

物理

- 工学部（電子情報工学科／電気工学科）
- 情報工学部（情報工学科／情報通信工学科）

（一般選抜3教科型・2月9日実施分）

（解答：63ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

- 1 [I] 図1のように矢印の向きに等速円運動する物体の周期に着目し、以下の問いに答えよ。



図1

- (1) 周期 T の間に1周（角度 2π rad）進む等速円運動における角速度 ω を、 T を用いて答えよ。
- (2) 質量 m 、半径 r 、角速度 ω で等速円運動する物体の向心力の大きさ $mr\omega^2$ を質量 m 、半径 r 、周期 T を用いて答えよ。
- (3) 向心力の向きを図2の中の（あ）～（え）から一つ選び、記号で答えよ。

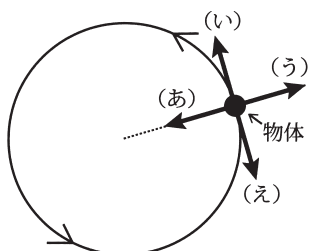


図2

[II] 図3のように、円錐の中心軸を鉛直にし、頂点を下にして設置した円錐型容器の中で質量 m の小物体が一定の高さの位置 h で等速円運動している ($h > 0$)。頂点において円錐面と中心軸のなす角は 45° である。小物体には図4のように重力加速度の大きさ g の重力と垂直抗力のみがはたらいており、空気抵抗と円錐型容器から受ける摩擦力は無視できるものとする。以下の問いに m 、 g 、 h のうち必要なものを用いて答えよ。

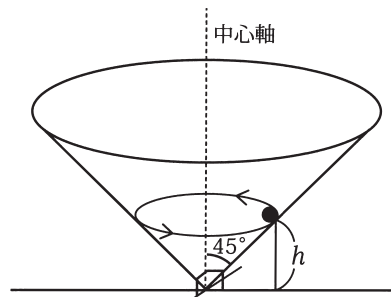


図3

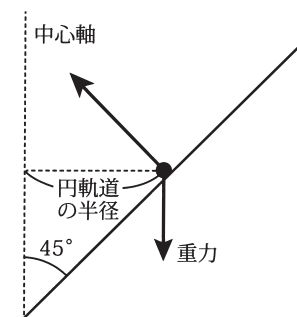


図4

- (4) 等速円運動の円軌道の半径を答えよ。
- (5) 垂直抗力の鉛直成分と重力がつりあっていることを利用して、垂直抗力の大きさを答えよ。
- (6) 垂直抗力の水平成分が向心力となることを利用して、等速円運動の周期を答えよ。

〔Ⅲ〕 図5のように半径 R の半球型容器の中で質量 m の小物体が一定の高さの位置 h で等速円運動している ($R > h > 0$)。図6は容器中心軸と物体を含む鉛直面の断面図である。小物体には重力加速度の大きさ g の重力と垂直抗力のみがはたらいており、空気抵抗と半球型容器から受ける摩擦力は無視できるものとする。以下の問いに m , g , h , R のうち必要なものを用いて答えよ。

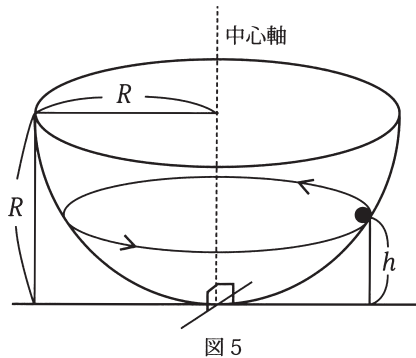


図 5

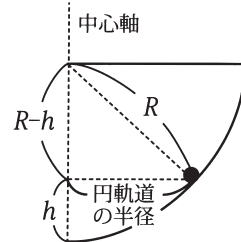


図 6

- (7) 等速円運動の円軌道の半径を答えよ。
- (8) 等速円運動の周期を答えよ。

〔Ⅳ〕 〔Ⅱ〕と〔Ⅲ〕の二種類の容器における周期を比較する。

- (9) 円錐型容器と半球型容器のそれぞれにおいて、物体が等速円運動する水平面の高さを低くすると、周期はそれぞれの容器でどうなるか。最も適切なものを以下の(あ)～(え)から一つ選び、記号で答えよ。
- (あ) 周期は円錐型容器においては短くなる一方、半球型容器では長くなる。
- (い) 周期は円錐型容器においては長くなる一方、半球型容器では短くなる。
- (う) 周期は円錐型容器でも半球型容器でも短くなる。
- (え) 周期は円錐型容器でも半球型容器でも長くなる。

