

令和3年度入学試験問題（後期日程）

物 理

出題意図及び解答例

1

出題意図

質点の運動に関する問題である。重力や摩擦がある場合の質点の運動や、力学的エネルギー保存則などを理解しているかを問うている。

解答例

| | |
|-----|--------------------------------|
| (a) | $\frac{mg}{2k}$ |
| (b) | $\frac{kd_1^2}{2}$ |
| (c) | $\sqrt{\frac{2W}{m}}$ |
| (d) | $v_1^2 - 2gd_2 > 0$ |
| (e) | $h = \frac{v_2^2}{8g}$ |
| | $l = \frac{\sqrt{3}v_2^2}{4g}$ |

出題意図

複スリットにおける光の干渉に関する問題である。干渉によって明線が観測される条件について理解しているか問うている。

解答例

| | |
|-----|---------------------------------------|
| (a) | $\frac{dx_p}{L}$ |
| (b) | $\frac{mL\lambda}{d}$ |
| (c) | $6.50 \times 10^{-7} \text{ m}$ |
| (d) | $x_B = 4.50 \times 10^{-3} \text{ m}$ |
| | $x_R = 6.70 \times 10^{-3} \text{ m}$ |
| (e) | $1.47 \times 10^{-3} \text{ m}$ |

出題意図

単原子理想気体の状態変化に関する問題である。等温変化や定積変化などの状態変化や、熱サイクルに関して理解しているかを問うている。また、グラフを描く能力を問うている。

解答例

| | | | |
|-----|---------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (a) | $V_B = V_A$ | $T_B = 2T_A$ | |
| (b) | $V_C = \frac{1}{2}V_A$ | $T_C = T_A$ | |
| (c) | $V_D = \frac{2}{3}V_A$ | $T_D = \frac{4}{3}T_A$ | |
| (d) | | | |
| (e) | $\Delta U_1 = \frac{3}{2}nRT_A$ | $Q_1 = \frac{3}{2}nRT_A$ | $W_1 = 0$ |
| (f) | $\Delta U_3 = \frac{1}{2}nRT_A$ | $Q_3 = 0$ | $W_3 = \frac{1}{2}nRT_A$ |
| (g) | $\Delta U_2 : 0$ | $Q_2 : \text{負}$ | $W_2 : \text{正}$ |
| (h) | $\frac{5}{3}nRT_A$ | (i) | (イ) |

出題意図

半導体と半導体中の荷電粒子の運動についての問題である。半導体の知識を有しているか問うている。また、ホール効果について理解しているか問うている。

解答例

| | | | | |
|------|-------|-------------------------------|-----|-----|
| (a) | (ア) | 真性 | (イ) | n 型 |
| | (ウ) | 4 | (エ) | 5 |
| | (オ) | 電子 | (カ) | p 型 |
| | (キ) | 3 | (ク) | 正孔 |
| | (ケ) | 正 | (コ) | 正孔 |
| (b) | (i) | $nevwd$ | | |
| | (ii) | 大きさ : evB | | |
| | | 向き : 正 | | |
| | (iii) | vB | | |
| | (iv) | $\frac{IB}{Ved}$ | | |
| | (v) | 3.1×10^{21} 個/ m^3 | | |
| (vi) | 電子 | | | |

令和3年度 入学試験問題 (後期日程)
問題訂正
「物理」

【問題冊子】

10 ページ **4** (b) (ii) 1 行目

(誤) 「・・・ローレンツ力の大きさは、いくらになるか。
また力の向きは・・・」

(正) 「・・・ローレンツ力の大きさは、いくらになるか。
 e , v , B を用いて表せ。また力の向きは・・・」

令和3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。解答用紙の指定されたところに解答のみ記入しなさい。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12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・乱丁及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 図1のように、傾斜 30° の斜面にばね定数 k の軽いばねを置き、ばねの上端に大きさの無視できる質量 m の物体をのせた。物体はばねの上端に固定していない。ばねの下端は固定している。はじめ、ばねは自然長からある距離だけ縮んで静止している。このときの物体の位置を点 A とする。点 A では物体に摩擦力が働いていない。点 A から下の斜面は物体との間に摩擦がなく、点 A から上の斜面は摩擦があり、その動摩擦係数 μ' は $\mu' = \frac{1}{\sqrt{3}}$ とする。以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とする。

