

# 物 理

(問 題)

2020 年度

〈2020 R02140015 (物理)〉

## 注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は 2 ～ 7 ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、H B の黒鉛筆または H B のシャープペンシルで記入すること。
4. 記述解答用紙記入上の注意
  - ( 1 ) 記述解答用紙の所定欄(2 カ所)に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入すること。
  - ( 2 ) 所定欄以外に受験番号・氏名を記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
  - ( 3 ) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入すること。

|      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 数字見本 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

- ( 4 ) 受験番号は右詰めで記入し、余白が生じる場合でも受験番号の前に「0」を記入しないこと。

(例) 3825 番⇒

|   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|
| 万 | 千 | 百 | 十 | 一 |
|   | 3 | 8 | 2 | 5 |

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
7. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
8. 試験終了後、問題用紙は持ち帰ること。

[ I ] 図 I - 1 のように水平面上に高さ  $h$  の斜面 AC がある。また、図 I - 2 のように水平面上に高さ  $h$  の斜面 AD がある。斜面 AC の方は水平な床 CD と接続されて配置してある。BD と  $B_0D_0$  の長さは等しく、AC と CD の長さは等しい。そして AC および CD の長さを  $L_1$  とし、 $A_0D_0$  の長さを  $L_0$  とする。以下の設問で小物体を斜面からすべらせるが、両斜面および床面はなめらかであり、さらに斜面と床のつなぎ目では小物体は面から離れずなめらかに運動する。重力加速度の大きさを  $g$  として以下の設問に答えよ。

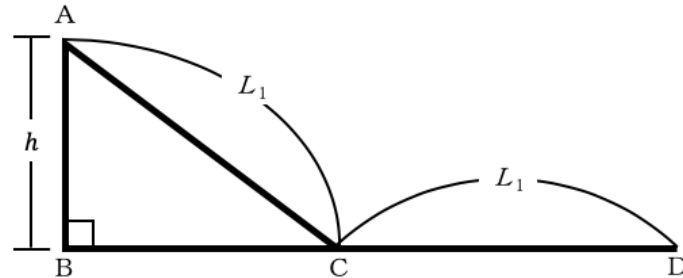


図 I - 1

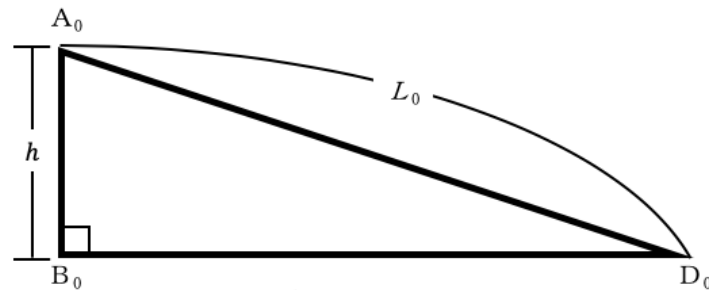


図 I - 2

問 1 図 I - 1 で、質量  $m$  の小物体  $a$  を斜面の頂点 A から静かにすべらせる。小物体  $a$  が斜面をすべっているときの斜面方向の加速度の大きさ、および CD を通過中の速さを、 $m, g, h, L_1$  の中から必要な記号を用いて表せ。

問 2 質量  $m$  の小物体  $a$  を、図 I - 1 の斜面の頂点 A から静かにすべらせる場合と、図 I - 2 の斜面の頂点  $A_0$  から静かにすべらせる場合を考える。経路 ACD の長さは経路  $A_0D_0$  の長さより長い、 $\angle A_0D_0B_0$  の大きさによっては、小物体  $a$  は図 I - 2 の  $D_0$  に到着するよりも短い時間で図 I - 1 の D へ到着する。そのときの  $L_0$  と  $L_1$  の関係を求めよ。さらに、 $\cos \angle A_0D_0B_0$  が満たす条件を表せ。

