

令和 6 年度入学試験問題(後期日程)

物 理

出題意図及び解答例

* すべての問題について、数学的に等価な解答は正答とします

出題意図

(a)は、水平面上を直線運動している物体を題材にして、等加速度直線運動と動摩擦係数に関する基礎的な理解を問うている。(b)は、水平面上における二つの物体の衝突を題材として、弾性および非弾性衝突、運動量およびエネルギー保存則、力学的エネルギーの損失に関する基礎的な理解とはねかえり係数についての物理的な理解を問うている。

解答

| | | |
|-----|-------|--------------------------|
| (a) | (i) | $\sqrt{2ax}$ [m/s] |
| | (ii) | $\frac{v_0^2}{2x} M$ [N] |
| | (iii) | $\frac{v_0^2}{2gx}$ |

| | | | |
|-----|-------|--|--|
| (b) | (i) | $m_A \frac{v_A + v'_A}{v_A - v'_A}$ [kg] | |
| | (ii) | $F_1 \Delta t_1$ | $\frac{m_A m_B (v_A - v_B)}{m_A + m_B}$ [N · s] |
| | | $F_2 \Delta t_2$ | $-\frac{m_A m_B (v'_A - v'_B)}{m_A + m_B}$ [N · s] |
| | 物理用語 | 反発係数, はねかえり係数, はね返り係数 どれでも正解 | |
| | (iii) | $\frac{1}{2} \left(\frac{m_A m_B}{m_A + m_B} \right) v_A^2$ [J] | |
| | (iv) | V' | $\frac{m_A}{m_A + m_B} v_A$ [m/s] |
| | | ばねの縮み | $\sqrt{\frac{m_A m_B}{k(m_A + m_B)}} v_A$ [m] |

2

出題意図

複スリットによるヤングの干渉実験において、明線・暗線ができるための光の経路差と波長の関係、隣り合う明線の間隔など、光の干渉についての基本的な理解を問うている。

解答

| | |
|-----|-------------------------------|
| (a) | $\frac{dx}{L}$ |
| (b) | λ |
| (c) | $\frac{L\lambda}{d}$ |
| (d) | $\frac{3\lambda}{2}$ |
| (e) | $\frac{3L\lambda}{2d}$ |
| (f) | $\frac{L\lambda}{d}$ |
| (g) | $5.0 \times 10^{-7} \text{m}$ |
| (h) | イ |

出題意図

気体分子の運動という観点から、単原子分子理想気体の熱力学的性質を問うている。また、光子の集合の内部エネルギーや圧力を、気体分子の運動の考え方を応用して導く能力を試している。

解答

| | | | | | |
|-----|-------|------------------------------------|-----|-------|-------------------------------------|
| (a) | (i) | $2mv \cos \theta$ [N·s] | (b) | (i) | $2p \cos \theta$ [N·s] |
| | (ii) | $\frac{v\Delta t}{2r \cos \theta}$ | | (ii) | $\frac{c\Delta t}{2r \cos \theta}$ |
| | (iii) | $\frac{mv^2}{r} \Delta t$ [N·s] | | (iii) | $\frac{cp}{r} \Delta t$ [N·s] |
| | (iv) | $\frac{1}{3} \frac{Nmv^2}{V}$ [Pa] | | (iv) | $\frac{1}{3} \frac{N_L cp}{V}$ [Pa] |
| | (v) | $PV = \frac{2}{3} U$ | | (v) | $P_L V = \frac{1}{3} U_L$ |

4

出題意図

コンデンサーの充電とそれに続く電気振動現象を題材として、グラフの読み取り、キルヒホッフの第二法則の理解、電気回路におけるエネルギー保存の理解、などを問うている。

解答

| | |
|-----|---|
| (a) | 4.0 倍 |
| (b) | 2.4 mA (または 2.4×10^{-3} A) |
| (c) | 10 μ F (または 1.0×10^{-5} F) |
| (d) | 0.72 mJ (または 7.2×10^{-4} J) |
| (e) | 正, 負, ゼロ |
| (f) | 0.50 mH, 0.60 mH, 0.70 mH, 0.80 mH, 0.90 mH, 1.0 mH |
| (g) | 1.0 kHz (または 1.0×10^3 Hz) ※ Hz は 1/s や s^{-1} でも可 |