2

図1に示すように、中心軸となる導体棒と半径 ℓ の導体環と中心 O を端とする長さ ℓ の導体棒 OP で構成する回転体がある。この回転体は、その中心軸と平行で磁束密度 B の一様な磁場（磁界）の中で、一定の角速度 ω で回転している。また、回転体の導体環と中心軸は、ブラシ電極 C 、抵抗値 R の抵抗、電流計 A 、スイッチ S およびブラシ電極 D を導線で接続した回路を介して接続されている。このようにブラシ電極を用いることで回転体の回転を妨げずに回路を電氣的に接続できる。磁束密度 B と回転の向きは図に示す矢印の向きであるとして、以下の問いに答えよ。ただし、導体棒および導体環の太さは無視でき、抵抗値 R の抵抗以外の電気抵抗と摩擦は無視できるものとする。また、電気素量を e ($e > 0$) とする。

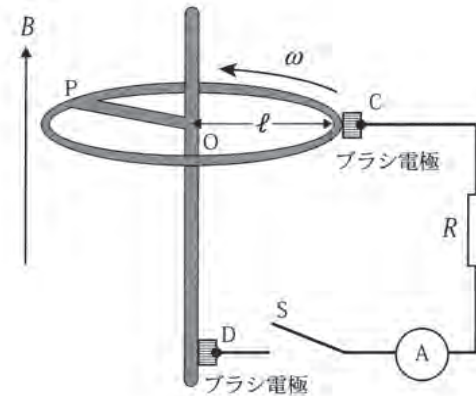


図 1

[I] スイッチ S を開いた状態のときを考える。ただし、導体棒の中の電子にはたらく遠心力は無視できるものとする。

- (1) 図 2 は、導体棒 OP を真上から見た図である。この導体棒中の電気量 $-e$ の電子の受ける力を考える。次の文章の空欄に入る最も適当なものを次の (あ) ～ (そ) から一つずつ選び記号で答えよ。

点 O から距離 r の位置にある電子の速さを v とすると、電子にはローレンツ力が (①) の向きにはたらく。このローレンツ力の大きさは v を用いて $f_B =$ (②) と表せる。一方、速さと角速度 ω には $v =$ (③) の関係があるので、 ω を用いて、 $f_B =$ (④)

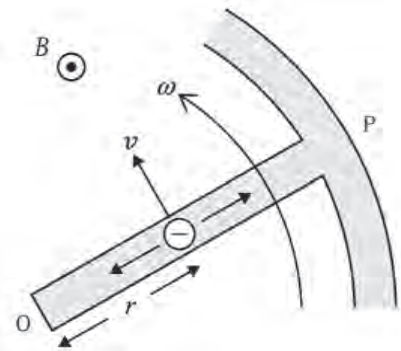


図 2

と表せる。この力によって O は (⑤) に、P は (⑥) に帯電する。この結果、導体棒内に電場 (電界) が生じ、この電場の大きさを E とすると電子には電場から $f_E =$ (⑦) の大きさの力が (⑧) の向きにはたらく。スイッチ S が開いているため最終的に電場は一定となり、この 2 つの力はつりあい、 $f_B = f_E$ となる。この結果、 $E(r) =$ (⑨) の関係式が得られる。

- (あ) $P \rightarrow O$ (い) $O \rightarrow P$ (う) 負 (え) 正 (お) $\frac{eB}{r\omega}$ (か) $\frac{er\omega}{B}$ (き) $er\omega B$
 (く) $\frac{E}{e}$ (け) eE (こ) $\frac{\omega}{r}$ (さ) $r\omega$ (し) $\frac{\omega B}{r}$ (す) $r\omega B$ (せ) $\frac{ev}{B}$ (そ) evB