問 3 次に、図 I - 1 の床 CD の上に質量  $m$  の小物体  $b$  を静止させておく。小物体  $a$  を斜面の頂点 A から静かにすべらせて、小物体  $b$  と衝突させる。衝突では熱などが発生し、2 つの小物体の力学的エネルギーの和が  $Q$  だけ減少する。ただし  $Q < \frac{mgh}{2}$  とする。この衝突の反発係数（はねかえり係数）を、 $m, g, h, L_1, Q$  の中から必要な記号を用いて表せ。

問4 小物体  $b$  を取り除き、図 I - 3 のように、図 I - 1 の右側に高さ  $\frac{h}{2}$  のなめらかではない長さ  $L_2$  の斜面 DE を接続する。小物体  $a$  を図 I - 3 の頂点 A から静かにすべらせると、斜面 DE はなめらかではないので一様な摩擦が生じ、ちょうど頂点 E で小物体  $a$  の速さが 0 となった。そのときの小物体  $a$  と面 DE の間の動摩擦係数はいくらか。 $m, g, h, L_1, L_2$  の中から必要な記号を用いて表せ。ただし、斜面 DE と床のつなぎ目では、小物体  $a$  は面から離れず運動を続けるとする。

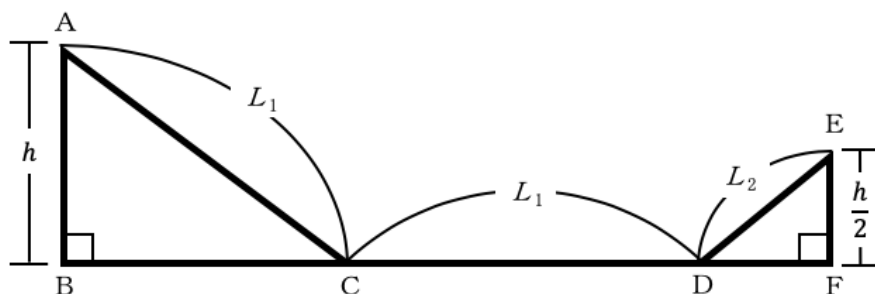
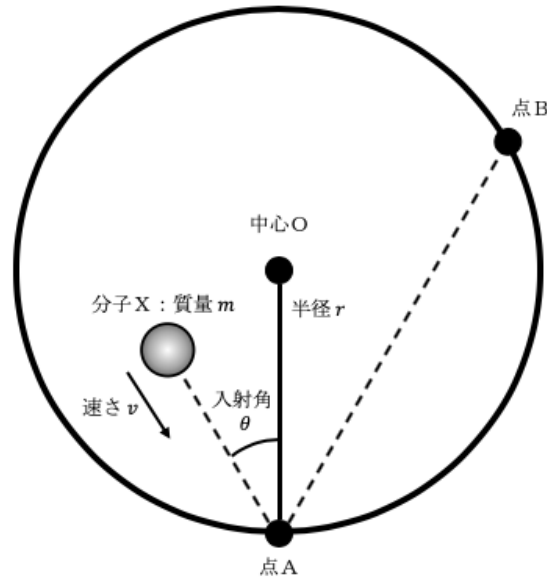


図 I - 3

問5 上の問4で、小物体  $a$  が D から E へ移動するときの運動エネルギーと位置エネルギーをグラフに表せ。ただし、グラフでは小物体  $a$  の位置の DF 方向の成分、つまり D からの水平距離を横軸にとり、 $m = 0.1 \text{ kg}$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ ,  $h = 0.6 \text{ m}$ ,  $L_1 = 1.0 \text{ m}$ ,  $L_2 = 0.5 \text{ m}$ , DF の長さを  $0.4 \text{ m}$  とする。運動エネルギーを実線(———), 位置エネルギーを点線(-----)として、ていねいに描くこと。

[ Ⅱ ] 図Ⅱ - 1は、なめらかな内壁をもつ半径  $r$  の球形の容器を、中心を通る平面で切った時の断面図である。その容器の中に質量  $m$  の単原子分子の理想気体が入っている。気体分子は速さ  $v$  で互いに衝突することなく飛び回っており、容器の内壁と弾性衝突を繰り返しているとする。問1から問4までは気体分子の大きさは無視する。また、この問題[ Ⅱ ]全体において、分子間に働く力と重力の影響は無視できるものとして以下の設問に答えよ。