令和6年度 入学試験問題（後期日程）
問題訂正
「物理」

【問題冊子】

4ページ 1 (b) 2行目

(誤) 「衝突による力以外の外力の力積は無視できるとする。」

(正) 「衝突による力以外の水平方向にはたらく外力の力積は無視できるとする。」

10ページ 4 (g) 3行目

(誤) 「ただし、コイルの自己インダクタンスには問(f)の値を用いよ。」

(正) 「ただし、コイルの自己インダクタンスを用いる場合には問(f)の値を用いよ。」

令和 6 年度入学試験問題

物 理

注 意 事 項

1. この問題冊子は、試験開始の合図があるまで開いてはいけません。
2. 解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答はすべての解答用紙の指定されたところに記入しなさい。それ以外の場所に記入された解答は、採点の対象となりません。解答用紙は 4 枚あります。
3. 本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入しなさい。氏名を書いてはいけません。
4. この問題冊子は、表紙を含めて 16 ページあります。問題は 4 ページから 11 ページにあります。ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、監督者に申し出なさい。
5. 問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが、どのページも切り離してはいけません。
6. この問題冊子は持ち帰りなさい。

1

(a) 質量 M [kg] の物体が水平面上を速さ v_0 [m/s] で直線運動していたところ、進行方向とは逆向きの力を受け、 x [m] 移動して静止した。進行方向とは逆向きの力を受けて静止するまで、一定の加速度の大きさ a [m/s²] で減速した。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。以下の問いに答えよ。

(i) 物体の速さ v_0 を a , x を用いて表せ。

(ii) 物体の進行方向と逆向きに物体に作用した力の大きさを v_0 , x , M を用いて表せ。

(iii) 物体が受けた進行方向と逆向きの力は、水平面との摩擦力のみであるとする。このときの動摩擦係数を v_0 , x , g を用いて表せ。

(b) なめらかな水平面上で、質量 m_A [kg] の物体 A が速さ v_A [m/s] で進み、物体 B と衝突した。衝突は直線上で起こり、衝突による力以外の外力の力積は無視できるとする。下記の (i), (ii), (iii), (iv) それぞれの衝突現象を考える。以下の問いに答えよ。

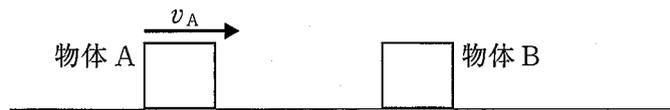
(i) 図 1 のように、静止している物体 B に物体 A が弾性衝突したところ、物体 A は、進行方向とは逆向きに速さ v'_A [m/s] ではねかえったとする。物体 B の質量を m_B , v_B , v'_B を用いて表せ。

(ii) 図 2 のように、物体 A と質量 m_B [kg] の物体 B が、同じ向きに進み、それぞれ v_A [m/s] と v_B [m/s] の速さ ($v_A > v_B$) で衝突し、その後、物体 A と物体 B は、衝突前と同じ向きに、それぞれ v'_A [m/s] と v'_B [m/s] の速さ ($v'_A < v'_B$) で進んだとする。この現象には、2 つの過程があると考えられる。まず、衝突して 2 つの物体が同じ速さ v [m/s] になるまでの過程があり、次に、2 つの物体が離れるまでの過程があると考えられる。衝突して物体 A と物体 B が同じ速さになるまでの過程において、接触している時間 Δt_1 [s] に物体間にはたらく力の平均の大きさを F_1 [N] とすると、力積の大きさは $F_1 \Delta t_1$ [N·s] となる。次に、2 つの物体が離れるまでの過程において、接触している時間 Δt_2 [s] に物体間にはたらく力の平均の大きさを F_2 [N] とすると、力積の大きさは $F_2 \Delta t_2$ [N·s] となる。 $F_1 \Delta t_1$ を m_A , m_B , v_A , v_B を用いて、 $F_2 \Delta t_2$ を m_A , m_B , v'_A , v'_B を用いてそれぞれ表せ。さらに、 $F_1 \Delta t_1$ と $F_2 \Delta t_2$ の比 $\frac{F_2 \Delta t_2}{F_1 \Delta t_1}$ の値を計算することによって何が求められるか、適する物理用語を答えよ。