- (a) 物体が点 A で静止しているとき、ばねの自然長からの縮み d_0 を k, m, g を用いて表せ。
- (b) (a)の状態から、斜面にそった外力を物体に静かに加え、ばねをさらに長さ d_1 だけ縮めた。このときの物体の位置を点 B とする。このとき、外力がした仕事 W を d_1, k を用いて表せ。
- (c) 物体を点 B に押し下げた状態から、外力を素早く取り去ると、物体はばねの力により押し上げられ、斜面にそった方向に運動した。このとき、物体が点 A の位置に到達したときの物体の速さ v_1 を m, W を用いて表せ。

物体が点 A に到達したときにばねの上端の運動を止めたところ、物体はばねから離れて斜面をのぼり、斜面の上端の点 C を通過し、斜面から飛び出した。点 A と点 C との距離は d_2 である。

- (d) 物体が斜面から飛び出すための条件を v_1, d_2, g を用いて表せ。
- (e) この物体は点 C から速さ v_2 で飛び出した後、放物線を描く運動をした。この運動における最高点を点 D とする。点 C を基準にした点 D の高さ h と水平方向の距離 l を v_2, g を用いて表せ。

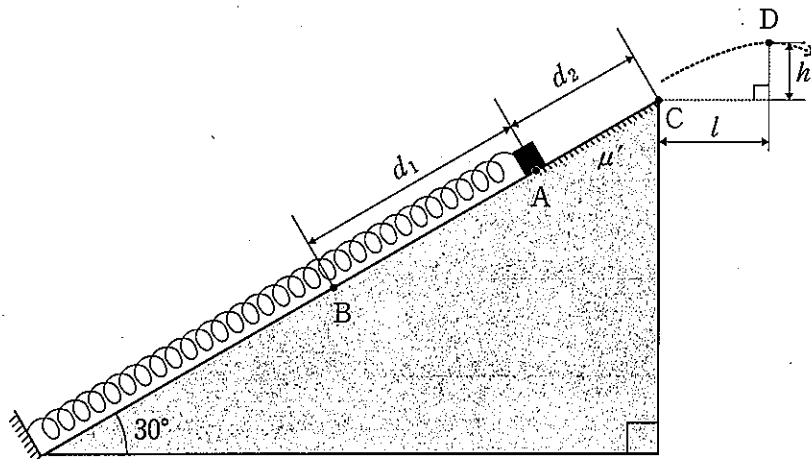


図1

2 図1のように y 軸上に光源を置き、 y 軸と垂直に交わるようにスクリーンを配置した。スクリーンに平行な軸を x 軸とし、 y 軸とスクリーンが交わる点を原点 O とする。光源とスクリーンとの間に、単スリット S_0 と2つのスリット S_1, S_2 からなる複スリットを置いた。光源から出た光は S_0 で回折され、 S_1, S_2 を通ってスクリーンに到達する。 S_0 、および S_1 と S_2 の中点 M は y 軸上にある。 S_0 がある面、および S_1, S_2 がある面は y 軸と垂直である。複スリットの間隔を d 、点 M から原点 O までの距離を L とし、以下の問いに答えよ。ただし、光源、単スリット、複スリットおよびスクリーンは、はじめ真空中に置かれているものとする。

