

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9ページである。
3. 「解答始め」の合図があったら、まず、黒板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、自分に配布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

1—1

万有引力の大きさは、次式で与えられる。

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad \text{①}$$

ここで、 F は2つの物体にはたらく引力の大きさ、 m_1 と m_2 は2つの物体それぞれの質量、 r は2つの物体の間の距離、 G は万有引力定数である。下の問いに答えよ。ただし、地球は密度が一様で完全な球体とし、大気、地球の運動、地球以外の他の天体の影響は無視できるものとする。

- (1) 地球の質量を M 、地球の半径を R としたとき、極における重力加速度の大きさ g を求めよ。
- (2) 人工衛星が、地球の中心を中心とする半径 r_R の円軌道を周期 T で等速円運動している。このときの半径 r_R を G 、 M 、 T を用いて示せ。

図1のように、一端を天井に固定した軽くて伸びない糸の他端に、質量 m の小球 B が吊り下げられている。同様に質量 m の小球 A が吊り下げられ、はじめ、2つの小球は最下点で、接触した状態で静止していた。小球 A を糸がたるまないように、高さ h まで持ち上げて静かに離し、小球 B に衝突させた。小球 A, B が衝突する際の反発係数(はねかえり係数)を $e = 0.5$ としたとき、下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとする。

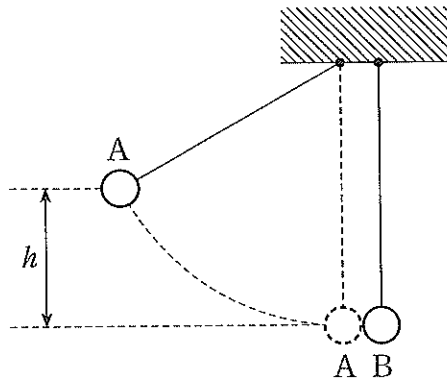


図1

- (1) 衝突直前の小球 A の速さ v_A を求めよ。
- (2) 衝突後の小球 A, B の運動について述べた文として最も適当なものを、次の(ア)~(オ)のうちから一つ選べ。
 - (ア) 小球 A は最下点に停止し、小球 B は右に動く
 - (イ) 小球 A は左に動き、小球 B は右に動く
 - (ウ) 小球 A と小球 B は、接触したまま共に右に動く
 - (エ) 小球 A と小球 B は離れて、どちらも右に動く
 - (オ) 小球 B は最下点に静止したまま、小球 A は左に動く
- (3) 衝突直後の小球 A, B の速さ v_A' , v_B' を求めよ。また、このときに失われた運動エネルギーの大きさを、 v_A を用いて示せ。

2

ピストンのついたシリンダーの中に、単原子分子の理想気体を閉じ込めた熱機関がある。はじめ、気体の体積は $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3$ 、気体の圧力は $2.0 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、気体の温度は $3.0 \times 10^2 \text{ K}$ であった。このときの気体の状態を A とし、図 2 で示すように気体の状態を $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ と変化させた。図 2 の横軸は気体の体積 $V[\text{m}^3]$ 、縦軸は気体の温度 $T[\text{K}]$ である。過程 $A \rightarrow B$ と過程 $C \rightarrow D$ は定積変化、過程 $B \rightarrow C$ と過程 $D \rightarrow A$ は等温変化である。過程 $A \rightarrow B$ 、過程 $B \rightarrow C$ で気体が吸収した熱量を Q_{AB} 、 Q_{BC} 、過程 $C \rightarrow D$ 、過程 $D \rightarrow A$ で気体が放出した熱量を Q_{CD} 、 Q_{DA} とする。気体の物質量は常に一定で、ピストンはゆっくりとなめらかに動き、ピストンの質量は無視できるものとして、下の問いに答えよ。ただし、気体定数を $8.3 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$ とする。