(iii) 図 3 のように、物体 A は、静止している質量 m_B [kg] の物体 B に衝突し、その後、物体 A と物体 B は一体になって速さ V [m/s] で進んだとする。力学的エネルギーの変化の大きさを m_A , m_B , v_A を用いて表せ。

(iv) 図 4 のように、物体 B には、質量が無視できるばね定数 k [N/m] のばねが付いている。物体 A は、静止している質量 m_B [kg] の物体 B に付いているばねに衝突した。ばねが最も縮んだときに 2 つの物体は同じ速さ V' [m/s] となった。 V' を m_A , m_B , v_A を用いて表せ。さらに、ばねが最も縮んだときのばねの縮みの大きさを k , m_A , m_B , v_A を用いて表せ。

衝突前



衝突後

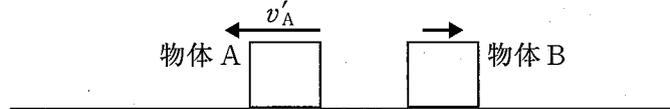
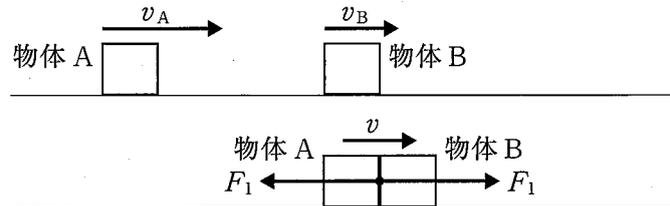


図 1

衝突前から2つの物体が同じ速さになるまで



同じ速さから2つの物体が離れるまで

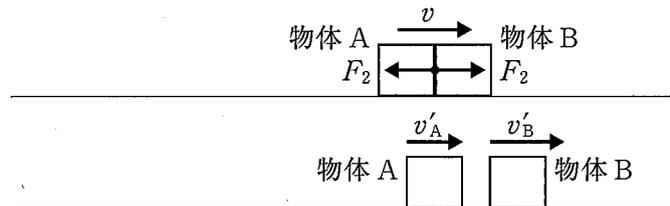


図 2

衝突前



衝突後

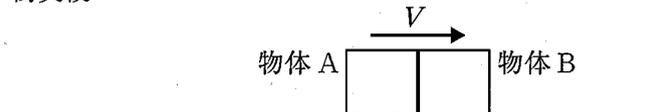
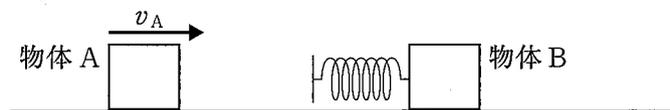


図 3

衝突前



衝突後、ばねが最も縮んだとき

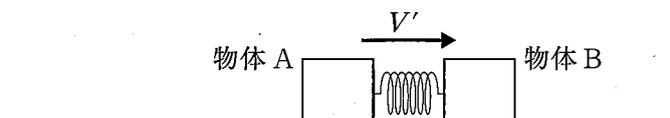
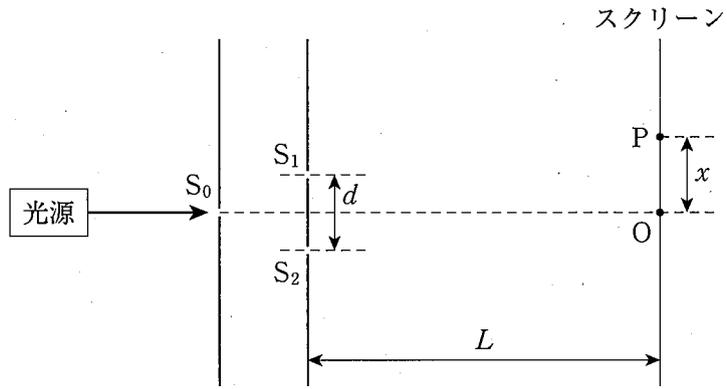


