

## 令和4年度入学試験問題（追試験）

# 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、学部名及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1のように、長さ $2R$ の軽い糸の端を水平な床から高さ $2R$ のところにある点Oに固定し、もう一方の端に質量 $m$ の小球aをつけて、点Oの真下にある床上の点Aに置いた。また、床の一部は高さ $R$ の台になっており、その上面の端点Eに質量 $2m$ の小球bを置いた。次に、点Aにある小球aに対して、点Cまで糸がたるまずに円運動するために必要な最小限の速さを水平右向きに与えた。すると、小球aは点Bを通過し点Cまで鉛直面内を円運動した。点Bは、図1に示したようにOAとOBのなす角が $\theta$ となる点である。小球aが点Cに到達すると、糸が点Dにある釘にかかり、小球aは点Dを中心とした半径 $R$ の円運動をし、点Eに置いてあった小球bと衝突した。点Eは点Dの真下にあり、点C、点Dはともに点Oと同じ高さにある。

その後、小球bは水平方向に飛び出し、床上の点Fで一度はねかえった(図2)。はねかえった後の最高点が点Gである。小球aと小球bの衝突および小球bと床との衝突はともに非弾性衝突であり、その反発係数はどちらも $\frac{1}{2}$ である。

重力加速度の大きさを $g$ として以下の問いに答えなさい。ただし、床はなめらかであり、2つの小球の大きさおよび空気抵抗は無視できるものとする。

問1 点Aで小球aに与えられた速さを求めなさい。

問2 小球aが点Bを通過する瞬間の速さを求めなさい。また、そのとき糸から小球aにはたらいっている張力の大きさを求めなさい。

問3 小球aが点Cを通過する直前と直後それぞれについて、糸から小球aにはたらいっている張力の大きさを求めなさい。

問4 小球aが小球bと衝突した直後の小球a、小球bそれぞれの速さを求めなさい。

問5 点Aから点Gまでの水平方向の距離および鉛直方向の距離をそれぞれ求めなさい。



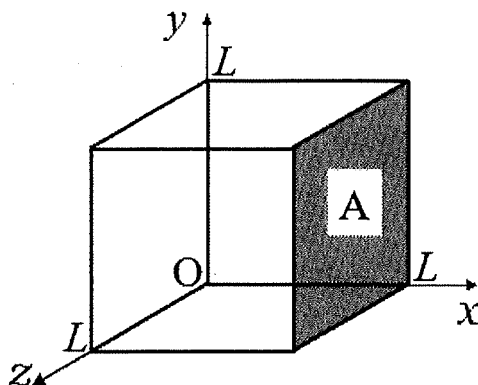
2 図のような 1 辺の長さが  $L$  の立方体の容器の中に、質量  $m$  の分子からなる理想気体が閉じ込められている。図のように  $x, y, z$  軸をとり、速度の  $x$  成分が  $v_x$  である分子 1 個の、 $x$  軸方向に垂直な壁 A に対する弾性衝突に注目することにより、分子の運動と気体の圧力の関係を求める。壁に対する分子の衝突は常に弾性衝突であり、さらに分子の回転および変形や分子どうしの衝突は考えないこととして、以下の問いに答えなさい。

問 1 1 回の衝突で壁 A がこの分子から受ける力積を、 $L, m, v_x$  のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 2 壁 A と衝突した分子は、反対側の壁に衝突した後、再度壁 A に衝突する。十分長い時間  $t$  の間にこの分子から壁 A が受ける力積の合計  $I_x$  を、 $L, m, v_x, t$  のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 3 問 2 において求めた  $I_x$  と同様に、この分子から  $y, z$  軸に垂直な壁が時間  $t$  の間に受ける力積の合計をそれぞれ  $I_y, I_z$  とする。この分子がもつ運動エネルギーを、 $L, m, I_x, I_y, I_z, t$  のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問 4 容器内のすべての分子から、壁が単位時間あたりに受ける力積の合計は、気体の圧力により壁が受ける力の大きさと一致する。このことをふまえて、容器内のすべての分子がもつ運動エネルギーを、気体の圧力  $p$  および  $L, m$  のうち、必要なものを用いて表しなさい。