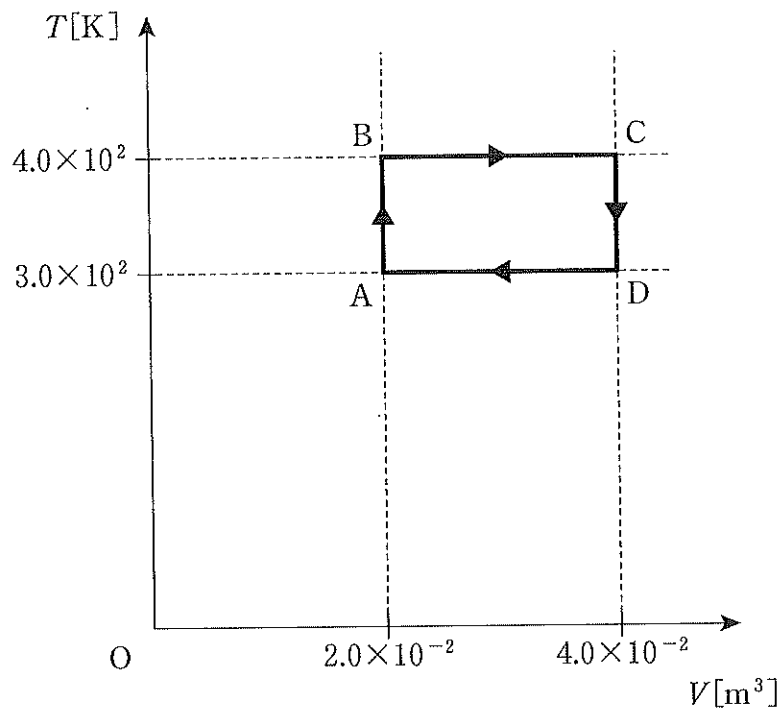
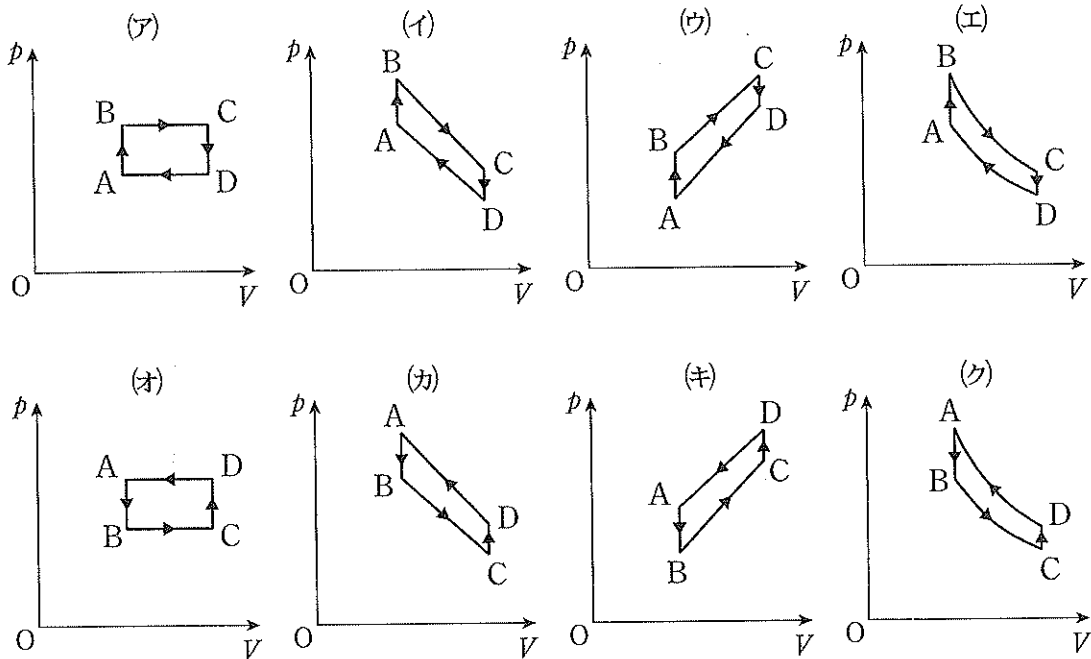


