

令和 6 年度入学者選抜学力検査問題(前期日程)

理	科
---	---

物理基礎・物理

(注 意)

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 問題冊子は 7 ページ，解答用紙は 4 枚である。指示があつてから確認し，乱丁，落丁，印刷不鮮明の箇所等がある場合は，ただちに試験監督者に申し出ること。
3. 解答用紙の指定の箇所に解答のみを記入すること。指定箇所以外に記入された解答は採点の対象としない。問題文に指示のない限り，導出過程は必要ない。
4. 計算その他を試みる場合は，問題冊子の余白を利用すること。
5. 解答用紙は持ち帰ってはならないが，問題冊子は必ず持ち帰ること。

〔I〕

図 I のように、鉛直な壁 AB と水平な床 OB からなる xy 平面において、水平から斜め上方 45° をなす角度で点 O から大きさと空気抵抗が無視できる小球を速さ v_0 [m/s] で投げると、小球は壁 AB の点 A に垂直に衝突し、はね返って床上の点 C に落ちて、再びはね返り、床上の点 D に落下した。OB 間の距離を l [m]、小球と壁及び床との反発係数を e 、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。壁と床はなめらかなものとし、運動は xy 平面で起こるとして、以下の問いに答えよ。

- (1) 小球を投げた瞬間から小球が点 A に達するまでの時間 t [s] を g と l を用いて表せ。
- (2) 小球の速さ v_0 を g と l を用いて表せ。
- (3) 点 A の床からの高さ h [m] を l を用いて表せ。
- (4) 点 B と点 C の距離 m [m] を e と l を用いて表せ。
- (5) 点 C と点 D の距離 n [m] を e と l を用いて表せ。
- (6) 点 D が点 O よりも左になるとき、 e が満たす条件を示せ。

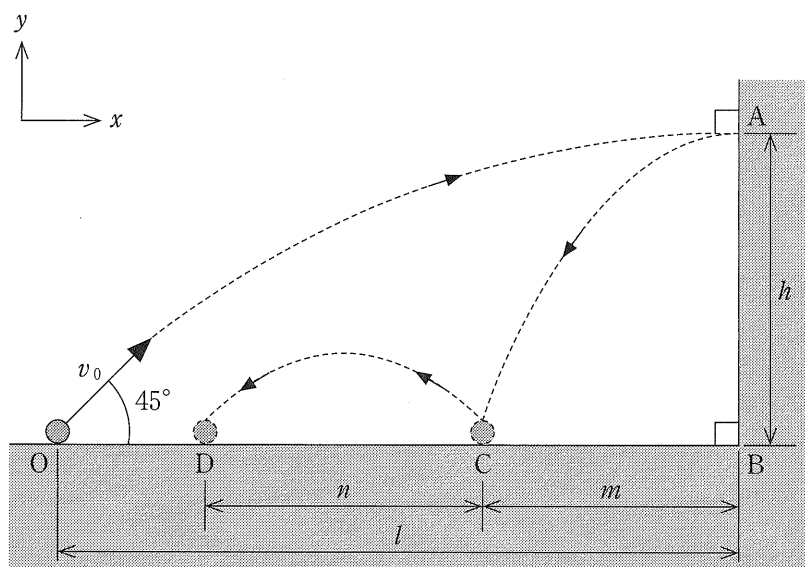


図 I

〔Ⅱ〕

気体の状態が、ある状態からいろいろな状態を経て、元の状態にもどるとき、この状態変化をサイクルという。気体が「熱の吸収と放出を行い、外部へ仕事をする」サイクルを行う装置を熱機関という。このサイクルを逆向きに回した場合、気体は「外部から仕事をされて、低温の熱源から高温の熱源へ熱を移動させる」ことができ、このサイクルを行う装置を冷凍機という。

単原子分子理想気体(以下、単に気体と呼ぶ) 1 mol に対して、以下の①～④の過程を経て状態を変化させ、ある冷凍機サイクルを作った。なお、各過程中の変化はゆっくり行われる。

