

補足説明

物理 ②

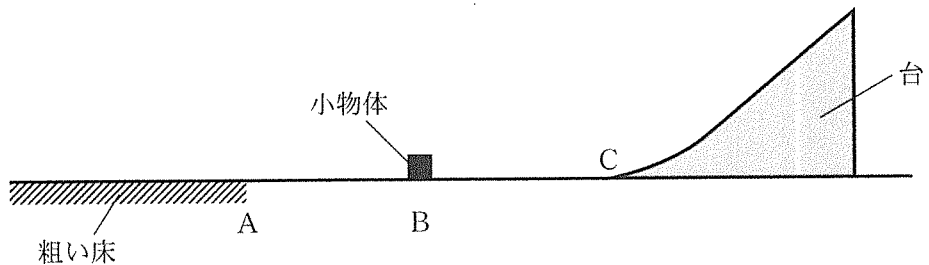
この問題における「温度」は「絶対温度」  
のことである。

# 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、表紙を除き、8ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、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、解答用紙をミシン目に沿って落ち着いて丁寧に別々に切り離し、学部名・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 図のように、水平な床に質量  $m$  の小物体と質量  $M$  の台が置かれている ( $m < M$ )。点 A より左側の床面は粗く摩擦力がはたらくが、それ以外の床と台のすべての面はなめらかで摩擦力ははたらかない。台の斜面は先端部 C で床と接しており、小物体は台と床の境界をなめらかに通過する。小物体の大きさ、小物体と台に働く空気抵抗は無視できる。小物体と粗い床の間の動摩擦係数を  $\mu'$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とする。



図

【実験 1】

はじめに、台を床の上に固定し、点 A と先端部 C の間にある点 B から小物体を台に向かって速さ  $v_0$  ですべらせた。小物体は台の斜面をすべり上がり、最高地点に到達したのち、斜面をすべり下りて点 A を速さ  $v_0$  で通過し、粗い床の上を点 A から一定の距離だけ移動して静止した。なお、この過程で小物体は床面または台の斜面から離れることなく移動した。このとき、次の(1)、(2)に答えなさい。

- (1) 小物体が到達した最高地点の床面からの高さを求めなさい。
- (2) 粗い床の上を移動中の小物体の加速度と、点 A から静止するまでに移動した距離を求めなさい。ただし、加速度は図の水平右向きを正とする。

【実験 2】

次に、台を床の上に固定せずに静止させて置き、点 B から小物体を台に向かって速さ  $v_0$  ですべらせた。小物体が台に乗ると同時に、台は床の上を水平右向きに動きだした。小物体は動いている台の斜面をすべり上がり、最高地点に到達したのち、斜面をすべり下りて床にもどった。なお、この過程で小物体は床面または台の斜面から離れることなく移動した。このとき、次の(3)、(4)に答えなさい。

- (3) 小物体が最高地点に到達したとき、小物体と台の速さは同じになった。次の(a)、(b)に答えなさい。

- (a) このときの速さとして適切なものを、次の選択肢(ア)～(カ)から選び記号で答えなさい。

$$\begin{array}{lll} \text{(ア)} \quad \frac{(M+m)v_0^2}{2} & \text{(イ)} \quad \frac{(M-m)v_0^2}{2} & \text{(ウ)} \quad \frac{2Mv_0}{M-m} \\ \text{(エ)} \quad \frac{2mv_0}{M-m} & \text{(オ)} \quad \frac{Mv_0}{M+m} & \text{(カ)} \quad \frac{mv_0}{M+m} \end{array}$$

- (b) 小物体が到達した最高地点の床面からの高さを求めなさい。なお、導出過程も記述しなさい。

- (4) 小物体が斜面をすべり下りて点 B を通過したとき、小物体と台の速度は、それぞれいくらか求めなさい。ただし、速度は図の水平右向きを正とする。なお、導出過程も記述しなさい。

2 気体の変化に関する次の文章【実験1】から【実験4】を読み、文章中の  ~  の中に入る適切な数式を答えなさい。ただし、 については、答えの導出過程も答えなさい。また、 ~  の中に入れるのに最も適当なものを、後に示す選択肢から選び、記号で答えなさい。以下では、容器は鉛直に立てられており、気体は容器内も外も同一の理想気体とする。また、実験1から実験3では、容器は熱を通しやすく、容器内外の気体の温度は等しいものとする。