- (2) 問(1)の OP 間の電場 $E(r)$ によって電位差 V が生じる。ここで、導体棒 OP を微小な長さ Δr の部分に分けて考えると Δr の部分には微小な起電力 $\Delta V = E(r)\Delta r$ が生じており、その総和が電位差 V である。この考え方より、電位差 V は、図 3 に示す三角形の面積と等しい。この考え方をういて電位差 V を求めよ。

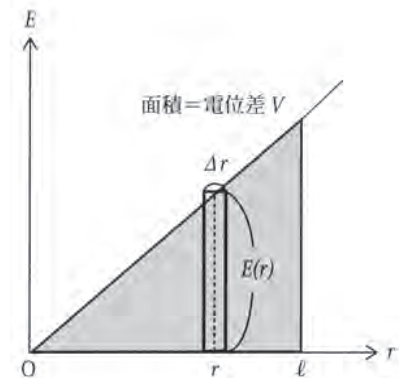


図 3

- (3) この電位差 V をファラデーの電磁誘導の法則の観点から考える。次の文章の空欄に入る最も適当なものを次の (あ) ～ (し) から一つずつ選び記号で答えよ。

導体棒 OP が微小時間 Δt の間に微小面積 ΔS を描いたとすると、 ΔS は半径 ℓ の円の一部である扇形の面積である。導体棒 OP は Δt の間に角度 (⑩) だけ回転するので、

$$\Delta S = (\text{⑪}) \cdots \text{式(1)}$$

と表せる。この扇型部分を貫く磁束が $\Delta \Phi$ であるとする、

$$\Delta \Phi = (\text{⑫}) \cdots \text{式(2)}$$

である。いま、ファラデーの電磁誘導の法則より誘導起電力の大きさは、

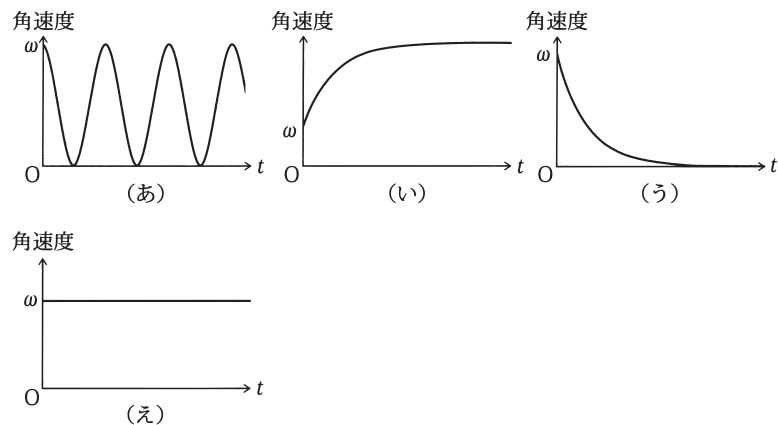
$$V = (\text{⑬}) \cdots \text{式(3)}$$

と表せる。そこで式(1), (2), (3)を用いると導体棒 OP 間に生じる電位差の大きさは $V =$ (⑭) と表せる。

- (あ) ℓ (い) $\frac{1}{2}\ell^2\omega\Delta t$ (う) $\ell^2\omega\Delta t$ (え) $\frac{\Delta t}{\Delta \Phi}$ (お) $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ (か) $\frac{\omega}{\Delta t}$
 (き) $\omega\Delta t$ (く) $\ell^2\omega B$ (け) $\frac{1}{2}\ell^2\omega B$ (こ) $\frac{B}{\Delta S}$ (さ) $B\Delta S$ (し) $\ell\omega$

[II] 次にスイッチ S を閉じ、導体環に一定の大きさ F の力を接線方向に加え続けて図 1 のように角速度 ω で回転させ続けたところ、回路に電流が流れた。ただし、回路を流れる電流の作る磁場の影響は無視できるものとする。