図 2

- (1) 状態 B での気体の圧力 p_B [Pa] の値を求めよ。
- (2) 過程 A→B で気体が吸収した熱量 Q_{AB} [J] の値を求めよ。
- (3) 過程 B→C における内部エネルギーの変化量 ΔU [J] の値を求めよ。
- (4) 状態 A→B→C→D→A と変化させたとき、気体の圧力 p と体積 V との関係を表すグラフとして最も適当なものを、次の(ア)~(ク)のうちから一つ選べ。



- (5) 状態 A→B→C→D→A の1サイクルで、気体が外部にした正味の仕事 W 、および効率(熱効率) e を Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DA} を用いて示せ。

3

図3のように、空気中にスリット S_0 、間隔 d で並んだ2つのスリット S_1 、 S_2 、スクリーンを置いた。 S_1 、 S_2 は S_0 から等距離であり、 S_1 、 S_2 からスクリーンまでの距離は L である。スクリーンの中央を原点 O とし、スクリーンに沿って x 軸を取る。光源から出た波長 λ の単色光を、 S_0 を通し回折させ、 S_1 、 S_2 を通過させるとスクリーンに明暗の縞模様(干渉縞)が写った。スクリーンに写った明線の位置を P とすると、その x 座標は、 $|x|$ や d が L に比べて十分に小さいとき、次の式で表される。

$$x = \pm \frac{mL\lambda}{d} \quad (m = 0, 1, 2, \dots) \quad \text{①}$$

下の問いに答えよ。ただし、空気の屈折率は1とする。

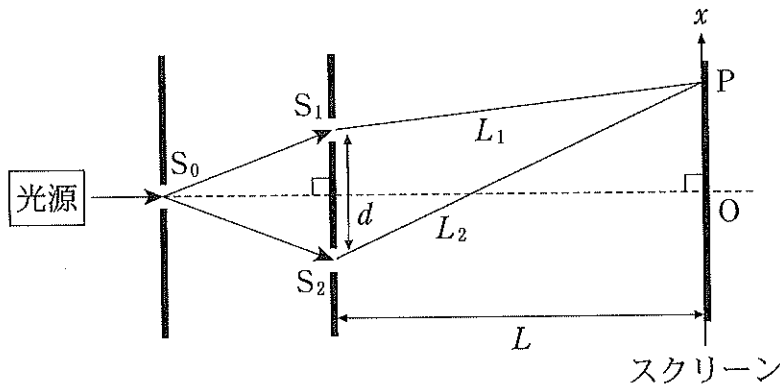


図3

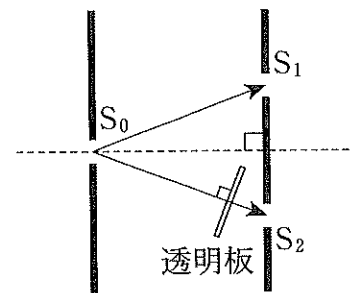


図4

- (1) 次の文章中の空欄(あ)~(え)に当てはまる式を答え、式①が成り立つことを示せ。

S_1 、 S_2 から点 P までの距離 L_1 、 L_2 は $L_1 = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$ 、 $L_2 =$ (あ) である。経路差 $|L_2 - L_1|$ は、近似式 $(1 + a)^p \approx 1 + pa$ ($|a|$ は1に比べて十分に小さい)を利用すると、 $|L_2 - L_1| =$ (い) となる。一方、明線となる条件は、 λ を用いて、 $|L_2 - L_1| =$ (え) ($m = 0, 1, 2, \dots$)と表される。したがって、明線の x 座標は、 $x = \pm \frac{mL\lambda}{d}$ である。

- (2) $L = 2.0 \text{ m}$ 、 $d = 5.0 \times 10^{-4} \text{ m}$ のとき、スクリーンに写ったとなり合う明線の間隔は 2.0 mm であった。このときの $\lambda[\text{m}]$ を求めよ。

(3) 図3の実験装置に、次の(a), (b), (c)の変更を行うと、それぞれ、スクリーンに写る干渉縞はどのように変化するか。下の選択肢(ア)~(キ)の中から最も適当なものを、1つずつ選べ。ただし、それぞれの変更は個別に行い、その都度、元に戻してから次の変更を行うものとする。