【実験1】 図1に示すように、穴の開いた固定されたふたをもつ円筒容器がある。容器内外の気体は温度  $T_0$ 、圧力  $p_0$  で、容器内の斜線部には物質量  $n$  の気体が入っていた。この状態から圧力を一定に保ったまま、容器内外の気体をゆっくり加熱して温度を  $T_1$  にした。この過程で、容器内の斜線部にある気体の物質量は  だけ減った。

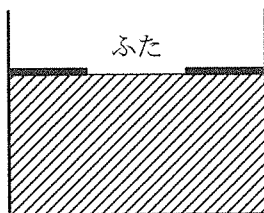


図1

【実験2】 図2に示すように、容器のふたを、なめらかに動く、重さの無視できるピストンと交換し、容器内に気体を閉じ込めた。温度  $T_0$ 、圧力  $p_0$ 、容器内の体積  $V_0$  の状態から、圧力を一定に保ったまま、ゆっくり加熱して容器内外の温度を  $T_1$  にした。このとき、容器内の気体の体積は  $V_0$  を含む数式で表すと  となり、この変化の間に容器内の気体が外にした仕事は  である。

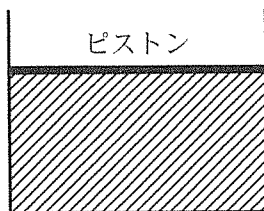


図2

【実験 3】 実験 2 に続いて、図 3 に示すように容器内外の温度を  $T_1$ 、容器外の圧力を  $p_0$  に保ったまま、ピストンに質量  $m$  のおもりを静かにのせた。おもりをのせた後も温度変化はなかった。この時、ピストンの断面積を  $S$ 、重力加速度の大きさを  $g$  とすると、容器内の気体の圧力は  になった。この変化の間に、容器内の気体は  。また、容器内の気体の内部エネルギーは  。

【実験 4】 おもりを外し、実験 2 が終わった状態にもどした後に、図 3 の容器を断熱材でおおい、容器の内と外の熱の出入りをなくした。この状態でピストンに質量  $m$  のおもりを静かにのせると、容器内の気体の内部エネルギーは  。よって容器内の温度は  。また、容器内の体積は、実験 3 が終わったときの体積と比べて  。なお、容器外の圧力は  $p_0$  のままとし、ピストンは熱を伝えないものとする。

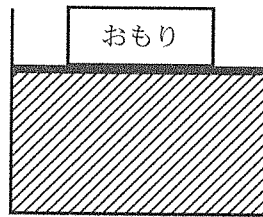


図 3

(E)の選択肢

(ア) 外に仕事をした (イ) 仕事をしなかった (ウ) 外から仕事をされた

(F)の選択肢

(ア) 増加した (イ) 変わらなかった (ウ) 減少した

(G)の選択肢

(ア) 増加した (イ) 変わらなかった (ウ) 減少した

(H)の選択肢

(ア) 上がった (イ) 変わらなかった (ウ) 下がった

(I)の選択肢

(ア) 大きくなった (イ) 変わらなかった (ウ) 小さくなった

3

光の干渉に関する次の問いに答えなさい。

- (1) 次の文章を読み、文章中の (A) ～ (E) を適切に埋めなさい。  
 ただし、(B) , (D) については、後に示す選択肢から適切なものを選び、記号で答えなさい。また、赤、緑、青色の光の波長はそれぞれ、680 nm, 530 nm, 470 nm 程度( $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ )である。