【過程①】 状態 A から、圧力を一定に保ちながら、低温の熱源から熱を吸収したところ、体積は 2 倍になり、状態 B に到達した。

【過程②】 状態 B から、体積を一定に保ちながら、低温の熱源からさらに熱を吸収したところ、圧力は 2 倍になり、状態 C に到達した。

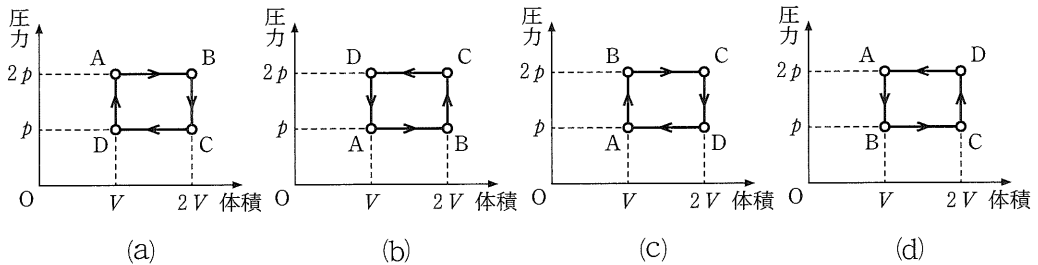
【過程③】 状態 C から、圧力を一定に保ちながら、高温の熱源へ熱を放出したところ、体積は $\frac{1}{2}$ 倍になり、状態 D に到達した。

【過程④】 状態 D から、体積を一定に保ちながら、高温の熱源へさらに熱を放出したところ、圧力は $\frac{1}{2}$ 倍になり、状態 A に戻った。

ここで、気体の内部エネルギーの変化を $\Delta U[\text{J}]$ 、気体が外部から吸収した熱量を $Q[\text{J}]$ 、気体が外部からされた仕事を $W[\text{J}]$ とすると、熱力学第一法則は $\Delta U = Q + W$ と表される。また、気体定数を $R[\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})]$ 、定積モル比熱を $C_V = \frac{3}{2}R$ 、定圧モル比熱を $C_p = \frac{5}{2}R$ とする。

以下の問いに答えよ。

- (1) このサイクルを正しく表した p (圧力)– V (体積) 図を以下の(a)~(d)から選び、
 解答欄の該当する記号を丸で囲め。なお、図中の→は変化の進む方向を、A～
 D のアルファベットは各状態を表す。



- (2) 状態 B, 状態 C, 状態 D の温度をそれぞれ T_B , T_C , T_D [K] とする。これらの
 温度を状態 A の温度 T_A [K] で表した場合、正しい組合せを以下の(a)~(d)か
 ら選び、解答欄の該当する記号を丸で囲め。

- (a) $(T_B, T_C, T_D) = (T_A, 4T_A, 2T_A)$
 (b) $(T_B, T_C, T_D) = (4T_A, 2T_A, 2T_A)$
 (c) $(T_B, T_C, T_D) = (2T_A, 4T_A, 2T_A)$
 (d) $(T_B, T_C, T_D) = (2T_A, 2T_A, 4T_A)$

- (3) 過程①と過程②において、気体が低温の熱源から吸収した全ての熱量
 Q_{in} [J] を温度 T_A と気体定数 R を用いて表すとどのようになるか。正しい表記
 となるように、解答欄の分数の分子と分母の に正の整数を記入せよ。

- (4) 過程③と過程④において、気体が高温の熱源へ放出した全ての熱量 Q_{out} [J]
 を温度 T_A と気体定数 R を用いて表すとどのようになるか。正しい表記となる
 ように、解答欄の分数の分子と分母の に正の整数を記入せよ。

- (5) この冷凍機の性能は、「気体が低温の熱源から吸収した全ての熱量 Q_{in} ((3)で
 求めた熱量)」と「1 サイクルを通じて気体が外部からされた正味の仕事 W 」の
 比である Q_{in}/W と表される。 Q_{in}/W が正しい値となるように、解答欄の分数
 の分子と分母の に正の整数を記入せよ。