- (a) スクリーン上の点 P から原点 O までの距離を x_P とする。 S_1 と点 P との間の距離を l_1 、 S_2 と点 P との間の距離を l_2 としたとき、経路差 $|l_1 - l_2|$ を、 d, L, x_P を用いて表せ。ただし、 L は d, x_P に比べて十分に大きいものとし、 $|a| \ll 1$ としたとき $\sqrt{1+a} \cong 1 + \frac{a}{2}$ となる近似式を用いよ。
- (b) 光源に波長 λ の単色光を用いたところ、スクリーン上に x 軸にそって明線の列を観測することができた。原点 O に観測された明線を0次の明線とし、0次の明線の次から数えて $x > 0$ の側に観測された m 番目の明線を m 次の明線とする。原点 O から m 次の明線までの距離を x_m としたとき、 x_m を λ, d, L, m を用いて表せ。ただし、 L は λ, d, x_m に比べて十分に大きいものとし、 $|a| \ll 1$ としたとき $\sqrt{1+a} \cong 1 + \frac{a}{2}$ となる近似式を用いよ。
- (c) (b)において、 $d = 1.00 \times 10^{-4} \text{ m}$ 、 $L = 1.00 \text{ m}$ のとき、原点 O と3次の明線との間の距離 x_3 が $1.95 \times 10^{-2} \text{ m}$ となった。このとき、光の波長 λ の値を求めよ。
- (d) (b)において、光源として波長が $4.50 \times 10^{-7} \text{ m}$ の青色の光と、波長が $6.70 \times 10^{-7} \text{ m}$ の赤色の光をそれぞれ用いた。青色および赤色の光を用いたときの、原点 O から1次の明線までの距離をそれぞれ x_B, x_R としたとき、 x_B および x_R の値をそれぞれ求めよ。ただし、 $d = 1.00 \times 10^{-4} \text{ m}$ 、 $L = 1.00 \text{ m}$ とする。
- (e) (d)において、複スリットとスクリーンの間を屈折率 $n = 1.50$ の媒質で満たした。このとき、 $|x_B - x_R|$ の値を求めよ。

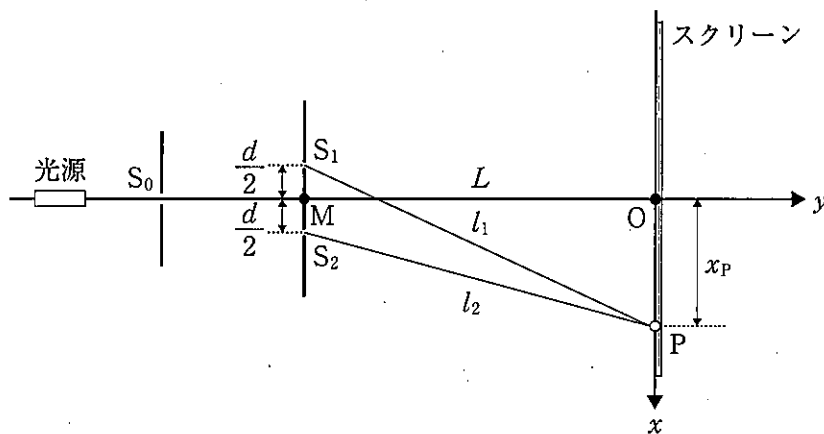


図1

3 単原子分子理想気体 n [mol] の圧力、体積、温度がそれぞれ p_A [Pa]、 V_A [m³]、 T_A [K] である状態を状態 A とする。状態 A の気体に対して、以下の 3 種類の操作をおこない、気体の状態を変化させた。以下の問いに答えよ。ただし、定積モル比熱 C_V [J/(mol·K)] と定圧モル比熱 C_p [J/(mol·K)] は、気体定数を R [J/(mol·K)] とすると、それぞれ $C_V = \frac{3}{2}R$ 、 $C_p = \frac{5}{2}R$ である。必要ならば $2^{\frac{3}{5}} \doteq \frac{3}{2}$ を用いてもよい。