図 1 に示すような光が通らない部分(遮光部)と光が通る部分(透明部)が一方方向にのみ繰り返される回折格子(格子定数  $d$ )がある。この回折格子を、図 2 に示す位置に置き、回折格子の透明部上の点  $O'$  を中心に、波長  $\lambda$  の平行な単色光を回折格子に垂直に入射した。このとき、回折格子から  $l$  の位置にある、回折格子と平行なスクリーン上の点  $P$  に明線が観察された。点  $O'$  に入射した光がそのまま直進したときにスクリーン上にあたる位置を点  $O$  とし、 $O'O$  と  $O'P$  がなす角を  $\theta$  とする。点  $O'$  付近を拡大した図 3 において、点  $O'$  を通り点  $P$  に至る光と、点  $O'$  の隣の透明部上の点  $S$  を通り点  $P$  に至る光の経路差は、 $d$  が  $l$  より十分小さいためこれらの光が平行であるとみなすと  $O'Q$  の長さに等しく、(A) である。この 2 つの光は強め合っているので、経路差は (B) ( $m$  は 0 以上の整数) でなければならない。点  $O$  と点  $P$  の間に明線がないときの  $OP$  間の距離を  $x$  とし、 $\theta$  が十分小さいため  $\sin \theta \cong \tan \theta = \frac{x}{l}$  を用いると、 $x$  は波長  $\lambda$  を用いて (C) である。次に、波長  $\lambda$  の光の代わりに、白色光を回折格子に垂直に入射させた。このとき、点  $O$  上には (D) の明線が観察され、その両側の暗い領域の外側には光の帯(スペクトル)が観察された。その光の帯の中では、光の三原色、赤、緑、青は、 $\theta = 0$  に近い方から、(E) の順に現れた。

(B)の選択肢

(ア)  $2m\lambda$     (イ)  $\left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$     (ウ)  $m\lambda$     (エ)  $\frac{m\lambda}{2}$

(D)の選択肢

(カ) 白色    (キ) 赤色    (ク) 黄色    (ケ) 緑色    (コ) 青色

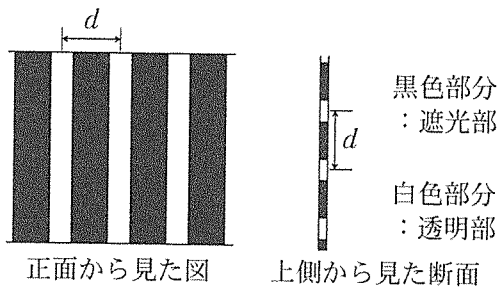


図 1

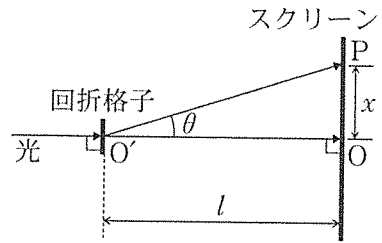


図 2

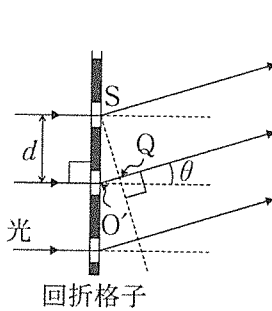
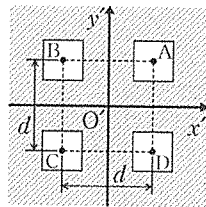


図 3



正面から見た図  
斜線部分 : 遮光部  
白色部分 : 透明部

図 4

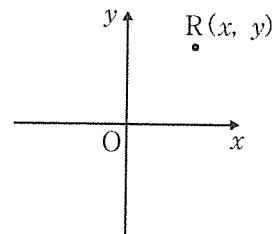


図 5

(2) 図 4 に示すような 4 つの透明部がある板(厚さは無視できるほど薄い)がある。透明部の大きさはすべて同じで、横、縦ともに 2 列に並んでいる。透明部の中心点を図 4 のように点 A, B, C, D とし、これらの間の距離は横、縦方向にともに  $d$  である。このとき、点 A, B, C, D がつくる正方形の中心を点  $O'$  として、点  $O'$  から右、上向きにそれぞれ、 $x'$ 、 $y'$  軸をとる。この板を図 2 の回折格子と  $O'$  が重なるように入れ替え、波長  $\lambda$  の単色光を板に垂直に入射した。スクリーン上の点 O から  $x'$ 、 $y'$  軸と同じ向きにそれぞれ、 $x$ 、 $y$  軸をとり、点  $(x, y)$  を点 R とする(図 5)。点 A, B, C, D から点 R に至る経路長を AR, BR, CR, DR とすると、AR とそれ以外の経路の差が  $BR - AR = \frac{xd}{l}$ 、 $CR - AR = \frac{xd}{l} + \frac{yd}{l}$ 、 $DR - AR = \frac{yd}{l}$  となることを導出しなさい。導出の際は、 $l$  に対して、 $d$ 、 $x$ 、 $y$  は十分小さいとする。また、 $|z|$  や  $|z'|$  が 1 より十分小さいとき、 $\sqrt{1+z+z'} \approx 1 + \frac{1}{2}(z+z')$  としてよい。ただし、ここでの  $\lambda$  および  $d$  は、(1)における波長  $\lambda$  と格子定数  $d$  とそれぞれ同じとする。