〔Ⅲ〕

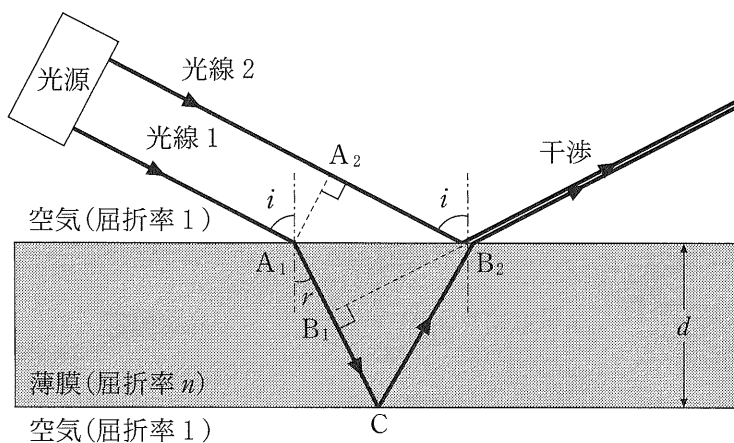
図Ⅲ－１に示すように、空気中に波長 λ [m] の単色光を出す光源を置いた。この光源から平行光線が出ており、厚さ d [m] の薄膜に入射角 i で入射している。この平行光線のうち、光線 1 と光線 2 に着目した。光線 1 は薄膜の上面の点 A_1 において屈折角 r で屈折し、点 B_1 を通過して薄膜の下面の点 C で反射し、薄膜の上面の点 B_2 で屈折する。光線 2 は点 A_2 を通過し、点 B_2 で反射する。光線 1 と光線 2 が点 B_2 を通過した後における、光線 1 と光線 2 の干渉を考える。以下の問いに答えよ。

なお、点 A_1 における光線 1 と、点 A_2 における光線 2 は、同位相であるものとし、光線 1 と光線 2 が点 B_2 を通過した後に光源まで戻ってくることは考えないものとする。また、空気の屈折率を 1、薄膜の屈折率を n とし ($n > 1$)、 m は 0 以上の整数 ($m = 0, 1, 2, \dots$) とする。

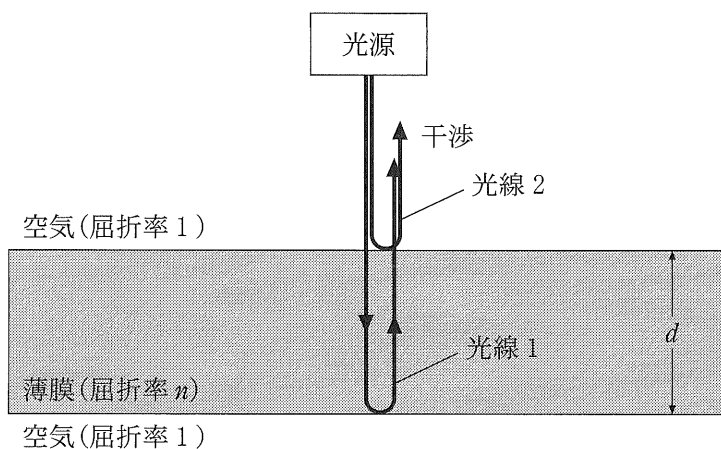
- (1) 屈折率 n を i, r を用いて表せ。
- (2) 光線 1 が点 A_1 を起点として点 C を経由して点 B_2 に至るまでの光路長が、光線 2 が点 A_2 を起点として点 B_2 に至るまでの光路長に比べてどれほど大きいかを表す光路差を s [m] とする。なお、光線 1 が点 A_1 を起点として点 B_1 に至るまでの光路長と、光線 2 が点 A_2 を起点として点 B_2 に至るまでの光路長が等しいことから、光路差 s は光線 1 が点 B_1 を起点として点 C を経由して点 B_2 に至るまでの光路長と等しい。光路差 s を d, n, r を用いて表せ。
- (3) 光線 1 が点 C で反射する際に光線 1 の位相は変化しないが、光線 2 が点 B_2 で反射する際に光線 2 の位相は半波長分だけ変化する。光線 1 と光線 2 が点 B_2 を通過した後に強めあうための条件式を $s = (\text{右辺})$ のように表すとき、この条件式の (右辺) を m, λ を用いて表せ。
- (4) 光線 1 と光線 2 が点 B_2 を通過した後に強めあうための、空気中における単色光の最大波長を $\lambda_{\max}$ [m] とする。最大波長 $\lambda_{\max}$ を d, n, r を用いて表せ。

