

後期日程

令和 6 年度入学試験（後期日程）

物 理

（ 理 工 学 部 ）

———— 解答上の注意事項 ————

1. 「解答始め」の合図があるまで、この問題冊子を開いてはいけません。
2. この問題冊子は全部で7ページあります。落丁、乱丁又は印刷不鮮明の箇所があったら、手を挙げて監督者に知らせなさい。
3. 解答紙 4 枚と計算紙1枚は、糊付けされています。「解答始め」の合図があったら、初めにすべての用紙を丁寧に切り離しなさい。上手に切り離せない場合や誤って破いてしまった場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
4. 問題は 1 から 4 まで4問あります。解答のみを、解答紙の指定された箇所に記入しなさい。
5. 解答しない問題がある場合でも、解答紙 4 枚すべてを提出しなさい。
6. 試験終了後、問題冊子と計算紙は持ち帰りなさい。

令和6年度入学試験 問題訂正

○後期日程

○科目名 物理

訂正箇所1	5 ページ 3 (5) の文章中
誤	<u>導体の</u>
正	<u>導体の長さ L の部分の</u>

訂正箇所2	5 ページ 3 (6) の文章中, 1 行目
誤	<u>導体中の</u>
正	<u>導体の長さ L の部分の中の</u>

1

図1のように、電車が、地面にしかれたまっすぐな線路の上を、水平方向に一定の加速度で運動している。電車の中には、質量 m の小球が天井から糸でつるしてあり、電車内で静止している。糸は、電車の床に垂直な方向から角度 θ だけ傾いており、小球は床から垂直方向に高さ h の位置にあるとする。重力加速度の大きさを g として、以下の問いに答えよ。

- (1) 小球にはたらく糸の張力の大きさを求めよ。
- (2) 地上から見た電車の加速度の大きさを求めよ。

電車の速さが v となったときに、小球と糸を切り離した。小球は、壁にぶつかることなく、空中を運動して床に落ちた。ただし、電車はこの間も同じ加速度で運動を続けたとする。

- (3) 電車内の静止する観測者として見るとき、小球が切り離されてから床に落ちるまでの軌跡の概形として最も適切なものを、図2の (a) ~ (g) の中から選択して記号で答えよ。
- (4) 地上の静止する観測者として見るとき、小球が切り離されてから床に落ちるまでの軌跡の概形として最も適切なものを、図2の (a) ~ (g) の中から選択して記号で答えよ。
- (5) 小球が切り離されてから床に落ちるまでの時間を求めよ。
- (6) 小球が切り離されてから床に落ちるまでに、小球が電車の床に対して水平方向に進んだ距離を求めよ。
- (7) 電車内の静止する観測者の立場で、小球が床に達する直前の速さを求めよ。
- (8) 地上の静止する観測者の立場で、小球が床に達する直前の速さを求めよ。

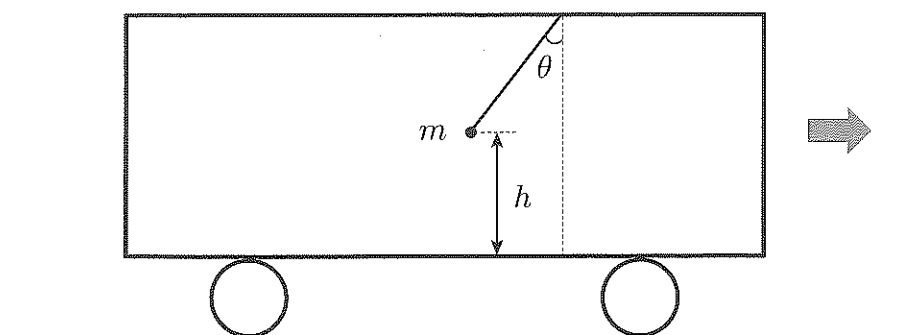


图 1

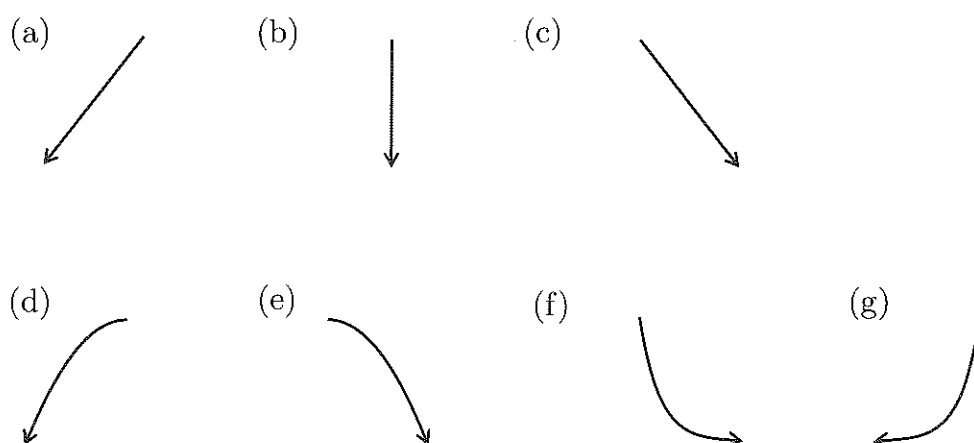


图 2

2

図1のような一辺の長さ L の立方体の断熱容器の中を質量 m , 物質量 n , 温度 T の単原子分子の理想気体でみたす。気体定数を R , アボガドロ数を N_A とし、以下の問いに答えよ。以下では、分子が壁に衝突する場合は弾性衝突とみなして答えよ。