(3) (2)の実験で、点 R の位置が  $(\frac{l\lambda}{d}, \frac{l\lambda}{d})$  であるとき、点 A, B, C, D から点 R に至る光が干渉して強め合うか、弱め合うか、理由とともに答えなさい。



- 4 図1のように、電気容量  $C$  のコンデンサー、抵抗値  $R$  の抵抗、電圧  $V_0$  の電池 2 個およびスイッチ  $S$  からなる回路がある。最初、コンデンサーに電荷がない状態で、時刻  $t = 0$  でスイッチ  $S$  を(a)に入れると、回路に流れる電流  $I$  は、最初  $I_0$  でその後、図2のように変化し、時刻  $t = T$  で電荷  $Q_C$  がコンデンサーに蓄えられた。以下の各問に答えなさい。ただし、電流  $I$  は図1の矢印の向きを正とし、時刻  $t = T$  で  $I = 0$  と見なせるものとする。

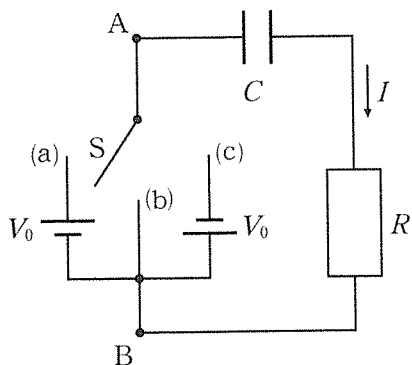


図1

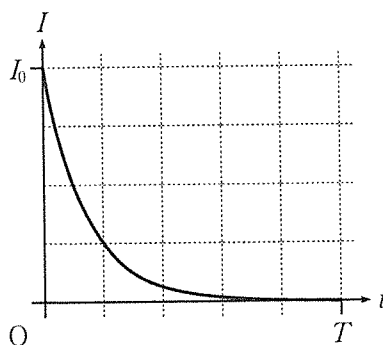


図2

- (1) 時刻  $0 < t < T$  において、電圧  $V_0$  と、回路に流れる電流  $I$  およびコンデンサーに蓄えられている電荷  $Q$  との関係式を答えなさい。また、電流  $I_0$  および電荷  $Q_C$  を、電圧  $V_0$  を含む数式で表しなさい。
- (2) コンデンサーに蓄えられている電荷  $Q$  の時間変化の概形をグラフに描きなさい。
- (3) 時刻  $t = T$  において、コンデンサーに蓄えられている静電エネルギー  $E_C$  および時刻  $t = 0$  から  $t = T$  までの間に抵抗で発生したジュール熱(消費されたエネルギー)  $E_R$  を求めなさい。ただし、解答は電圧  $V_0$  と電荷  $Q_C$  を含む数式で答えなさい。また、エネルギー  $E_R$  の導出過程も述べなさい。なお、電池が電荷  $q$  を電位差  $V_0$  だけ移動させる仕事は  $qV_0$  である。

- (4) コンデンサーに電荷がない状態から、スイッチ S を時刻  $t = 0$  に(a),  $t = T$  に(b),  $t = 2T$  に(c),  $t = 3T$  に(b),  $t = 4T$  に(a),  $t = 5T$  に(b)と順に切り替える。このとき、点 AB 間の電位差  $V$  と回路に流れる電流  $I$  の時間変化の概形を  $0 < t < 6T$  の範囲でグラフに描きなさい。ただし、スイッチは瞬時に切り替わり、その間、コンデンサーの電荷は変化せず、また、切り替わる直前の電流は  $I = 0$  と見なせるものとする。なお、電位差  $V$  は点 A が点 B より高い場合を正とし、 $V$ ,  $I$  いずれもスイッチが切り替わる瞬間は描かなくてよい。