

## 令和 7 年度入学試験問題(前期)

# 理 科(物 理)

### 【注 意 事 項】

1. 試験開始の合図があるまで、この問題冊子を開いて見てはならない。
2. あらかじめ選択を届け出た科目について解答すること。それ以外の科目について解答しても無効である。
3. 本冊子には、**①** から **③** までの 3 問題が印刷されていて、合計 6 ページある。  
落丁，乱丁，印刷の不鮮明な箇所等がある場合には，申し出ること。
4. 解答用紙は A—1 ～ A—3 を別に配付している。解答は，問題と同じ番号の解答用紙に記入すること。指定の箇所以外に記入したものは無効である。
5. 解答用紙の指定された欄に，学部名および受験番号を記入すること。
6. 提出した解答用紙以外は，すべて持ち帰ること。

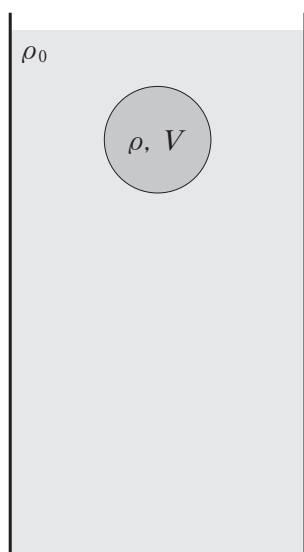
**1** 図のように、水で満たされた容器の中で静止させた状態から、密度  $\rho$ 、体積  $V$  の球を水中で回転させることなく静かに鉛直下向きに落下させる。球が落下している間は、球には重力と浮力のほかに、落下する速さを  $v$  として大きさが  $kv$  である鉛直上向きの抵抗力のみがはたらくとして、以下の問いに答えなさい。ただし  $k(k > 0)$  は比例定数であり、球の密度や速さによらず一定とする。なお、球が落下を開始してから十分長い時間が経過した後でも、球が容器の底に達することはない。水の密度  $\rho_0$  は球の密度  $\rho$  よりも小さく、水深によらず一定とする。また、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

問 1 球にはたらく浮力の大きさを答えなさい。

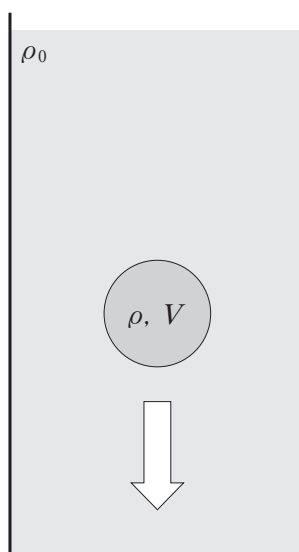
問 2 落下を開始した後の球の運動を考える。

- (1) 速さが  $v$ 、加速度の大きさが  $a$  で球が水中を落下しているときの運動方程式を、鉛直下向きを正として答えなさい。
- (2) 球が落下を開始した直後の球の加速度の大きさ  $a_1$  を答えなさい。
- (3) 落下を開始してから十分長い時間が経過した後の球の速さについて簡潔に述べなさい。また、そうなる理由を説明しなさい。ただし、球の速度や加速度の式を答えなくてもよい。

問 3 体積  $V$  の軽い球と重い球を、静止させた状態から、水中で回転させることなく静かに鉛直下向きにそれぞれ落下させる。ただし、軽い球の密度を  $3\rho_0$ 、重い球の密度を  $9\rho_0$  とする。十分長い時間が経過した後、重い球が落下する速さは、軽い球が落下する速さの何倍になるか答えなさい。



静止させた状態



落下中

図

2

単原子分子の理想気体を考える。理想気体とは分子の体積が0であり、分子間にはたらく力が存在しないと仮定した気体である。気体定数は  $R$  として、以下の問いに答えなさい。

