の上面に弾性衝突した。衝突の直前の分子の速さは 、衝突する時刻は である。分子が 1 回の衝突で上面に与える力積は である。その後、分子は鉛直下向きに運動して下面に弾性衝突した。衝突の直前の分子の速さは 、衝突した時刻は である。この運動を続けた分子が単位時間の間に上面と下面に与える力積は、それぞれ 、 であるので、容器全体が単位時間の間に受ける力積の総和は となる。

したがって、以上のどちらの場合でも、分子が容器に及ぼす平均の力が重力に等しいことがわかる。



II 図1のように、 xy 平面上に2つのスリット P_1 , P_2 が y 軸と平行になるように配置し、その間に平行平板コンデンサー C をおいた。コンデンサー内には磁束密度の大きさ B (紙面表から裏向き)の一樣な磁場と、 x 軸正の方向に大きさ E の一樣な電場がかけられている。荷電粒子を y 軸と平行に P_1 を通してコンデンサーに入射させた。荷電粒子の速さを調整することで、荷電粒子がコンデンサー内を直進し、 P_2 を通過できるようにした。このような荷電粒子に関して、以下の問に答えよ。また途中の考え方も記せ。ただし、荷電粒子にかかる重力の影響は無視してよい。

問 1 この荷電粒子の速さはいくらか。

P_2 を通過した荷電粒子は、磁束密度の大きさ B (紙面表から裏向き)の一樣な磁場がかかっている領域 S を通過し、 y 軸に到達する。 S はじゅうぶん大きな長方形で、その下辺が x 軸上にあり、 S の左下の頂点 Q の座標は $(d, 0)$ である。

問 2 質量 M 、電荷 $q(>0)$ の荷電粒子が、図1のように、 Q を中心とする半径 R の円弧を描きながら S を通過し、 y 軸に到達した。このとき B と E が満たすべき関係式を記せ。

問 3 質量 $2M$ で電荷 $q(>0)$ の荷電粒子が、図2のように、 x 軸上の点 Q' を中心とする円弧を描きながら S を通過し、 y 軸上のある点 Y に到達した。

- i) 荷電粒子が描く Q' を中心とする円弧の半径を、 R を用いて表せ。
- ii) この荷電粒子が、 S を出た直後の y 座標の値を、 R を用いて表せ。
- iii) Y の y 座標の値を求めよ。

問 4 質量が不明で電荷 $q(>0)$ の荷電粒子が、図3のように、 S を通過し、 y 軸上のある点に到達した。このとき荷電粒子は、 S を出た直後から y 軸に到達するまでに、 y 軸正の方向に $0.1d$ 進んでいた。この荷電粒子の質量はいくらか。ただし、 a が1よりじゅうぶん小さいとき、 $\sqrt{1+a}=1+\frac{1}{2}a$ としてよい。