図 4

2 図のように、光源から出た波長 λ [m] の単色光を、単スリット S_0 と複スリット S_1, S_2 に通して正面のスクリーンに当てたところ、スクリーン上に明暗の干渉縞ができた。複スリット S_1, S_2 は S_0 から等距離にある。複スリットの間隔を d [m]、複スリットとスクリーンの間の距離を L [m] とする。 S_1, S_2 から等距離にあるスクリーン上の点を O とし、点 O から距離 x [m] の位置にあるスクリーン上の点を P とする。ただし、 x と d は L に比べてじゅうぶん小さいとする。また、 S_1 と S_2 を結ぶ直線およびスクリーンは、 S_0 と点 O を結ぶ直線に垂直であるとする。以下の問いに答えよ。

- (a) 複スリット S_1, S_2 を通ってスクリーン上の点 P に到達する 2 本の光の経路差を、 x, d, L を用いて表せ。解答に際し、 $|a| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+a} \doteq 1 + \frac{1}{2}a$ を用いよ。
- (b) スクリーン上の点 O から図の上向きに数えて 1 番目の明線を Q_1 とする。複スリット S_1, S_2 を通って Q_1 に到達する 2 本の光の経路差を、 λ を用いて表せ。ただし、点 O にある明線を 0 番目とする。
- (c) Q_1 と点 O の間の距離 x_1 [m] を、 d, L, λ を用いて表せ。
- (d) スクリーン上の点 O から図の上向きに数えて 2 番目の暗線を Q_2 とする。複スリット S_1, S_2 を通って Q_2 に到達する 2 本の光の経路差を、 λ を用いて表せ。
- (e) Q_2 と点 O の間の距離 x_2 [m] を、 d, L, λ を用いて表せ。
- (f) 隣り合う明線の間隔 Δx [m] を、 d, L, λ を用いて表せ。
- (g) $d = 0.50 \text{ mm}, L = 2.0 \text{ m}, \Delta x = 2.0 \text{ mm}$ のとき、この光の波長 λ [m] を求めよ。
- (h) 複スリットによる干渉縞の測定を、 d と L は変えずに、最初に赤色の光源で行い、次に青色の光源に変えて行った。このとき、隣り合う明線の間隔 Δx はどうなるか。以下の(ア)~(ウ)の選択肢から正しいものを選べ。

(ア) 大きくなる (イ) 小さくなる (ウ) 変わらない



図

3

(a) 図1のように、半径 r [m] の球形容器内に、質量 m [kg] の単原子分子 N 個からなる理想気体が入っている。単原子分子はすべて同じ速さ v [m/s] であるとする。単原子分子は互いに衝突せず、容器の壁とのみ弾性衝突し、衝突の前後で壁に垂直な速度成分のみが変化するものとする。また、衝突時以外、単原子分子は等速直線運動をするものとする。以下の問いに答えよ。

- (i) 1 個の単原子分子が、図1のように入射角 θ [rad] で壁に衝突した。このとき、この単原子分子が1回の衝突で壁に与える力積の大きさを m , v , θ を用いて表せ。
- (ii) 1 個の単原子分子が時間 Δt [s] の間に壁に衝突する回数を v , r , Δt および問(a)(i)における θ を用いて表せ。
- (iii) 1 個の単原子分子が時間 Δt の間に壁に与える力積の大きさの合計を m , v , r , Δt を用いて表せ。
- (iv) 理想気体の圧力を P [Pa] とする。 P を N , m , v および容器の体積 V [m³] を用いて表せ。
- (v) N 個の単原子分子の運動エネルギーを U [J] とする。このとき、 U および問(a)(iv)における P , V の間に成り立つ関係式を求めよ。

(b) 次に、図2のように単原子分子の代わりに N_L 個の光子が半径 r [m] の球形容器内に入っている場合を考えよう。光子はすべて同じ運動量の大きさ p [kg·m/s] であるとする。光子は互いに衝突せず、容器の壁とのみ衝突し、衝突の前後でエネルギーに変化はなく壁に垂直な運動量成分のみが変化するものとする。また、衝突時以外、光子は等速直線運動をするものとする。光の速さ(光速)を c [m/s] とすると、光子1個のエネルギーは cp [J] で与えられる。以下の問いに答えよ。