(a) 光源を取り替え、 λ を1.5倍にする。

(b) S_0 と S_1 , S_2 の間を屈折率1.5の媒質で一様に満たす。

(c) S_1 , S_2 とスクリーンの間を屈折率1.5の媒質で一様に満たす。

選択肢

(ア) 変化しない

(イ) となり合う明線の間隔が0.75倍になる

(ウ) となり合う明線の間隔が1.5倍になる

(エ) となり合う明線の間隔が3.0倍になる

(オ) となり合う明線の間隔が 1.5^2 倍になる

(カ) となり合う明線の間隔が $\frac{1}{1.5}$ 倍になる

(キ) となり合う明線の間隔が $\sqrt{1.5}$ 倍になる

(4) 図4のように S_0 と S_2 の間に、屈折率 n ($n > 1$)、厚さ t の薄い透明板を、 S_0 から S_2 の光路に垂直に置いたとき、 S_0 で回折して、 S_1 に到達する光と、 S_2 に到達する光の光路差を求めよ。また、透明板を入れる前に原点Oに写っていた明線($m = 0$)は、透明板を入れることによって、その位置が変化する。その x 座標を L , t , d , n を用いて示せ。

- 4 図5のように、原点 O から距離 a だけ離れた x 軸上の2点 A, B に、ともに電気量 Q の正の点電荷を固定した。下の問いに答えよ。ただし、クーロンの法則の比例定数は k とし、電位の基準点は無限遠とする。

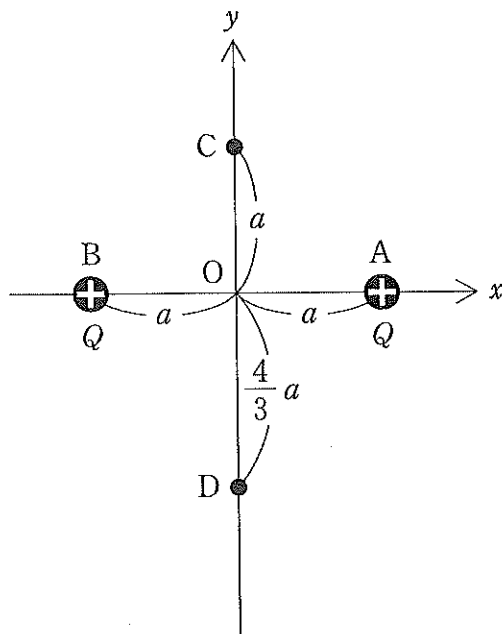
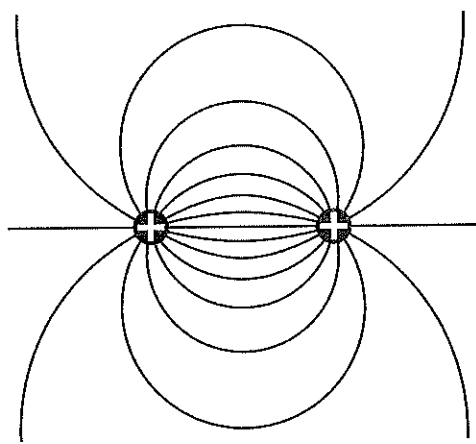
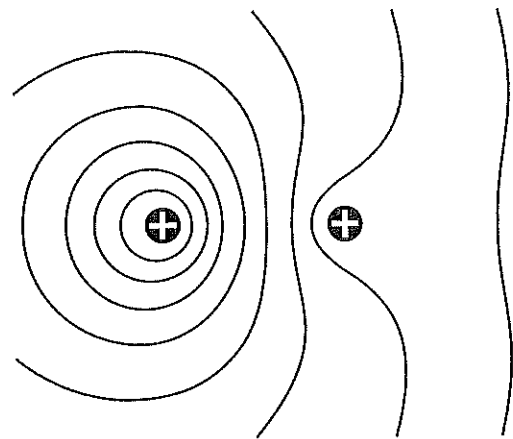


