

物 理

注 意 事 項

1. 「解答始め」の合図があるまでこの冊子は開かないこと。
2. この冊子は表紙を除いて12ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、黒板等に掲示又は板書してある問題冊子ページ数・解答用紙枚数・下書き用紙枚数が、自分に配付された数と合っているか確認し、もし数が合わない場合は手を高く挙げ申し出ること。次に、受験番号・氏名を必ずすべての解答用紙の指定された箇所に記入してから、解答を始めること。
4. 解答は、必ず解答用紙の指定された箇所に横書きで記入すること。

1

図1-1のように、水平に置かれたあらい板B上に物体A(質量 m)があり、物体Aを図中の矢印の向きに水平に引いた。引く力の大きさとあらい板Bと物体Aの接触面で生じる摩擦力の大きさの関係が図1-2の実線で表された。すなわち、物体Aが動き出す直前の摩擦力の大きさが F_1 となり、引く力の大きさが f_1 に達すると物体が動き出して摩擦力の大きさは F_2 で一定となった。その際、あらい板Bは動かないものとする。このあらい板B上の物体Aの運動に関する【実験1】および【実験2】の文章を読み、(1)~(5)の問いに答えよ。なお、物体Aにはたらく空気抵抗は無視でき、重力加速度の大きさを g とする。



図1-1

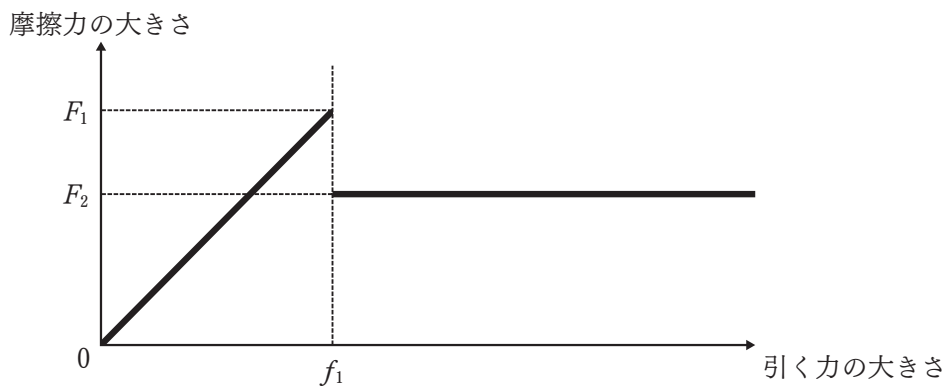


図1-2

【実験 1】

実験 1 は，図 1-1 に示すように，水平に置かれたあらい板 B 上の物体 A を，図中の矢印の向きに水平に引いた。

- (1) 物体 A が静止しているとき，物体 A にはたらく重力 G ，およびあらい板 B から受ける垂直抗力 N ，静止摩擦力 S を解答欄の図中に矢印で図示せよ。引く力の大きさと物体 A にはたらく重力の大きさは異なる。その際，力の向きと矢印の向きを対応させ，矢印がどの力を表しているか，それぞれの記号 (G ， N ，および S) を付記すること。また，大きさが等しい力には，矢印に同じ記号 (例： $\text{---}\bigcirc\text{---}\rightarrow$ ， $\text{---}\# \text{---}\rightarrow$) を付すこと。なお，矢印の長さと，力の大きさの対応は不問とする。
- (2) 物体 A を大きさ P_1 の力で引いたところ，物体 A は動かなかった。このとき，物体 A があらい板 B から受ける静止摩擦力の大きさを答えよ。
- (3) あらい板 B と物体 A の接触面の動摩擦係数を答えよ。その際，物体 A の質量 m を用いて答えよ。

【実験 2】

実験 2 では、図 1-3 のように物体 A が置かれたあらい板 B を傾ける。このとき、水平方向とあらい板 B がなす角を θ ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) とする。ただし、物体 A はあらい板 B から離れることなく運動するものとする。

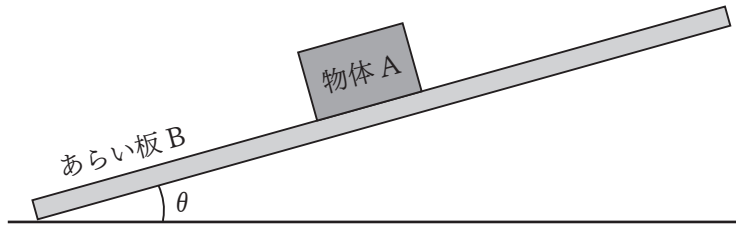


図 1-3

- (4) あらい板 B を水平から徐々に傾けていくと、 θ の値が θ_1 をこえたとき物体 A がすべり始めた。このとき、 θ_1 と図 1-2 中に示された摩擦力の大きさ F_1 の関係は、 $\tan \theta_1 = \square$ で表される。 \square に入る適切な数式を答えよ。その際、物体 A の質量 m を用いて答えよ。