図Ⅱ - 1

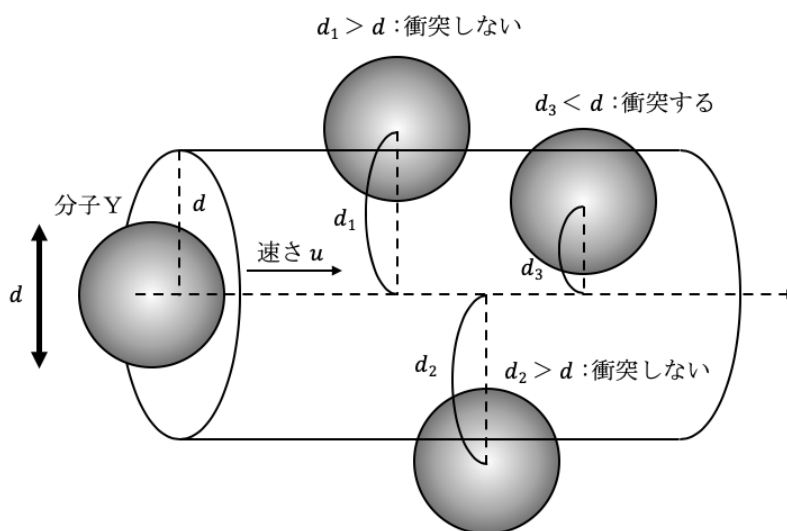
問1 図Ⅱ - 1では、分子Xが入射角  $\theta$  で点Aに衝突する様子が描かれている。この衝突によって気体分子が容器の内壁に与える力積の大きさを、 $m, r, v, \theta$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問2 分子Xが、点Aに衝突してから次に点Bに衝突するまでの時間を、 $m, r, v, \theta$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問3 分子Xが時間  $t$  の間に容器の内壁と衝突する回数を、 $m, r, t, v, \theta$ の中から必要な記号を用いて表せ。また、分子Xが時間  $t$  の間に容器の内壁に与える力積の大きさを、 $m, r, t, v, \theta$ の中から必要な記号を用いて表せ。

問4 容器内に  $n$  [mol] の分子が入っているとする。分子の速さの2乗平均を  $\overline{v^2}$  とし、アボガドロ定数を  $N_A$  とするとき、分子全体が容器の内壁を押す力ならびに容器内の圧力を、 $m, n, N_A, r, \overline{v^2}$ の中から必要な記号を用いて表せ。

これまでの、容器内の気体分子は互いに衝突しないと仮定していた。ここからは分子を直径  $d$  の球と考え、互いに衝突するものとする。図Ⅱ - 2 では、同一の気体分子が単位体積あたりに  $\rho$  個存在し、一番左の分子 Y が右方向に速さ  $u$  で運動する様子が模式的に示されている。なお、ここでは単純化して、着目している分子 Y のみが図Ⅱ - 2 のように運動しており、他の分子はすべて静止しているものとする。また、分子 Y は他の分子と衝突した際に、速さを変えずに直進を続けるものとする。図Ⅱ - 2 では、断面が直径  $2d$  の円筒領域を考えて、分子 Y が他の分子と衝突する場合と、しない場合を示している。