- (1) x 軸に垂直な壁 S_x に衝突する直前の速度が $\vec{v} = (v_x, v_y, v_z)$ の分子について、以下を求めよ。
 - (i) この分子が図の壁 S_x に1回の衝突で及ぼす力積の大きさ
 - (ii) 単位時間の間に分子が壁 S_x と衝突する回数
 - (iii) この分子が壁 S_x に及ぼす時間的な平均の力の大きさ
- (2) 速度の x, y, z 成分の2乗の平均値は等しい（つまり $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$ ）とすると、速度の大きさの2乗の平均値は $\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$ と書ける。このとき、気体の圧力を $\overline{v^2}$ を含む式で表せ。
- (3) 気体分子一つあたりの平均の運動エネルギーを温度 T を含む式で表せ。

気体分子はさまざまな速さをもっているが、分子の速さの分布によって平均速度が決まる。

- (4) 気体分子の質量が m_1, m_2, m_3 （ただし、 $m_1 < m_2 < m_3$ とする）の気体を考える。ただし、これらの3つの気体の温度、体積、物質量は同じであるとする。図2の(a)～(c)はこれらの気体の速さの分布のどれかを表している。質量が m_1 の気体分子の速さの分布を表しているものとして、最も適切なものを図2の(a)～(c)の中から一つ選び、記号で答えよ。