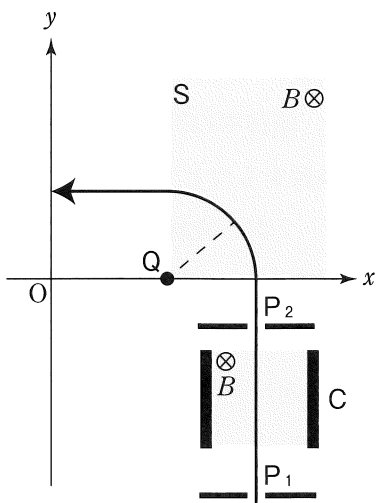


图 1

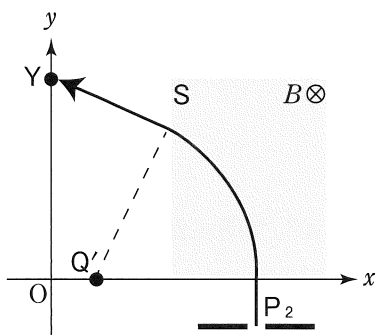


图 2

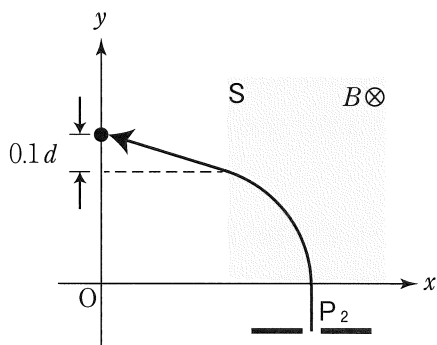


图 3

Ⅲ 流体中の粒子の速度を測定する方法として、レーザードップラー法という方法がある。その簡略化した原理を以下のように考えてみる。

レーザー光線を光線 A と光線 B の 2 本に分割し、流体中の計測を行いたい場所で交差させる。このレーザー光線は流体中で λ の波長をもつとする。図 1 は光線 A と光線 B の両方の中心軸を含む断面を示している。2 本の光線が交差するひし形 PQRS の領域の両端の点 P と点 R を通るように x 軸をとり、同じ面内に y 軸をとる。光線 A と光線 B は、図のように x 軸と $\pm 30^\circ$ の角度をなし、ともに 6λ の幅を持つ。レーザー光線は平面波としての性質をもち、点 P における光線 A と光線 B の位相は等しいものとする。問 4 以外は途中の考え方も記せ。

問 1 線分 PR 上には、光線 A の位相が点 P と等しい点は何個あるか。ただし、点 P は数に含めないものとする。

問 2 線分 PQ 上には、光線 A の位相が点 P と等しい点は何個あるか。ただし、点 P は数に含めないものとする。

問 3 ひし形 PQRS 内では、光線 A と光線 B が干渉して明線が生じる。となり合う明線の間隔はいくらか。

問 4 ひし形 PQRS 内に生じる明線を、解答欄に実線で図示せよ。

図 1 に示すように、 y 方向に v の速さで運動する粒子が、ひし形 PQRS 内の点 S と点 Q を結ぶ線の近くを通過している途中で、粒子が反射した光の強度を時間 t に対して測定すると、図 2 のように、 Δt の周期で強度が極大となった。

問 5 粒子の速さ v は Δt を用いてどのように表されるか。

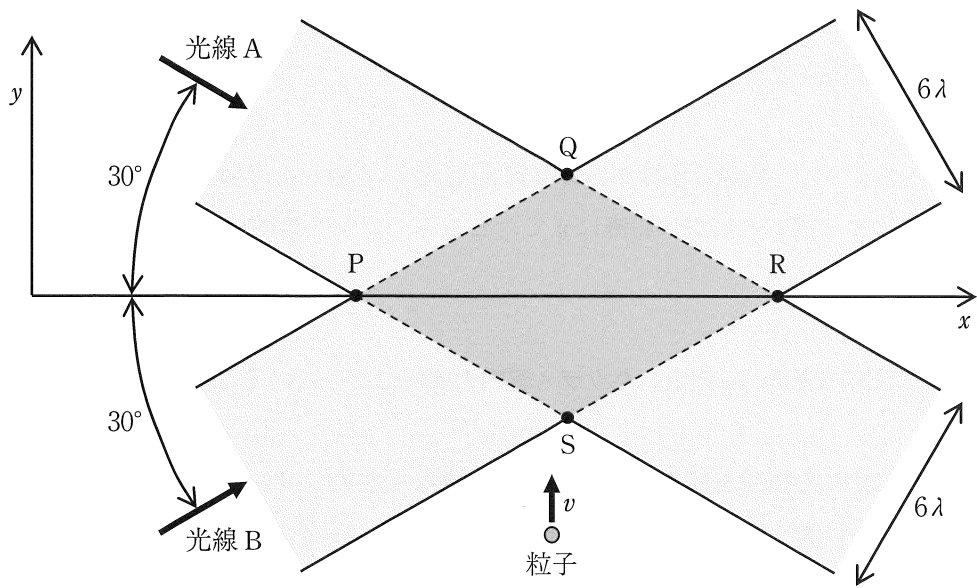


圖 1

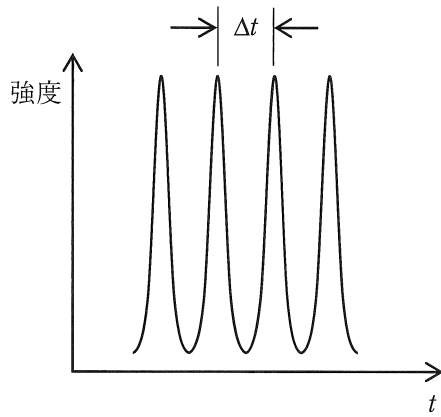


圖 2

IV 大気圧を p_0 、重力加速度の大きさを g として、以下の間に答えよ。問5以外は途中の考え方も記せ。

図1のように、常温で液体である物質 X(密度 ρ) で満した片側が閉じたガラス管を、同じ X で満した容器に鉛直に立てたところ、ガラス管内の液面がある高さで静止した。