- (5) 図1-4のように、 $\theta = \theta_2$ に固定し、物体Aに斜面方向上向きの初速 v_0 を与え、あらい板Bの斜面に沿ってすべり上がらせると、しばらくしてあらい板B上で停止した。物体Aが、あらい板B上をすべった距離を L とするとき、 $L = \boxed{\text{(ア)}} \times v_0^2$ である。 $\boxed{\text{(ア)}}$ に入る適切な数式を答えよ。なお、この設問では、あらい板Bと物体Aの接触面の動摩擦係数を μ' とし、答えの導出過程を記述すること。

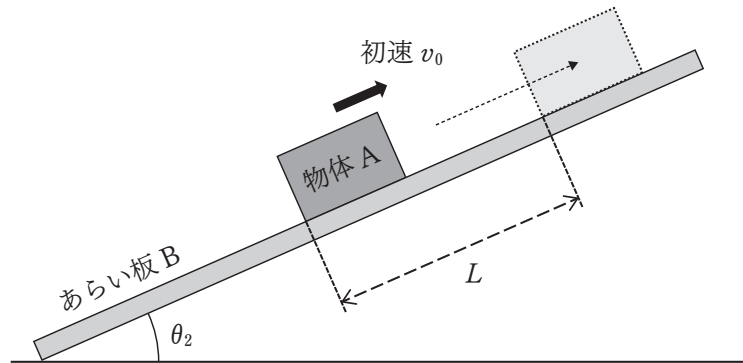


図1-4

2 次の文章を読み、(1)、(2)の問いに答えよ。ただし、温度とは絶対温度を表すものとし、気体定数を R とする。

(1) 次の文章の空欄①～③に入る適切な語句、または数式を、下の選択肢ア～キの中から一つずつ選び、記号で答えよ。

物質 1 モルの理想気体の内部エネルギーの変化 ΔU と温度変化 ΔT との関係が、 $\Delta U = C\Delta T$ と与えられるとき、 C は を表している。単原子分子理想気体の場合、 C の値は である。 ΔU が気体に与えられた熱量と の差に等しいことを表すのが、熱力学第一法則である。

【選択肢】

- ア 定圧モル比熱 イ 定積モル比熱 ウ $\frac{1}{2}R$ エ $\frac{3}{2}R$
オ $\frac{5}{2}R$ カ 気体に加えられた仕事 キ 気体が外部にした仕事

(2) 図 2-1 のように、ばね定数 k のばねを取り付けた断面積 S のピストンがシリンダー内部を 2 つの部分に分けている。シリンダーとピストンは断熱材でできており、ピストンは、固定されていないときは滑らかに動くことができる。ピストンが左端にあるときにはばねは自然の長さになるものとし、この位置を $x = 0$ としてピストンの位置を x 座標で表す。シリンダーの左端には加熱装置 H が設置されており、左端には弁 A 、右端には弁 B がある。大気圧を p_0 とする。以下、「気体」とはピストンの左側にあるシリンダー内の気体を指すものとする。

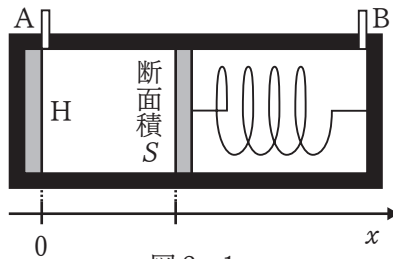


図 2-1

- (i) はじめ、両方の弁が閉じられている状態でピストンは $x = 0$ の位置にあり、ピストンの右側は真空であるとする。理想気体を弁 A からポンプでゆっくりと注入し、ピストンが $x = a$ まで移動した瞬間に弁 A を閉じた。弁 A を閉じた後の気体の物質量を n として、このときの気体の圧力 p と温度 T_1 を求めよ。
- (ii) 次にピストンを $x = a$ の位置で固定して弁 B を開き、外気が自由に入出力できるようにしてから、 H を用いてゆっくり気体を加熱した。これによって気体の圧力が上昇する。ピストンの固定を外してもピストンが動かない状態まで圧力が上昇したところで加熱を止めた。このときの気体の温度 T_2 を R, k, S, p_0, n, a で表せ。導出過程も答えること。

(iii) ピストンの固定を外した状態で、引き続き H を用いてゆっくり気体を加熱すると、ピストンが $x = b$ の位置 ($a < b$) まで移動した。この過程で気体が外部にした仕事 W と、吸収した熱量 Q を R, k, S, p_0, n, a, b で表せ。ただし気体は単原子分子からなるものとする。