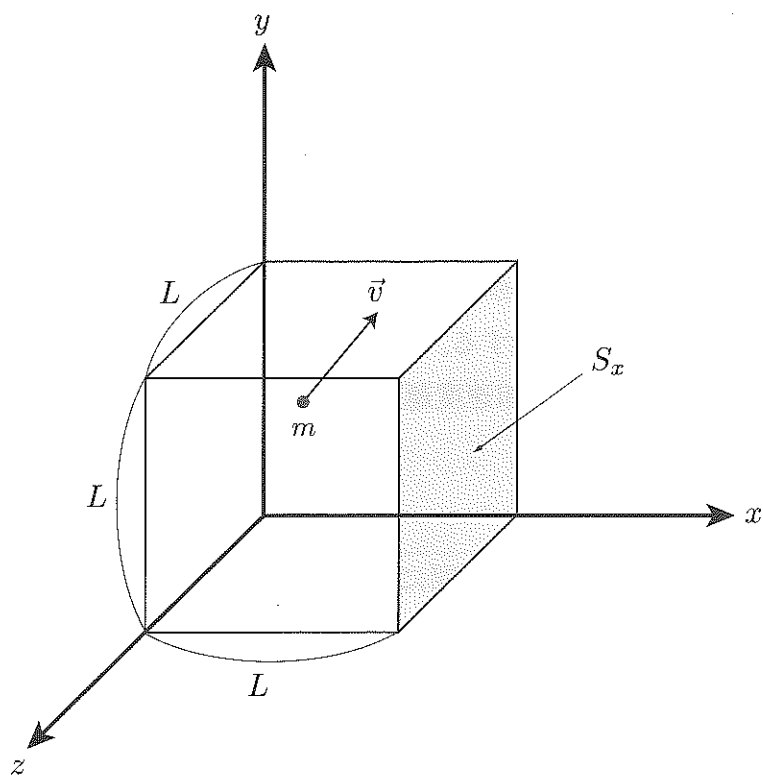


図 1

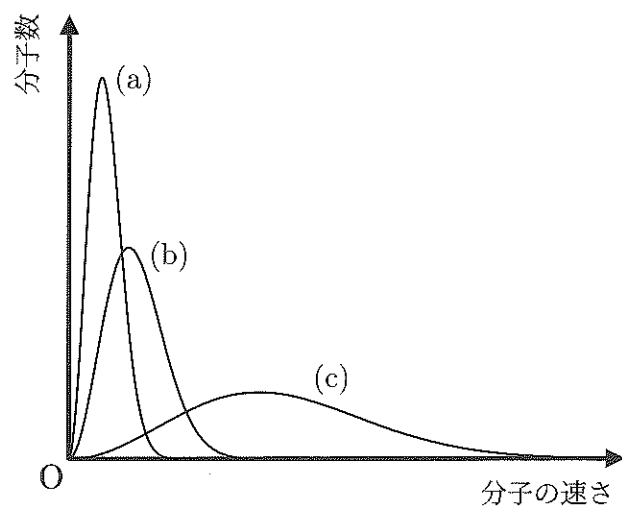


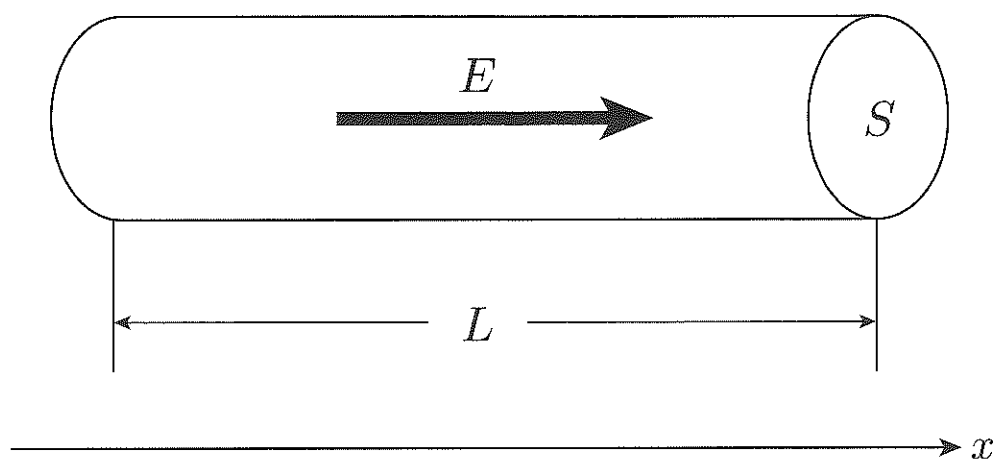
図 2

導体内に流れる一定の電流は、導体内の電子の運動によって説明される。 x 軸方向に置かれた断面積 S の円柱状の導体の一部を考える。図のような、その導体の長さ L の部分の中では、質量 m 、電荷 $-e$ (e は電気素量) の自由電子の単位体積あたりの個数は常に n であるとする。この導体の長さ L の部分の両端面の間に一定の電位差があるとき、導体内には x 軸方向の正の向きに大きさ E の一様な電場ができ、電子は電場から力を受ける。電子は、電場による加速と原子との衝突を繰り返しながら移動する。ここで、電子は原子と衝突するまで一定の時間 T の間に x 軸に平行な等加速度運動を行い、衝突によってすべての運動エネルギーを失うとする。

- (1) 電子が原子と衝突するまでの間に電子に作用している電気力の大きさを求めよ。
- (2) 電子の速さの最大値を求めよ。
- (3) 電子の平均の速さを求めよ。
- (4) 導体を流れる電流の大きさを求めよ。ただし、電流の大きさは、単位時間あたりに導体の断面を通過する電気量の平均で表される。
- (5) 導体の電気抵抗を求めよ。
- (6) 単位時間あたりに、導体中のすべての電子が失う運動エネルギーの総和を求めよ。この損失するエネルギーがジュール熱となる。

この状況を、衝突によって生じる抵抗力が (1) の力とつり合って、電子が一定の速さ v で動いている状態になっていると考えることもできる。抵抗力の大きさは kv とする。(k は正の比例定数である。)

- (7) 電子にはたらく力がつり合っているときの電子の速さ v を k, S, L, m, e, n, E のうち、必要な文字を用いて書き表せ。
- (8) (7) で得られる電子の速さが (3) の平均の速さと一致するとして、 k を S, L, m, e, n, E, T のうち、必要な文字を用いて書き表せ。



图

4

水素原子の構造は、陽子1個からなる原子核の周りを1個の電子が等速円運動をしているものとして説明できる。電子の質量を m 、電気素量を e 、プランク定数を h 、クーロンの法則の比例定数を k とする。また、陽子の質量は電子の質量よりきわめて大きいとする。電子の速さを v 、円軌道の半径を r として、以下の問いに答えよ。

- (1) 電子の等速円運動に必要な向心力の大きさを m , v , r を用いて表せ。
- (2) 電子が受ける静電気力の大きさを k , e , r を用いて表せ。
- (3) 電子のエネルギーを k , e , r を用いて表せ。ただし、電子のエネルギーは運動エネルギーと、無限遠を基準にとる静電気力による位置エネルギーの和である。

水素原子の電子のエネルギーは、とびとびの離散的な値だけしかとらない。これは、次のような仮定を導入することにより説明できる。

電子の軌道は、その円周の長さが電子波の波長の n 倍という条件を満たすもののみ可能である。

ただし、 n は1以上の整数である。電子波の波長はプランク定数を運動量で割ったもので与えられる。円周率を π とする。

- (4) 電子の軌道の満たすべき条件を、 r , h , m , v , n , π を用いて表せ。
- (5) 半径 r を n , h , k , m , e , π を用いて表せ。
- (6) (3) の電子のエネルギーを n , h , k , m , e , π を用いて表せ。
- (7) 電子が n の異なる軌道に移るとき、電子のエネルギーの差に等しいエネルギーをもつ光子を放出もしくは吸収する。光子のエネルギーはプランク定数と光の振動数の積で与えられる。電子の軌道が $n = 2$ から $n = 1$ に移る際に放出される光の振動数を、有効数字2桁で求めよ。ここで、 $n = 1$ の電子のエネルギーを $-2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$ とし、 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ とせよ。