- (4) 電流計 A で観測される電流の向きは $D \rightarrow C$ と $C \rightarrow D$ のどちらか。またその大きさ I を ℓ , ω , B , R を用いて答えよ。
- (5) 抵抗 R で消費される電力を P とする。 P を ℓ , ω , B , R を用いて答えよ。
- (6) 導体環に加える大きさ F の力による仕事率を ℓ , ω , F を用いて答えよ。
- (7) 一定の角速度 ω で回転させ続けるために必要な力の大きさ F を, ℓ , ω , B , R を用いて答えよ。
- (8) 大きさ F で加え続けていた力のある時刻に 0 とした。この時刻を $t=0$ とすると問(4)～(7)で用いた ω が $t=0$ の時の角速度となる。この後、角速度は時刻 t に対してどのように変化するか。角速度の変化を示すグラフとして最も適切なものを次の (あ) ～ (え) から一つ選び記号で答えよ。



3

音速を v_0 として、気柱の共鳴に関する以下の問いに答えよ。

[I] 図 1 に示すような、一端が閉じており他端が開いている閉管と、両方の端が開いている開管がある。これらの管それぞれの右側の管口付近にスピーカーを置いて、適当な振動数の音を鳴らすと、管内の長さ L の気柱に定在波が生じた。ただし、開口端補正は無視する。

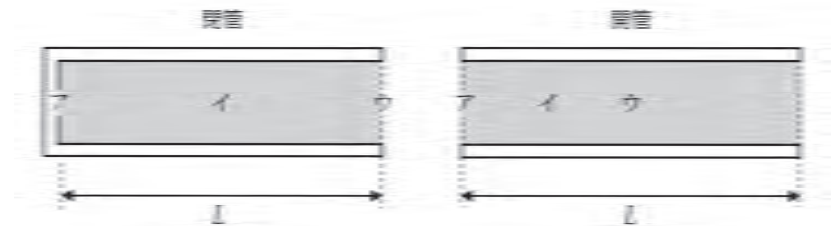


図 1

- (1) 波長が λ の音波の振動数を, v_0 , λ のうち必要なものを用いて答えよ。
- (2) 図 1 の閉管と開管にそれぞれ生じる最も振動数の小さな固有振動の波長を, v_0 , L のうち必要なものを用いて答えよ。
- (3) 図 1 の閉管と開管にそれぞれ生じる最も振動数の小さな固有振動の振動数を, v_0 , L のうち必要なものを用いて答えよ。
- (4) 図 1 の閉管と開管に最も振動数の小さな固有振動が生じたとき、管内の空気の密度の変動が最も大きい場所はどこか。図 1 のア～ウからそれぞれ最も適切なものを一つ選び記号で答えよ。

〔Ⅱ〕 図2のように長さを自由に变化させることのできる開管の片方の管口付近にスピーカーを置いて、一定の振動数の音を鳴らしながら、他端を動かして管の長さをゆっくりと伸ばしていくと、管の長さが L_0 になったときに気柱の固有振動が起こった。この固有振動は基本振動であった。さらに管の長さをゆっくりと伸ばしていくと、管の長さが L_1 になったときに再び気柱の固有振動が起こった。ただし、両端の開口端補正は管の長さや音の振動数などによって変化せず一定であるとするとする。

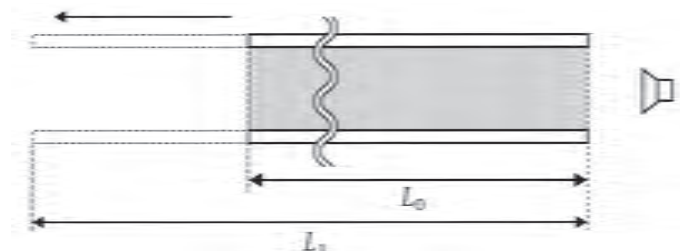


図2

- (5) スピーカーで鳴らした音の波長を、 v_0 , L_0 , L_1 のうち必要なものを用いて答えよ。
- (6) スピーカーで鳴らした音の振動数を、 v_0 , L_0 , L_1 のうち必要なものを用いて答えよ。
- (7) 管の両端の開口端補正の合計を、 v_0 , L_0 , L_1 のうち必要なものを用いて答えよ。
- (8) 管の長さを L_1 に保ったまま、スピーカーの音の振動数をゆっくり大きくしていくと、音はいったん小さくなった後、ある振動数に達したところで再び大きくなった。このときの音の振動数を、 v_0 , L_0 , L_1 のうち必要なものを用いて答えよ。