問 1 単原子分子の理想気体では、内部エネルギー  $U$  は運動エネルギーの総和となる。そのため、気体の物質量を  $n$  としたとき、分子 1 個の質量を  $m$ 、速さの 2 乗平均を  $\overline{v^2}$  とし、アボガドロ定数  $N_A$  を用いると  $U = ( \text{ア} )$  と表せる。一方、気体の体積  $V$  を用いて、気体の圧力  $p$  は  $\frac{nN_A m \overline{v^2}}{3V}$  であることを導くこともできる。気体の温度を  $T$  として、理想気体の状態方程式と、 $U = ( \text{ア} )$  および  $p = \frac{nN_A m \overline{v^2}}{3V}$  から、 $U$  は  $n$ 、 $T$ 、 $R$  だけで表せて  $U = ( \text{イ} )$  となる。

上の ( ア ) と ( イ ) に入る適切な式を、 $n$ 、 $m$ 、 $\overline{v^2}$ 、 $N_A$ 、 $T$ 、 $R$  のうち、必要な記号を用いて表しなさい。( イ ) については導く過程も説明しなさい。

問 2 図 1 のように、棒により位置を変えることができる仕切りを使って、熱を通さない容器に単原子分子の理想気体を閉じ込めた。仕切りはなめらかに移動でき、熱は通さない。内部にあるヒーターから熱を加えたとき、仕切りを固定した場合と、気体の圧力を一定に保ったままゆっくりと仕切りを移動させた場合とで、同じ熱量を加えても気体の温度上昇は同じにはならない。熱量を加えたときの温度上昇を考える場合、前者の定積変化では定積モル比熱という量が、後者の定圧変化では定圧モル比熱という量がしばしば使われる。

(1) モル比熱とは何かを説明しなさい。また、定積モル比熱と定圧モル比熱の大小関係について  $>$ 、 $<$ 、 $=$  のいずれかの記号で答え、その理由を簡潔に述べなさい。

(2) 最初に閉じ込めた気体の物質量は  $n_0$ 、体積は  $V_0$ 、温度は  $T_0$ 、圧力は  $p_0$  であったとする。仕切りを固定せず、気体の圧力  $p_0$  を一定に保ったままヒーターにより熱量  $Q$  を加えたところ、気体の温度は  $T_1$  に上昇し、体積は  $V_1$  に増加した。熱力学の第 1 法則と問 1 で導いた  $U = ( \text{イ} )$  の式を使って、閉じ込めた気体の定圧モル比熱  $C_p$  を、 $n_0$ 、 $N_A$ 、 $T_0$ 、 $T_1$ 、 $p_0$ 、 $R$  のうち、必要な記号を用いて表しなさい。

問 3 図 2 のように、仕切りによって左右に気体を閉じ込めている容器がある。

太さが無視できる棒によって仕切りはなめらかに移動させることができる。容器、仕切り、棒は熱を通さない。いま、左右どちらにも物質量  $n_0$  の単原子分子の理想気体を閉じ込めており、どちらの気体も体積は  $V_0$ 、温度は  $T_0$ 、圧力は  $p_0$  であるとする。この最初の状態から次の操作 1 と 2 を順に行った。

操作 1：仕切りを固定しておき、ヒーターで気体に熱量  $Q$  を加えた。このとき左の気体の温度は  $T_1$ 、圧力は  $p_1$  になった。

操作 2：棒を外から支えながら仕切りをゆっくりと移動させ、左右の気体の圧力が等しくなるようにした。等しくなったときの圧力は  $p_2$  であった。このとき左の気体の体積は  $\Delta V$  だけ増えて温度は  $T_2$  になり、右の気体の体積は  $\Delta V$  だけ減り温度は  $T_2'$  になった。

(1)  $T_1$  と  $p_1$  を、 $n_0$ 、 $T_0$ 、 $Q$ 、 $p_0$ 、 $R$  のうち、必要な記号を用いて表しなさい。

(2) 最初に  $n_0 = 2.00 \text{ mol}$ 、 $V_0 = 5.00 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 、 $T_0 = 300 \text{ K}$  であったとする。操作 1 では  $Q = 3.00 \times 10^3 \text{ J}$  の熱量を加え、実際に実験をしてみたところ、 $\Delta V = 5.00 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ 、 $p_2 = 1.20 \times 10^5 \text{ Pa}$  という値を得た。この結果から温度  $T_2$  と  $T_2'$  を求め、解答欄に適切な数値を記入して答えなさい。ただし、 $R = 8.31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$  とし、計算した結果の数値は小数第 1 位を四捨五入して整数で答えなさい。