図Ⅱ - 2

問 5 分子 Y が時間  $t$  の間に衝突する分子の数、すなわち衝突の回数を、 $d$ ,  $\rho$ ,  $t$ ,  $u$  を用いて表せ。

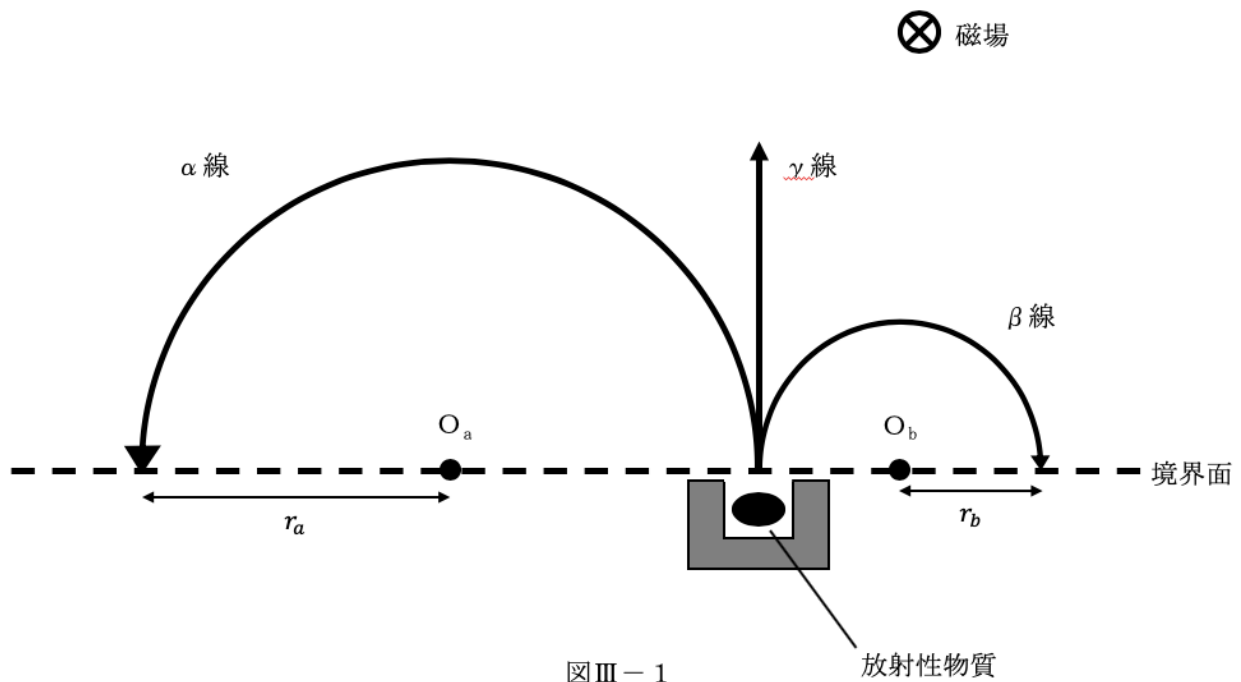
問 6 分子 Y が、他の分子と衝突してから次に他の分子と衝突するまでの移動距離の平均 [これを平均自由工程という] は、(単位時間あたりに分子が移動する平均距離)  $\div$  (単位時間あたりに分子が衝突する回数) と定義できる。この定義式を用いると、平均自由工程はいくらになるか。 $d$  と  $\rho$  を用いて表せ。

[ Ⅲ ] 以下の設問に答えよ。

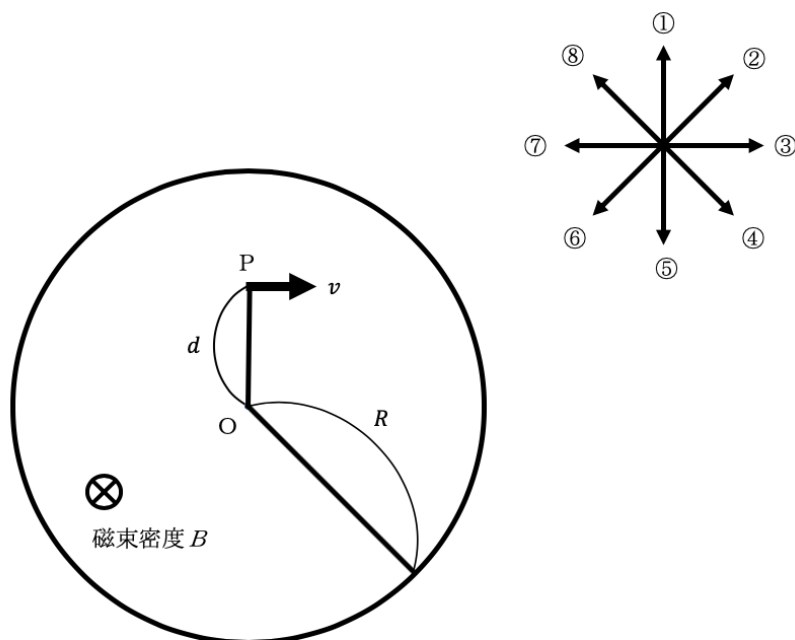
問 1  ${}^{228}_{88}\text{Ra}$  (ラジウム) は  $\alpha$  崩壊や  $\beta$  崩壊を繰り返して  ${}^{208}_{82}\text{Pb}$  (鉛) に変化するが、 $\alpha$  崩壊と  $\beta$  崩壊をそれぞれ何回おこなうか。