(iv) 前の問(i)から問(iii)までの全過程を、ピストンの x 座標を横軸に、「気体の物質量と温度の積」を縦軸にとってグラフにしたとき、最も適切なものを図 2-2 から選び記号で答えよ。

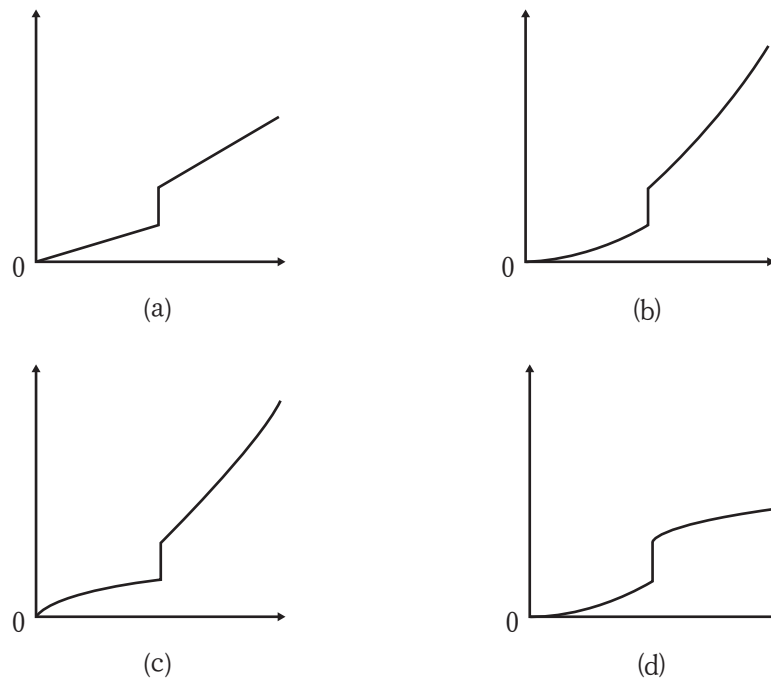


図 2-2

試験問題は次に続く。

3 空気中で、平面と球面からなる平凸レンズを、凸面を下にして平面ガラスの上に置く。平凸レンズの真上から平面に垂直に単色光を当てて真上から観察すると、平凸レンズと平面ガラスの接点を中心とする同心円状の明暗の縞模様(明環と暗環)が現れる。この縞模様はニュートンリングとしてよく知られている。

このニュートンリングについて、図3-1のように実験を行い、真上から観察した。平凸レンズの球面の半径を R とし、平凸レンズの凸面上の一点を A 、その鉛直方向直下の平面ガラス上の点を B とする。点 AB 間の距離は d である。点 O は平凸レンズの球面の中心にあたる。平凸レンズと平面ガラスの接点 C から点 B までの距離は x である。真上から光を当てると、平凸レンズ凸面上の点 A で反射する光と、平面ガラス上面上の点 B で反射する光の干渉によるニュートンリングが観察された。この観察実験では、 R は十分に大きく、真上からの入射光は点 A で真上に反射すると考えてよい。また、入射する光の波長を λ とし、 $d \ll R$ である。

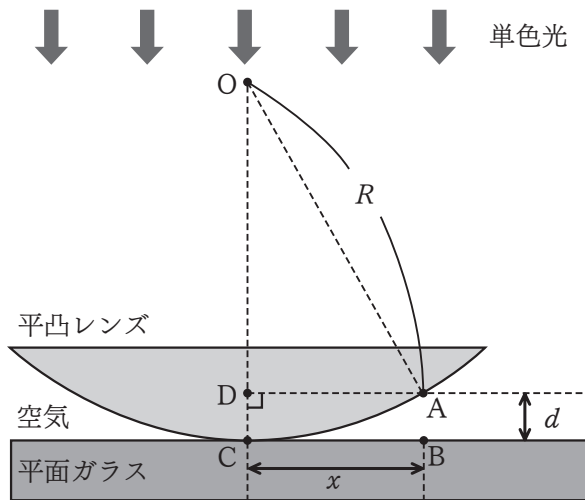


図3-1

- (1) 上の文中の下線部「単色光」とは何か、「色」以外の語句を用いて説明せよ。
- (2) x と R と d の間に $x^2 = 2dR$ の関係が成り立つことを説明せよ。ただしその過程では $\left| \frac{d}{R} \right| \ll 1$ のときに成立する次の近似式を必ず用いよ。
- $$\left(1 + \frac{d}{R} \right)^n \doteq 1 + n \frac{d}{R}$$
- (3) 真上から入射して点 A と点 B で反射した光が干渉し、明環として観察されるとき x を、 R 、 λ 、 m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて表せ。また、答えの導出過程も記せ。
- (4) m 番目と $m + 1$ 番目 ($m = 0, 1, 2, \dots$) の明環の間隔を Δx とすると、 Δx は m の値に応じてどのように変化するか、解答欄にその概形を描け。
- (5) 図 3-2 のように平凸レンズと平面ガラスの間を液体で満たして同様に実験を行ったところ、ニュートンリングは観察されなかった。この液体の屈折率は、平凸レンズおよび平面ガラスの屈折率とどのような関係にあるか答えよ。またニュートンリングが観察されない理由もあわせて答えよ。