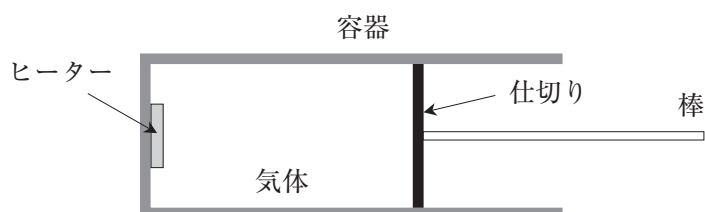


図 1

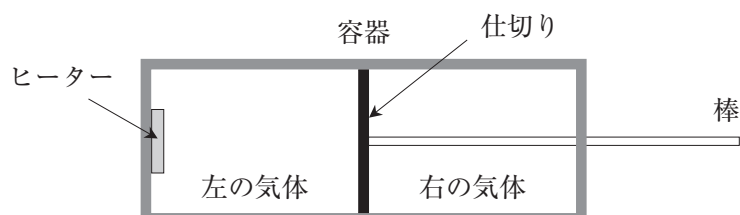


図 2

- 3** 原子と原子核に関する以下の問いに答えなさい。なお、問2の(3)および問3の(1)、(2)では、 $x \times 10^n$  ( $1 \leq x < 10$ ,  $n$  は整数) の形で答えなさい。その際、 $x$  は小数第2位を四捨五入して小数第1位までとしなさい。

問1 原子核の数が10時間ではじめの  $\frac{1}{32}$  になる放射性物質があるとする。この放射性物質の原子核の数がはじめの  $\frac{1}{128}$  になるのは何時間後になるか数値で答えなさい。

問2  ${}^{238}_{92}\text{U}$  は安定な原子核になるまで放射性崩壊を繰り返す。

- (1)  ${}^{238}_{92}\text{U}$  が  $\alpha$  崩壊を6回、 $\beta$  崩壊を3回起こしたときの原子核の質量数と原子番号はそれぞれいくらか答えなさい。
- (2)  ${}^{238}_{92}\text{U}$  は  $\alpha$  崩壊を  $X$  回、 $\beta$  崩壊を  $Y$  回起こして安定な  ${}^{206}_{82}\text{Pb}$  になる。 $X$  と  $Y$  はそれぞれいくらか答えなさい。
- (3) (1)で生成された原子核からは1個あたりのエネルギーが  $9.74 \times 10^{-14} \text{ J}$  の光子が放射される。この光子の真空中における波長は何 m になるか数値で答えなさい。なお、プランク定数を  $6.63 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 、真空中の光速を  $3.00 \times 10^8 \text{ m/s}$  とする。

問3 図のように、上部に穴が空いている鉛容器の中に放射性物質を入れた。この鉛容器からは  $\alpha$  線が図の真上方向のみに放射されている。この容器を真空中に置き、強さ  $E$  の電場と磁束密度  $B$  の磁場をかけた。ここで、 $E$  と  $B$  は互いに直交し、図に示す方向に一樣に分布している。なお、重力の影響は無視してよい。

- (1)  $E = 1.60 \times 10^5 \text{ N/C}$ 、 $B = 1.00 \times 10^{-2} \text{ T}$  のとき、電場と磁場中で完全に直進する  $\alpha$  線が観測された。この  $\alpha$  線の速さは何 m/s になるか数値で答えなさい。
- (2) (1)で求めた速さにあるときの  $\alpha$  線の運動エネルギーは何 eV になるか数値で答えなさい。ただし、電気素量を  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、 $\alpha$  線の質量を  $6.64 \times 10^{-27} \text{ kg}$  とする。
- (3) (1)の状態から電場の強さを0とし、磁束密度を保ったままにしたとき、図の①から③のうち  $\alpha$  線の進行方向を表す矢印として最も適切であるのはどれか答えなさい。