- (i) 1 個の光子が、図2のように入射角 θ [rad] で壁に衝突した。このとき、この光子が1回の衝突で壁に与える力積の大きさを p , θ を用いて表せ。
- (ii) 1 個の光子が時間 Δt [s] の間に壁に衝突する回数を c , r , Δt および問(b)(i)における θ を用いて表せ。
- (iii) 1 個の光子が時間 Δt の間に壁に与える力積の大きさの合計を c , p , r , Δt を用いて表せ。
- (iv) N_L 個の光子が壁に及ぼす圧力を P_L [Pa] とする。 P_L を N_L , c , p および容器の体積 V [m³] を用いて表せ。
- (v) N_L 個の光子のエネルギーを U_L [J] とする。このとき、 U_L および問(b)(iv)における P_L , V の間に成り立つ関係式を求めよ。

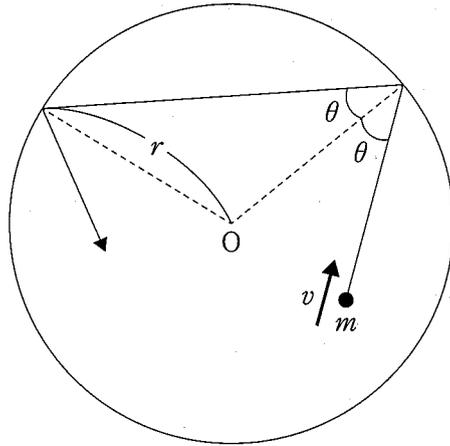


图 1

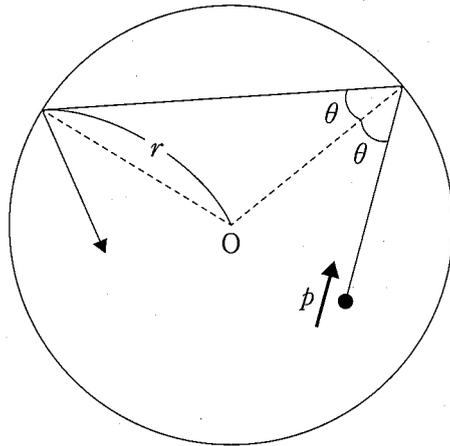


图 2

4 電池と抵抗器とコンデンサーとコイルから構成される図1のような回路がある。はじめ、スイッチは S_1 、 S_2 とともに開いており、コンデンサーに電荷は蓄えられていない。コンデンサーの極板間は空気のみで満たされている。電池の起電力 E [V] は 12.0 V、抵抗器の抵抗値 R [Ω] は 5.0 k Ω である。導線部分とコイルの抵抗、電池の内部抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。ただし、円周率は 3.14 として計算し、有効数字は 2 桁で答えること。

スイッチ S_1 を閉じ、コンデンサーの充電を始めた。図2のグラフは、コンデンサーの極板間の電圧が充電時間とともに変化するようすを示したものである。原点 O を通る直線は、グラフの原点における接線である。

- (a) スイッチ S_1 を閉じてから 20 ms 後に抵抗器に流れる電流の大きさは 90 ms 後に流れる電流の大きさの何倍か。
- (b) スイッチ S_1 を閉じた直後に抵抗器に流れる電流の大きさを求めよ。
- (c) 図2のグラフの原点における接線の傾きに注目して、このコンデンサーの電気容量を求めよ。
- (d) 充電を始めてからじゅうぶんに時間が経った後にコンデンサーに蓄えられる静電エネルギーを求めよ。

次に、充電を始めてからじゅうぶんに時間が経った後、スイッチ S_1 を開き、空気のみで満たされていたコンデンサーの極板間に電荷が変化しないようにゆっくり誘電体を挿入してコンデンサーの電気容量を 50 μ F とし、スイッチ S_2 を閉じた。図3のグラフは、スイッチ S_2 を閉じた直後にコイルに流れる電流が時間とともに変化するようすを示したものである。横軸はスイッチ S_2 を閉じた瞬間の時刻を 0 ms として示しており、スイッチ S_2 を閉じた瞬間の電流の大きさは 0 A である。