問 1 容器の液面から測定したガラス管内の液面の高さはいくらか。

鉛直に立てた周囲を断熱材で囲まれた一様な太さのシリンダー(体積 $2V_0$)の底に、滑らかに動く薄くて軽い仕切り板が入っている。シリンダーの底にはヒーターが組み込まれている。シリンダーに X を問1で求めた高さと同じになるまで注いだ。その後、シリンダーの底にあるガス導入口から窒素ガスをゆっくりと入れたところ、図2のように X の液面がシリンダーの上端に達した。このとき、X と窒素ガスの体積は同じであった。仕切り板を通した熱の移動はなく、X は窒素ガスの入ったシリンダー内に漏れることはない。窒素ガスは理想気体としてふるまうものとする。

問 2 窒素ガスの圧力はいくらか。

次に、シリンダーに組み込まれたヒーターで窒素ガスを加熱したところ、仕切り板はある高さまでゆっくりと上昇し、その後、加速しながら上昇しシリンダーの上端に達した。

問 3 仕切り板が上昇している間、仕切り板が窒素ガスに加える圧力 p を窒素ガスの体積 V を用いて表せ。

問 4 仕切り板がある高さまでゆっくりと上昇する過程において、窒素ガスの温度の最大値は加熱開始前の温度の何倍か。また、その時の窒素ガスの体積はいくらか。

問 5 仕切り板が加速しながら上昇しシリンダーの上端に達するまでの過程において、以下の①～⑥の文のうち正しいものをすべて選び記号で答えよ。正しいものがなければ「該当なし」とせよ。

- ① 窒素ガスの内部エネルギーの変化は常に負である。
- ② 窒素ガスがヒーターから得た熱は、大気圧に逆らって X を上昇させるのに必要な仕事と等しい。
- ③ 仕切り板がシリンダーの上端に達した瞬間の窒素ガスの温度は、加熱開始前の窒素ガスの温度と等しい。
- ④ 窒素ガスの圧力は、仕切り板が X から受ける圧力と大気圧との和よりも常に大きい。
- ⑤ 仕切り板がシリンダーの上端に達するまでに、シリンダー内のガスがする仕事は、ガスの種類によらない。
- ⑥ 途中でヒーターを切ると、仕切り板はすぐに降下し始める。

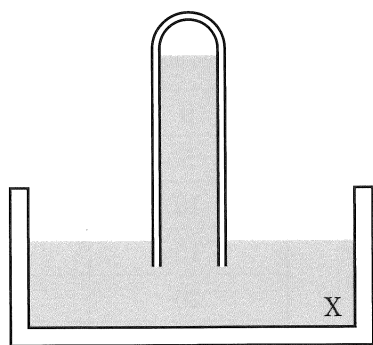


図 1

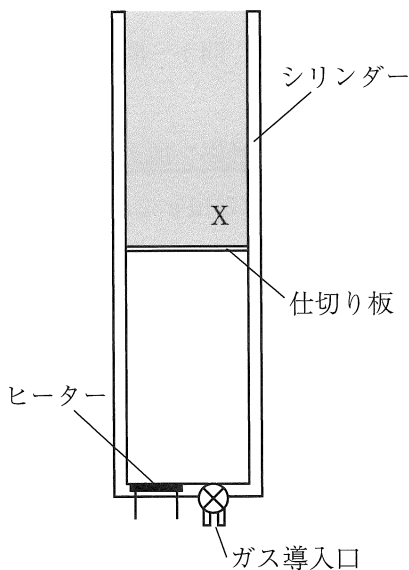


図 2