物理

●工学部（生命環境化学科／知能機械工学科）
●情報工学部（情報システム工学科／情報マネジメント学科）

（一般選抜3教科型・2月10日実施分）

（解答：65ページ）

（解答はすべて、別紙解答用紙の解答欄に記入せよ。）

解答用紙の計算と書かれた枠内には、解答の導出過程で用いた計算や考え方を書くこと。

- 1 図1のように、点Pを含む曲面と点QおよびRを含む水平面がなめらかにつながっている。質量 m の小物体Aを、点Qからの高さが h_1 である曲面上の点Pから静かに放したところ、小物体Aは曲面に沿って運動し、点Qを通過した後、水平面上で静止していた質量 $2m$ の小物体Bに衝突した。衝突後、小物体AとBは合体して質量 $3m$ の小物体Cとなって運動し、点Rから水平投射され、点Rよりも h_2 だけ低い水平面上の点Sに衝突した。すべての面はなめらかであり、重力加速度の大きさを g とする。また、点P, Q, R, Sは同じ鉛直面内にあり、空気抵抗は考えないものとする。

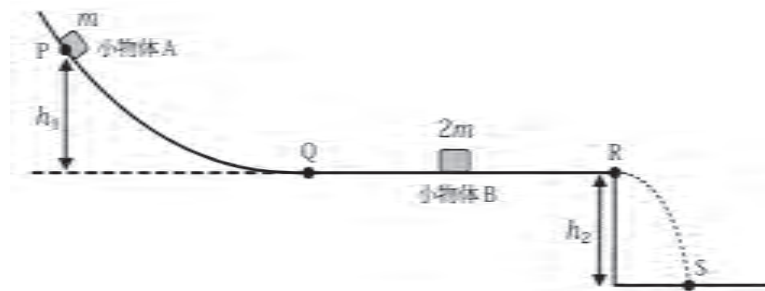


図1

- (1) 点Pにおける小物体Aの重力による位置エネルギーを、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。ただし、点QおよびRを含む水平面を位置エネルギーの基準水平面とすること。

- (2) 点 Q を通過する瞬間の小物体 A の運動エネルギーを、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (3) 点 Q を通過する瞬間の小物体 A の運動量の大きさを、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (4) 点 R を通過する瞬間の小物体 C の速さを、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (5) 点 R を通過してから点 S に達するまでの間に小物体 C にはたらく力の向きについて、最も適切なものを次の (ア) ~ (オ) から一つ選び、記号で答えよ。
- (ア) 常に物体の軌道の接線方向を向く (イ) 常に水平方向を向く
(ウ) 常に物体の軌道の接線に垂直な方向を向く (エ) 常に鉛直方向を向く
(オ) 力の大きさが 0 なので向きはない
- (6) 点 R を通過してから点 S に達するまでの間に小物体 C にはたらく力がした仕事を、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (7) 点 R を通過してから点 S に達するまでにかかる時間を、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (8) 点 S に達する直前の小物体 C の速度の鉛直成分の大きさを、 h_1 , h_2 , m , g のうち必要なものを用いて答えよ。
- (9) 点 R から点 S までの水平方向の距離が鉛直方向の距離に等しかった場合、 h_1 は h_2 の何倍か答えよ。
- (10) 図 2 の軌道が示すように、点 S に衝突する直前の小物体 C の速度の向きと鉛直とのなす角が 30° であった場合、 h_1 は h_2 の何倍か答えよ。

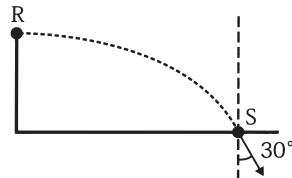


図 2

2

x 軸方向に有限な広がり $0 \leq x \leq L$ をもち、 y 軸および z 軸方向には無限に広がる真空中の領域 D において、 y 軸に平行かつ一様な電場（電界）や磁場（磁界）をかけることができる。原点 O から質量 m 、電気量 q ($q > 0$) の荷電粒子を x 軸正の向きに初速度 v_0 で入射し、その後の運動について考える。ただし、重力の影響は無視する。また、紙面の裏から表へ向かう向きを z 軸の正の向きとする。