- (e) 空気の誘電率は真空の誘電率にほぼ等しい。一方、コンデンサーの極板間に挿入された誘電体の比誘電率は 1 よりじゅうぶんに大きい。コンデンサーの極板間に誘電体が挿入される過程で、コンデンサーがした正味の仕事は正か負かゼロか。解答欄に示す選択肢のうち、正しいものを一つ選んで丸で囲め。
- (f) 解答欄に示す選択肢のうち、このコイルの自己インダクタンスとして最も近い値を一つ選んで丸で囲め。
- (g) 以上の操作と同様の操作を、コンデンサーに挿入する誘電体の種類を変えて行ったところ、スイッチ S_2 を閉じた後にコイルに流れる電流の大きさの最大値が 1.25 倍になった。このときの振動電流の周波数を求めよ。ただし、コイルの自己インダクタンスには問(f)の値を用いよ。

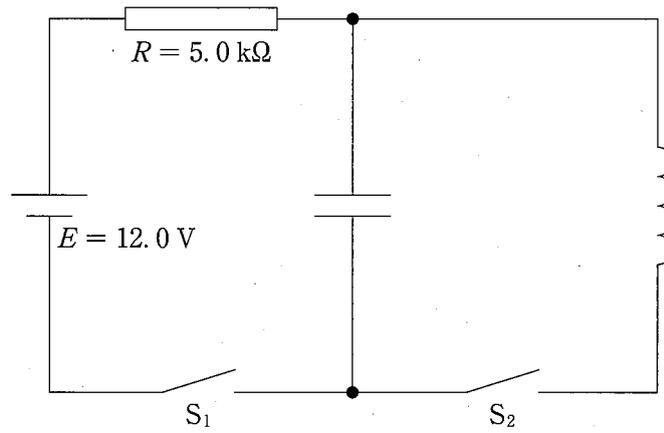


図 1

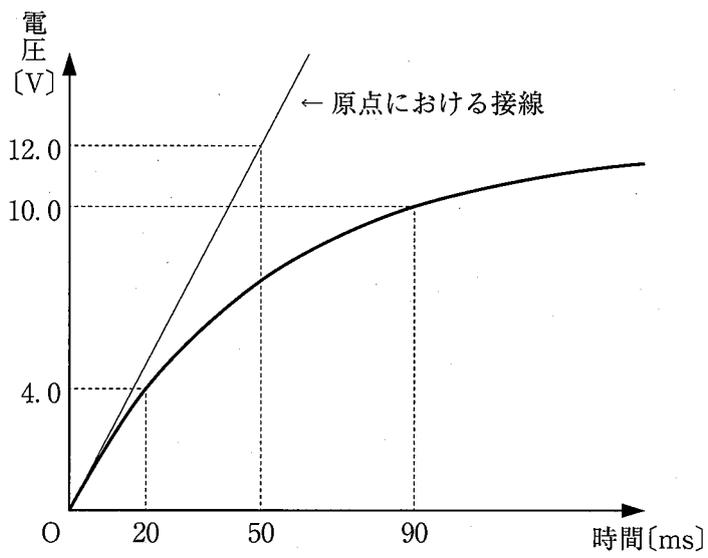


図 2

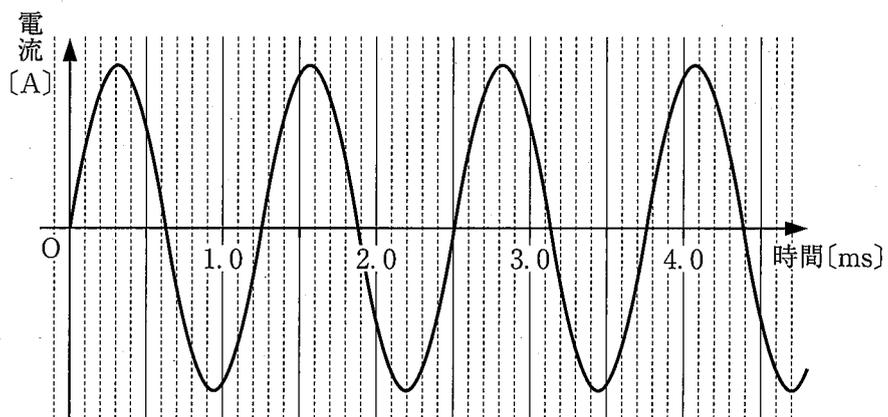


図 3