操作 1 : 状態 A から、体積を一定に保ったまま圧力を 2 倍にする。操作後の状態を状態 B とする。

操作 2 : 状態 A から、温度を一定に保ったまま圧力を 2 倍にする。操作後の状態を状態 C とする。

操作 3 : 状態 A から、外部との熱のやり取りを遮断して圧力を 2 倍にする。操作後の状態を状態 D とする。

- (a) 状態 B の体積 V_B [m³] および温度 T_B [K] を、 V_A および T_A のうち必要なものを用いて表せ。
- (b) 状態 C の体積 V_C [m³] および温度 T_C [K] を、 V_A および T_A のうち必要なものを用いて表せ。
- (c) 状態 D の体積 V_D [m³] および温度 T_D [K] を、 V_A および T_A のうち必要なものを用いて表せ。ただし、断熱変化において単原子分子理想気体では、圧力を p 、体積を V とすると、 $pV^{\frac{5}{3}} = \text{一定}$ である。
- (d) 縦軸に圧力 p [Pa]、横軸に体積 V [m³] をとったグラフに、操作 1、2、3 による状態の変化の様子をそれぞれ線で描け。なおグラフには、解答欄に示された状態 A と同様に、状態 B、C、D の各状態の位置を黒点と記号で示せ。また状態 B、C、D での縦軸と横軸の値を、 p_A および V_A のうち必要なものを用いて記せ。
- (e) 操作 1 における内部エネルギーの変化 ΔU_1 [J]、理想気体が外部から受け取る熱量 Q_1 [J]、理想気体がされる仕事 W_1 [J] を求めよ。ただし答えは、 n 、 R 、 T_A のうち必要なものを用いて表せ。
- (f) 操作 3 における内部エネルギーの変化 ΔU_3 [J]、理想気体が外部から受け取る熱量 Q_3 [J]、理想気体がされる仕事 W_3 [J] を求めよ。ただし答えは、 n 、 R 、 T_A のうち必要なものを用いて表せ。
- (g) 操作 2 において、理想気体の内部エネルギーの変化 ΔU_2 [J]、理想気体が外部から受け取る熱量 Q_2 [J]、理想気体がされる仕事 W_2 [J] は、正、負、0 のいずれかそれぞれ答えよ。

状態 A から操作 3 により状態 D に変化させた後、圧力を一定に保ったまま膨張させることにより状態 B に変化させ、さらに体積を一定に保ったまま圧力を下げて状態 A にもどした。

- (h) 状態 D から状態 B への変化において、理想気体が外部から受け取る熱量 Q_4 [J] を求めよ。ただし答えは、 n 、 R 、 T_A のうち必要なものを用いて表せ。
- (i) この 1 サイクルにおける熱効率として最も近い値を以下の選択肢から 1 つ選び記号で示せ。

- (ア) 0.0 (イ) 0.1 (ウ) 0.2 (エ) 0.3 (オ) 0.4
 (カ) 0.5 (キ) 0.6 (ク) 0.7 (ケ) 0.8 (コ) 0.9
 (サ) 1.0

4

- (a) 以下の文章が正しい記述になるように、文中の (ア) から (コ) に関して、四角で囲まれた語句のうち適するものを選び。

純粋なケイ素(Si)やゲルマニウム(Ge)からなる結晶は、低温では抵抗率が大きく電気を通しにくい。温度が上がると結晶中を移動できる電子などが生じ電気を通すようになる。このような半導体を (ア): 真性, 不純物 半導体という。SiやGeの結晶の中に微量のリン(P)やアンチモン(Sb)を混ぜたものが (イ): n型, p型 半導体である。SiやGeの原子はもっとも外側の電子殻に (ウ): 3, 4, 5 個の価電子をもち、これらを互いに共有した共有結合によって結晶をつくる。PやSbは価電子を (エ): 3, 4, 5 個もつので、共有結合に参加しないあまった電子が結晶内を動きまわることができる。半導体における電流の担い手をキャリアというが、この (イ) 半導体におけるキャリアは (オ): 電子, 正孔 である。一方、SiやGeの結晶の中に微量のホウ素(B)やアルミニウム(Al)を混ぜたものが (カ): n型, p型 半導体である。BやAlの原子は価電子を (キ): 3, 4, 5 個もつので、部分的に共有結合が不完全になり、結晶内に (ク): 電子, 正孔 が形成される。この (ク) は、電場や磁場に対して (ケ): 正, 負 の電荷をもつ粒子のようにふるまう。 (カ) 半導体におけるキャリアは (コ): 電子, 正孔 である。