[I] 図 1 のように領域 D に大きさが E で y 軸正方向を向く電場をかけ、荷電粒子を原点 O から入射した。以下の問いに答えよ。

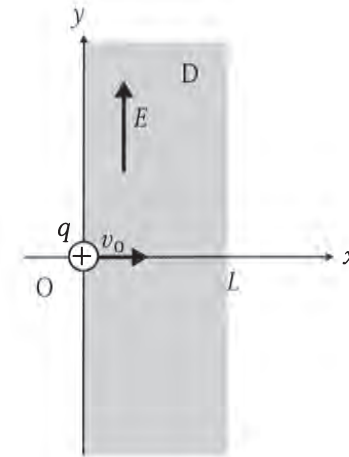


図 1

- (1) 入射した直後に荷電粒子に働く力の大きさと向きを求めよ。ただし、力の大きさは m , q , v_0 , E , L の中から必要なものを用いて答えよ。また、力の向きは次の (a) ~ (f) の中から一つ選び記号で答えよ。
- (a) x 軸正の向き (b) x 軸負の向き (c) y 軸正の向き
(d) y 軸負の向き (e) z 軸正の向き (f) z 軸負の向き
- (2) 原点から入射後、 $x=L$ に到達するまでに要した時間を m , q , v_0 , E , L の中から必要なものを用いて答えよ。
- (3) 荷電粒子が $x=L$ に到達した時の、 y 座標の値を m , q , v_0 , E , L の中から必要なものを用いて答えよ。
- (4) 荷電粒子が $x=L$ に到達した時の、荷電粒子の運動エネルギーを m , q , v_0 , E , L の中から必要なものを用いて答えよ。

[Ⅱ] [Ⅰ]の荷電粒子を取り除いたのち、図2のように、領域Dに磁束密度の大きさが B_1 で y 軸正の向きの磁場のみをかけて、荷電粒子を原点Oから入射した。以下の問いに答えよ。

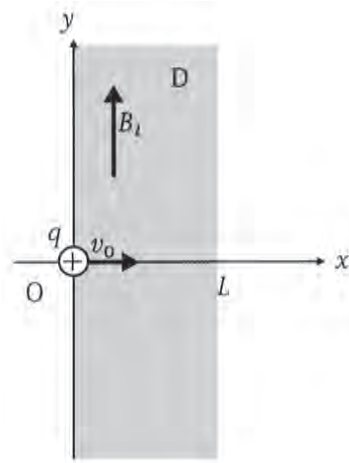


図2

- (5) 入射した瞬間に荷電粒子に働く力の大きさと向きを求めよ。ただし、力の大きさは m , q , v_0 , B_1 , L の中から必要なものを用いて答えよ。また、力の向きは次の(a)~(f)の中から一つ選び記号で答えよ。
- (a) x 軸正の向き (b) x 軸負の向き (c) y 軸正の向き
 (d) y 軸負の向き (e) z 軸正の向き (f) z 軸負の向き
- (6) 荷電粒子は領域D内で半円の軌道を描き、 $x=0$ の面を垂直に通過して領域Dの外へ出た。軌道を表す半円の半径を m , q , v_0 , B_1 , L の中から必要なものを用いて答えよ。
- (7) 原点から入射後、領域Dを出るまでに要した時間を m , q , v_0 , B_1 , L の中から必要なものを用いて答えよ。
- (8) 領域Dを出た直後における、荷電粒子の運動エネルギーを m , q , v_0 , B_1 , L の中から必要なものを用いて答えよ。

[Ⅲ] [Ⅱ]の荷電粒子を取り除いたのち、図3のように、領域Dに共に y 軸正の向きに大きさが E の電場と磁束密度の大きさが B_2 の磁場をかけて、荷電粒子を原点Oから入射した。以下の問いに答えよ。