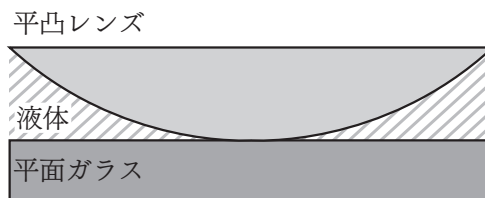


図 3-2

4 半導体について、以下の問いに答えよ。

- (1) 次の文章中の空欄 に入る最も適切な語句または数値を答えよ。ただし、空欄①と空欄②の答えは、選択肢から選べ。

導体と不導体(絶縁体)は、常温での抵抗率の大小によって区別されており、それらの中間の抵抗率を示す ① や ② の純粋な結晶は真性半導体と呼ばれる。

① や ② の真性半導体にその原子数の $10^{-7} \sim 10^{-6}$ 程度のわずかな不純物を混入したものを不純物半導体という。リンなどの最外殻に ③ 個の電子をもつ物質を不純物として混入した不純物半導体を n 型半導体といい、キャリアの電荷の符号は、 ④ である。一方、アルミニウムなどの最外殻に ⑤ 個の電子をもつ物質を混入した不純物半導体を p 型半導体といい、キャリアの電荷の符号は、 ⑥ である。

①と②の選択肢

金	銀	ケイ素	タングステン
銅	鉄	ニッケル	ゲルマニウム

- (2) 直流電源に図 4-1 のような半導体ダイオードを接続した場合において、半導体ダイオード内のキャリアに関する以下の各問いに答えよ。なお、図中の○と●は、n 型半導体と p 型半導体のそれぞれのキャリアを示す。

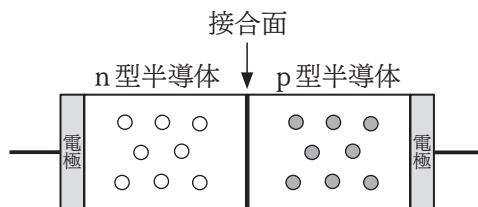


図 4-1

- (i) 半導体ダイオードを順方向に接続する場合の直流電源の正極と負極の記号を解答欄の図中に記入せよ。また、n型半導体内のキャリアの移動する向きとp型半導体内のキャリアの移動する向きを解答欄の図中にそれぞれ矢印で記入せよ。
- (ii) 半導体ダイオードを逆方向に接続する場合の直流電源の正極と負極の記号を解答欄の図中に記入せよ。また、n型半導体内のキャリアの移動する向きとp型半導体内のキャリアの移動する向きを解答欄の図中にそれぞれ矢印で記入せよ。
- (iii) 直流電源に半導体ダイオードを逆方向に接続した場合のpn接合面付近のキャリアの状態を文章で説明せよ。
- (3) 図4-2のように xy 平面上に幅 w 、高さ h 、奥行き d の直方体のn型半導体をおき、 z 軸の正の向きに磁束密度の大きさが B の一様な磁場を加えた。大きさが I の電流を y 軸の正の向きに流したところ、n型半導体内を直進するキャリアの速度が y 成分のみとなり、面Pと面Qの間の電圧の大きさが V となった。以下の各問いに答えよ。なお、n型半導体内のキャリアの電気量の大きさは e を用いよ。

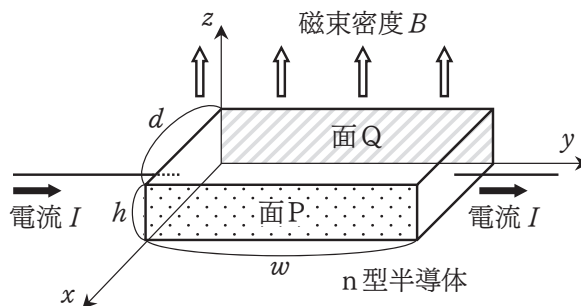


図4-2

- (i) 面Pの電位 V_P と面Qの電位 V_Q の大小関係を不等式で答えよ。
- (ii) この不純物半導体内のキャリアの速さ v と単位体積当たりのキャリアの数 n を求めよ。ただし、導出過程も記述せよ。