- (b) 図1のように幅が w 、高さが d の長方形の断面をもつ直方体の半導体に y 軸の正の方向に大きさ I の電流を流す。半導体の幅と高さの方向を、それぞれ x 軸、 z 軸とする。半導体の面Pと面Qは x 軸に垂直な面であり、両面間の電位差を測定することができるように電圧計を接続している。ただし半導体中のキャリアの数密度(単位体積あたりの個数)を n とし、半導体中のキャリアは電子または正孔のどちらかであるとする。電子および正孔の1個あたりの電荷の大きさは電気素量 e と等しいとして以下の問いに答えよ。
- (i) 半導体中のキャリアはすべて速さが v で y 軸方向に移動するとして、電流の大きさ I を w 、 d 、 n 、 e 、 v を用いて表せ。
- 次に、この半導体に z 軸の正の向きに大きさ B の一様な磁束密度を加えた。
- (ii) このとき、キャリア1個が受けるローレンツ力の大きさは、いくらになるか。また力の向きは x 軸の正あるいは負のどちらになるか答えよ。
- (iii) 半導体中のキャリアはローレンツ力によって面Pあるいは面Qに集まり、他方は少なくなる。この結果、半導体内部には x 軸方向に電場が生じる。キャリアがこの電場から受ける力と磁束密度から受ける力が釣り合うと、キャリアは y 軸と平行に運動するものとする。このときの電場の強さを E を B 、 v を用いて表せ。
- (iv) (iii) でキャリアが y 軸と平行に運動するようになったとき、半導体の面Pと面Qの間の電位差 V を測定した。この半導体中のキャリアの数密度 n を I 、 B 、 d 、 e 、 V を用いて表せ。
- (v) (iv) の結果を用いて、 $I = 1.0 \times 10^{-2} \text{ A}$ 、 $B = 0.50 \text{ T}$ 、 $d = 1.0 \text{ mm}$ 、 $V = 1.0 \times 10^{-2} \text{ V}$ 、 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ のとき、 n [個/ m^3] の値を求めよ。
- (vi) (iv) で面Pの電位の方が面Qの電位より高かった。この半導体のキャリアは、正孔または電子のどちらか。

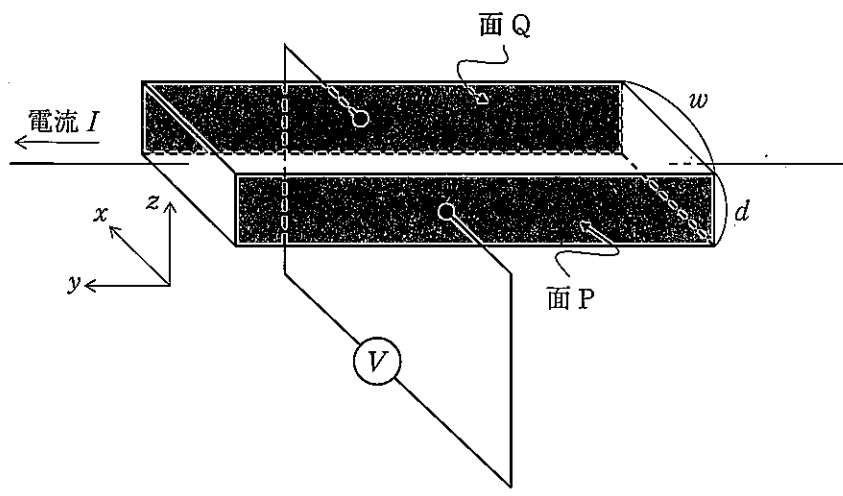


图 1