図5

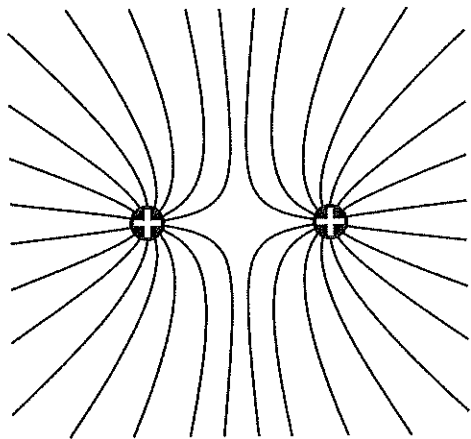
- (1) 点 A, B の周りの電気力線を表す図として、最も適当なものを図6の(ア)~(カ)のうちから一つ選べ。ただし、電気力線の向きを表す矢印は省略してある。
- (2) 点 A, B の周りの等電位線を表す図として、最も適当なものを図6の(ア)~(カ)のうちから一つ選べ。



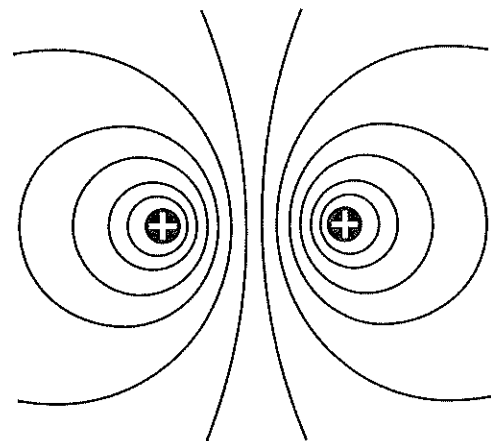
(ア)



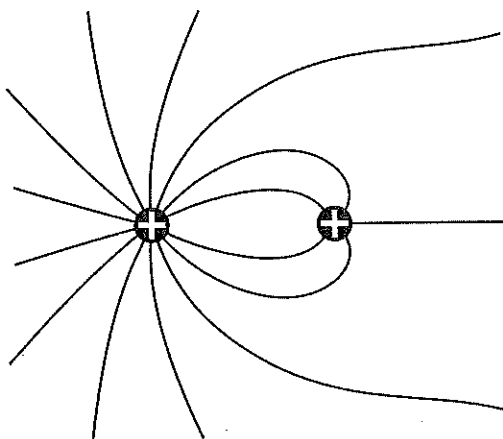
(イ)



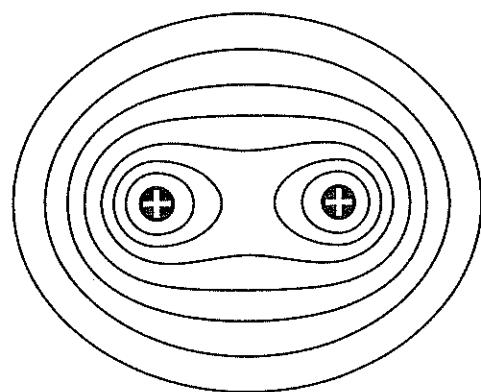
(ウ)



(エ)



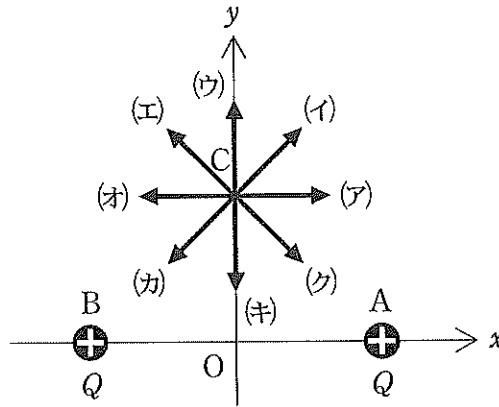
(オ)



(カ)

図 6

- (3) 図5の点Cにおける電場(電界)の大きさ E を求めよ。また、点Cにおける電場の向きとして最も適当なものを、次の(ア)~(ク)のうちから一つ選べ。



- (4) 図5の点Dに、質量 m 、電気量 $5Q$ の点電荷 P を置き、静かに手を離れたところ無限遠に飛び去った。無限遠における点電荷 P の速さ v を求めよ。ただし、点電荷 P にはたらく力は静電気力だけであるとする。