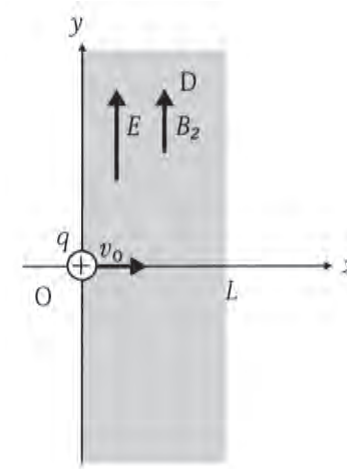


図3

- (9) 荷電粒子は y 軸方向に等加速度運動を行うとともに、 y 軸に垂直な面内で等速円運動を始め、 $x=L$ を通過し領域Dの外へ出た。このとき、入射後から領域Dを出るまでの間の z 軸方向の変位は $\frac{L}{\sqrt{3}}$ であった。原点から入射後、領域Dを出るまでに要した時間について正しいものを次の(a)~(d)の中から一つ選び記号で答えよ。
- (a) $\frac{\pi m}{qB_2}$ (b) $\frac{\pi m}{3qB_2}$ (c) $\sqrt{\frac{2mL}{qE}}$ (d) $\sqrt{\frac{2mL}{3qE}}$

3

〔Ⅰ〕なめらかに動く軽いピストンがついたシリンダー内に理想気体を閉じ込め、この理想気体の状態を図1に示すような $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の順に、ゆっくりと変化させた。 $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$, $C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ は等温変化、定圧変化、定積変化、断熱変化のいずれかである。以下の問いに答えよ。

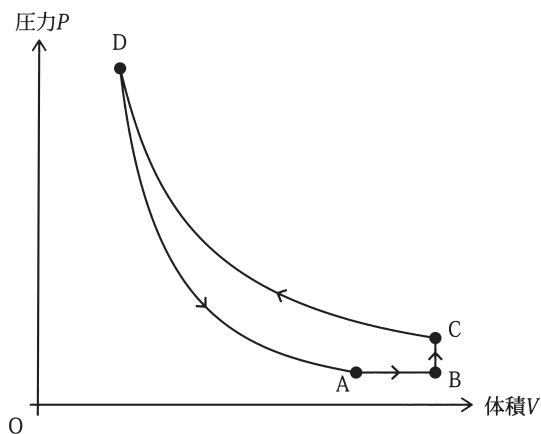


図1

- (1) この気体が外部に W だけ仕事をし、外部から Q だけ熱を吸収したとき、気体の内部エネルギーの変化 ΔU と W , Q の間の関係を表した式を、次の(あ)～(え)から一つ選び、記号で答えよ。

(あ) $\Delta U = Q + W$ (い) $\Delta U = Q - W$
 (う) $\Delta U = -Q + W$ (え) $\Delta U = -Q - W$
- (2) 気体が外部にした仕事が正の過程、負の過程、仕事をしない過程それぞれにあてはまるものを、次の(あ)～(え)からすべて選び、記号で答えよ。

(あ) $A \rightarrow B$ の過程 (い) $B \rightarrow C$ の過程 (う) $C \rightarrow D$ の過程 (え) $D \rightarrow A$ の過程
- (3) 1 サイクル $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ において気体が外部にした正味の仕事についての記述として最も適当なものを、次の(あ)～(う)から一つ選び、記号で答えよ。

(あ) 正である (い) ゼロである (う) 負である

- (4) 次の文章の()内にあてはまる語句として、下の選択肢から最も適当なものを選び、記号で答えよ。

$C \rightarrow D$, $D \rightarrow A$ の一方が等温変化、他方が断熱変化である。等温変化において気体の内部エネルギーは、(ア)。一方、断熱変化においては熱の出入りがないため、問(1)の関係から、気体が膨張するとき内部エネルギーは(イ)。よって、気体の内部エネルギーと温度の関係を考えると、断熱変化について気体が膨張するとき、温度は(ウ)。図1において曲線 CD よりも曲線 DA は左下に位置しているため、 A の方が C よりも低温であることが分かる。これらの結果を踏まえると、(エ) と判断することができる。