問 2  ${}^{228}_{88}\text{Ra}$  の半減期を 6 年とする。1g の  ${}^{228}_{88}\text{Ra}$  は何年経つと  $\frac{\sqrt{2}}{8}$  g になるか。

問 3 放射性物質から出る  $\alpha$  線、 $\beta$  線、 $\gamma$  線を、真空中で一様な磁場の中を通過させたときの様子を模式的に描くと、図Ⅲ - 1 のように 3 種の軌道になる。ただし、磁場の方向は紙面の表から裏に向かっている。また、これらの放射線は磁場が存在する領域の境界面に対して、垂直に入射しており、境界面は紙面に対して垂直である。以下において、 $\alpha$  線の粒子を  $\alpha$  粒子と呼び、 $\beta$  線の粒子を  $\beta$  粒子と呼ぶ。ただし、それらの大きさは非常に小さいので、体積を無視できるものとする。一方、 $\alpha$  粒子および  $\beta$  粒子の質量はそれぞれ  $m_a$ 、 $m_b$ 、磁場の領域に入るとき速さは  $v_a$ 、 $v_b$  とする。 $\alpha$  粒子と  $\beta$  粒子は、それぞれ中心を  $O_a$  とする半円ならびに中心を  $O_b$  とする半円の軌道を描いて磁場の領域から出る。それらの軌道半径を  $r_a$ 、 $r_b$  とする。また、電気素量を  $e$  とする。 $\alpha$  粒子と  $\beta$  粒子の質量比  $\frac{m_a}{m_b}$  を、 $r_a$ 、 $r_b$ 、 $v_a$ 、 $v_b$ 、 $e$  の中から必要な記号を用いて表せ。



問4 図Ⅲ - 2のように、真空中に半径  $R$  の円形の領域がありその円の中心を  $O$  とする。この円形領域内に、紙面の表から裏に向かう一様な磁場があり、その磁束密度の大きさを  $B$  とする。円形領域内において、円の中心  $O$  から  $d$  ( $d < R$ ) 離れた点  $P$  から、 $OP$  と磁場に垂直に  $\alpha$  粒子または  $\beta$  粒子を放出する。速さはどちらの場合も  $v$  とし、方向は図Ⅲ - 2 のとおりとする。放出された粒子が  $\alpha$  粒子、 $\beta$  粒子のどちらの場合でも円形領域内から出ないようにしたい。そのための速さ  $v$  の条件を、問3で示した  $m_a, m_b, e$  および  $R, d, B$  の中から必要な記号を用いて表せ。



図Ⅲ - 2

問5 上記の問4のように、点  $P$  から  $OP$  と磁場に垂直に、 $\beta$  粒子を図Ⅲ - 2 で示す方向に速さ  $v$  で放出したとき、円形領域内で  $\beta$  粒子が直進するように外部から一様な電場を作用させる。その電場の方向を図Ⅲ - 2 の矢印の番号から選べ。また、そのときの電場の強さを、問3と問4で示した  $m_b, e, R, d, B, v$  の中から必要な記号を用いて表せ。

問6 上記の問5のような磁場と電場が存在する状況で、点  $P$  から  $OP$  と磁場に垂直に、 $\alpha$  粒子を図Ⅲ - 2 で示す方向に速さ  $v$  で放出する。 $\alpha$  粒子が放出されてから円形領域を出るまでの時間を、問3と問4で示した  $m_a, e, R, d, B, v$  の中から必要な記号を用いて表せ。

〔以下余白〕