問5 窒素が理想気体としてふるまうとし、窒素分子の二乗平均速度について考える。ただし、気体分子の二乗平均速度は、問4で求めた容器内のすべての分子がもつ運動エネルギーを、分子すべてに等しく分配したときの気体分子の速さと等しい。

(1) 温度 280 K での窒素分子 (1.0 mol 当たりの質量 :  $2.8 \times 10^{-2}$  kg) の二乗平均速度は何 m/s か、有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、気体定数を  $8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$  としなさい。また、必要であれば 10 以上 100 以下の実数の平方根について、その小数第一位を四捨五入して得られた整数の平方根としてよい (例えば、 $\sqrt{48.7} \doteq \sqrt{49} = 7.0$ )。

(2) (1)で求めた窒素分子の二乗平均速度は、窒素中を伝わる音の速さと比べて何倍になるか、有効数字 2 桁で求めなさい。ただし、280 K の窒素中を伝わる振動数 440 Hz の音波の波長を 0.78 m として音速を求めなさい。

**3** 図のように、極板 A と極板 B が互いに向かい合っ平行におかれ、極板 A が接地されているコンデンサーを考える。極板 B には正電荷  $Q$  がたくわえられており、極板 A の電位を 0 とする。また、極板の面積は  $S$ 、極板間の距離は  $L$  である。(ア) では極板間は真空に保たれ、 $S$  が十分大きいとき一様な電場が生じているものとする。さらに、この極板間に厚さ  $t$  の金属と誘電体 (誘電率  $\epsilon$ ) を、それぞれ (イ) と (ウ) のように、極板に接触させずに平行に入れる。ここで、金属あるいは誘電体の左端と極板 A の距離は  $t_1$  である。真空の誘電率を  $\epsilon_0$  として以下の問いに答えなさい。

問1 (ア) の極板間について、極板 A から距離  $x$  ( $0 < x < L$ ) の位置における電場の強さおよび電位を、 $x, \epsilon_0, S, Q, L$  のうち必要なものを用いて表しなさい。

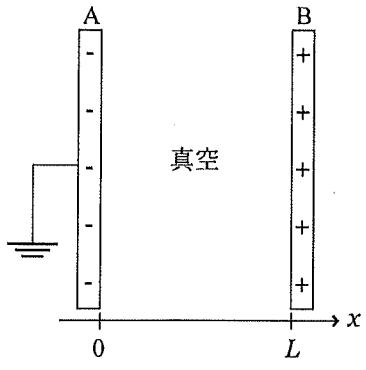
問2 (イ) の極板間について、極板 A から距離  $x$  の位置における電位を、 $x, \epsilon_0, t, t_1, S, Q, L$  のうち必要なものを用いて表しなさい。その際、領域を 3 つ ( $0 < x < t_1, t_1 \leq x < t_1+t, t_1+t \leq x < L$ ) に分けて答えなさい。

問3 (ウ) の極板間について、極板 A から距離  $x$  の位置における電位を、 $x, \epsilon_0, \epsilon, t, t_1, S, Q, L$  のうち必要なものを用いて表しなさい。その際、領域を 3 つ ( $0 < x < t_1, t_1 \leq x < t_1+t, t_1+t \leq x < L$ ) に分けて答えなさい。

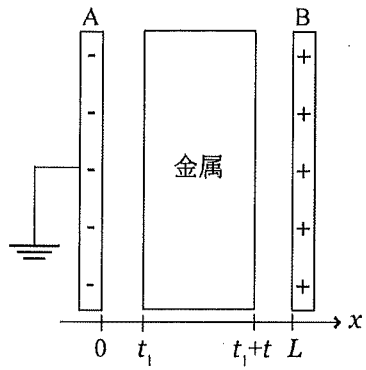
問4 問1から問3の結果をふまえて、(イ) と (ウ) のコンデンサーの電気容量を、(ア) のコンデンサーの電気容量を  $C_0$  として、 $C_0, \epsilon_0, \epsilon, t, t_1, L$  のうち、必要なものを用いて表しなさい。

問5 (イ) と (ウ) のコンデンサーにたくわえられた静電エネルギーを、問4の  $C_0$  および  $\epsilon_0, \epsilon, t, t_1, Q, L$  のうち、必要なものを用いてそれぞれ表しなさい。

(ア)



(イ)



(ウ)