アの選択肢：

- (あ) 気体が熱を吸収した場合は増加し、熱を放出した場合は減少する
 (い) 一定である
 (う) 気体が圧縮した場合は増加し、膨張した場合は減少する

イの選択肢：

- (あ) 減少する
 (い) 一定である
 (う) 増加する

ウの選択肢：

- (あ) 上昇する
 (い) 一定である
 (う) 下降する

エの選択肢：

- (あ) $C \rightarrow D$ は等温変化、 $D \rightarrow A$ は断熱変化
 (い) $C \rightarrow D$ は断熱変化、 $D \rightarrow A$ は等温変化

〔Ⅱ〕 次に、なめらかに動く軽いピストンがついたシリンダー内に単原子分子理想気体を閉じ込め、その状態を図2に示すような直線で表される $A \rightarrow B$ の経路に沿って、ゆっくりと変化させた。状態 A では圧力 P_0 、体積 V_0 、状態 B では圧力 $2P_0$ 、体積 $2V_0$ である。理想気体に対する状態方程式が $PV = nRT$ であることに注意して以下の問いに答えよ。ここで、 P 、 V 、 n 、 R 、 T はそれぞれ気体の圧力、体積、物質質量、気体定数、絶対温度である。

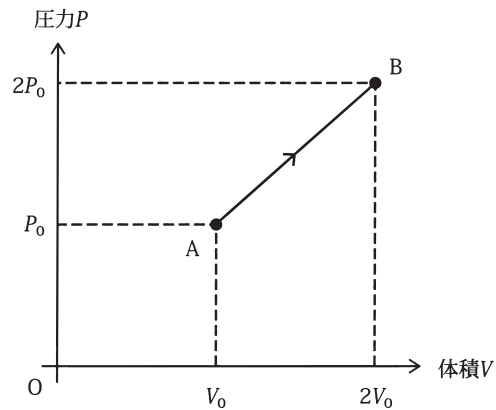
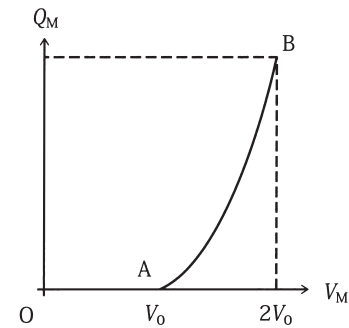


図2

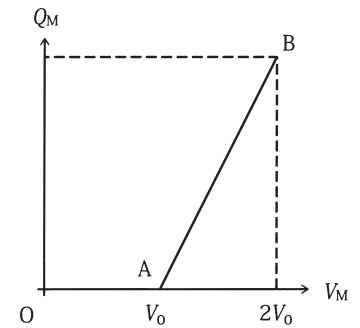
- (5) 状態 B での気体の絶対温度は、状態 A での気体の絶対温度の何倍か答えよ。
- (6) $A \rightarrow B$ において、気体が外部にした仕事を P_0 と V_0 を用いて答えよ。
- (7) $A \rightarrow B$ における気体の内部エネルギーの変化と気体が吸収した熱量を P_0 と V_0 を用いて答えよ。
- (8) $A \rightarrow B$ のモル比熱を、気体定数 R を用いて答えよ。ただし、モル比熱はこの過程で気体 1 mol あたり吸収した熱量を温度の変化量で割れば求まる。

- (9) $A \rightarrow B$ の間の状態 M を考えよう。状態 M での体積を V_M とする。 $A \rightarrow M$ 間で気体が外部にした仕事を P_0 、 V_0 、 V_M を用いて答えよ。
- (10) 状態 M を $A \rightarrow B$ 間の任意の状態とする。このときの気体の体積 V_M と $A \rightarrow M$ の間に気体が吸収した熱量 Q_M の変化の概形を表した図を、次の(あ)～(え)から一つ選び、記号で答えよ。

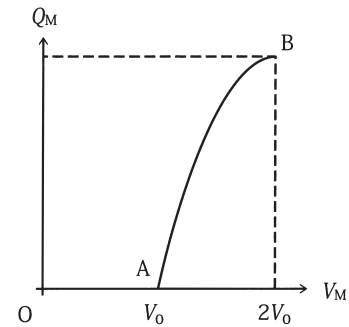
(あ)



(い)



(う)



(え)