次に、図Ⅲ－１の光源を移動させ、図Ⅲ－２に示すように、平行光線が前述と同様の薄膜に垂直に入射する場合を考える。

- (5) このとき、薄膜の下面で反射した後の光線１と薄膜の上面で反射した後の光線２が強めあうための薄膜の最小厚さを d_0 [m]とする。最小厚さ d_0 を n 、 λ を用いて表せ。なお、(3)と同様に、光線１が薄膜の下面で反射する際には光線１の位相は変化しないが、光線２が薄膜の上面で反射する際には光線２の位相は半波長分だけ変化する。



図Ⅲ－１



図Ⅲ－２

[IV]

図IVに示すように x , y , z 方向の辺の長さがそれぞれ a [m], b [m], c [m] の直方体の n 型半導体がある。 y 軸の正の向きに電流 I [A] を流し, z 軸の正の向きに一様な磁束密度 B [T] の磁場を加え, 十分に時間が経過して定常状態になった。 n 型半導体の単位体積当たりの電子数を n [個/m³], 電子の速さを v_1 [m/s], 電子の電荷を $-e$ [C] とする。以下の問いに答えよ。

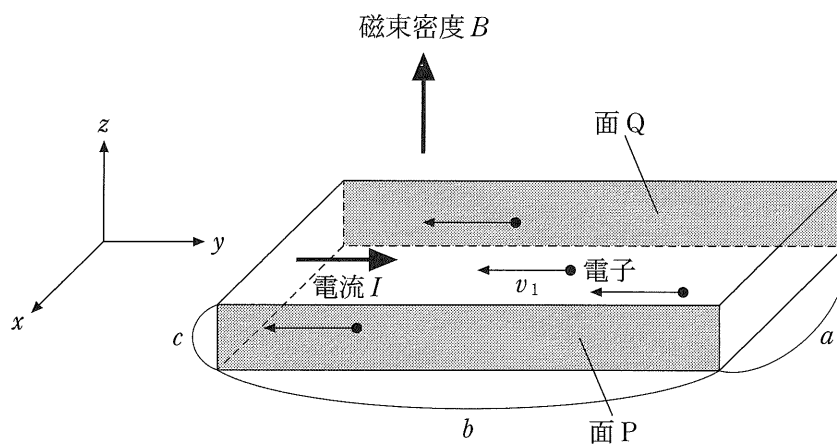
ただし, 向きを答える際には, 例えば「 z 軸の正の向き」などと軸と正負を明記すること。

- (1) n 型半導体中の電子に働くローレンツ力の向きと大きさを答えよ。
- (2) 面 P と面 Q はそれぞれ正負どちらに帯電するか。正しい組み合わせを答えよ。
- (3) 発生する電場の大きさを E_1 [V/m] としたとき, 電子が電場から受ける力の向きと大きさを答えよ。
- (4) n 型半導体中の電子が直進するための条件式を答えよ。
- (5) 電子の速さ v_1 を求めよ。ただし, I , B , e , n , a , b , c のうち必要なものを用いて表すこと。
- (6) PQ 間の電圧の大きさ V_{H1} [V] を求めよ。ただし, I , B , e , n , a , b , c のうち必要なものを用いて表すこと。
- (7) $B = 0.50$ T, $I = 1.0 \times 10^{-3}$ A, $e = 1.6 \times 10^{-19}$ C, $a = 4.0 \times 10^{-3}$ m, $b = 8.0 \times 10^{-3}$ m, $c = 1.0 \times 10^{-3}$ m, $V_{H1} = 2.0 \times 10^{-3}$ V のとき, 単位体積当たりの電子数 n を有効数字 2 桁で求めよ。

次に, n 型半導体の代わりに p 型半導体を用いて, 磁場の向きおよび電流の向きを変えずに同様の実験を行った。 p 型半導体中の単位体積当たりのホール数を p [個/m³], ホールの速さを v_2 [m/s], ホールの電荷を $+e$ とする。PQ 間の電圧の大きさは V_{H2} [V] であった。

- (8) p 型半導体中のホールに働くローレンツ力の向きと大きさを答えよ。

- (9) 面 P と面 Q はそれぞれ正負どちらに帯電するか。正しい組み合わせを答えよ。
- (10) 単位体積当たりのホール数 p を求めよ。ただし、 I , B , V_{H2} , e , a , b , c のうち必要なものを用いて表すこと。



図IV

