

# 物 理

## 「解答上の注意」

問題に単位の指定がない場合、用いられる記号は SI (国際単位系) 単位に従っているものとする。各問いに対する解答は { } 内に記号が示されている場合は、その記号のうち必要なものを用いて記せ。示されていない場合は、各問いの指示に従って解答せよ。

## 第 1 問

図 1 のように、点  $O$  を中心とする半径  $r$  の半球形の器が水平に固定されている。器のふちには、質量  $M$  の小球 A と質量  $m$  の小球 B をそれぞれ両端につけた糸が、小球 A を器の中に入れてかけてある。ただし、 $M > m$  とする。なお、図 1 は小球 A と器の底を通る断面を示しており、小球 A の位置を示す角度  $\theta$  は、図のように点  $O$  の鉛直下方からの値とする。器は、ふちも内面もなめらかで、厚さは無視できるものとする。また、糸は伸縮がなく、質量は無視でき、器の直径よりも長いものとする。重力加速度の大きさを  $g$  として、以下の問いに答えよ。

$\theta = 30^\circ$  のとき、二つの小球がつり合い、静止した。

問 1 小球 A にはたらくすべての力のベクトルを矢印で回答欄の図に示せ。

問 2 器の内面から小球 A にはたらく垂直抗力の大きさを  $N$  として、小球 A にはたらく力のつり合いの式を鉛直方向、水平方向にわけて示せ。

$$\{M, m, g, N, r\}$$

また、垂直抗力の大きさ  $N$  を求めよ。  $\{M, g, r\}$

次に、小球 B を質量  $\frac{M}{2}$  の小球 C に付け替えて、小球 A を器のふちの内側 ( $\theta = 90^\circ$ ) から静かに放すと、小球 A は器の底 ( $\theta = 0^\circ$ ) を通過して半球面を角度  $\theta$  が負の側に登って一旦静止した。

問3 小球 A を放した直後における糸の張力の大きさ  $T$  を求めよ。{  $M, g, r$  }

問4 小球 A が器の底を通過するときの速さ  $V$  を求めよ。{  $M, g, r$  }

なお、このときの小球 A の速さ  $V$  と小球 C の速さ  $v$  は次の関係にある。

$$v = V \cos 45^\circ$$

問5 小球 A を放してから角度  $\theta$  ( $< 0^\circ$ ) で一旦静止するまでに、小球 C が上昇する距離  $h$  を求めよ。{  $M, g, r, \theta$  }

また、小球 A が静止した位置の角度  $\theta$  の値を求めよ。

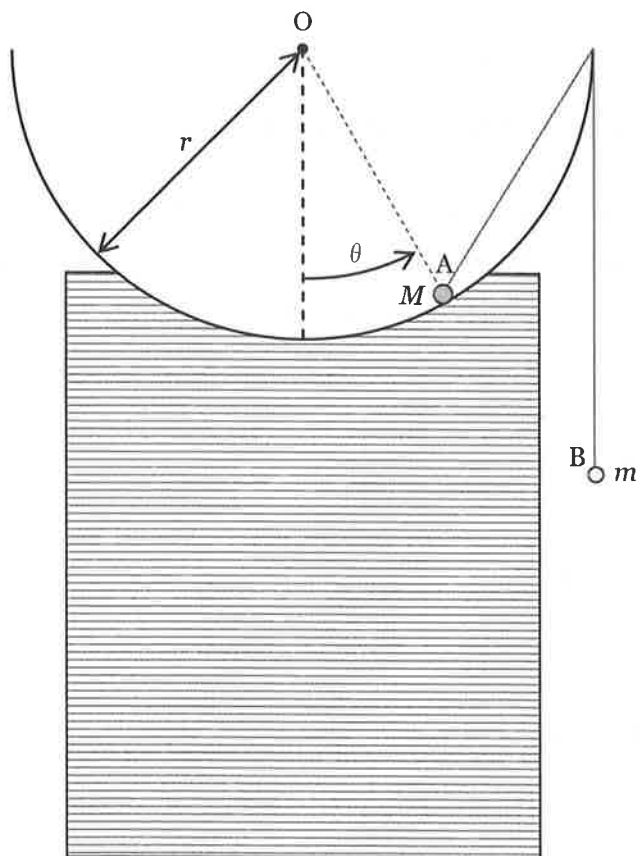


図 1

## 第2問

図2のように、真空中で、極板面積  $S$ 、極板間距離  $d$  の平行板コンデンサーがスイッチ  $SW$  を介して電圧  $V$  の電源に接続されている。以下の問いに答えよ。ただし、真空の誘電率を  $\varepsilon_0$  とし、極板周辺部の影響は無視する。

問1 極板に蓄えられている電荷  $Q$  と、極板間の電場の強さ  $E$  を求めよ。

$$\{S, d, V, \varepsilon_0\}$$

次に、極板間に導体を挿入することを考える。

問2 このとき起こる現象について述べた次の文において、①から⑤の ( ) 内の字句からより適切な方を選び解答欄の字句を丸で囲め。

電場の中に導体を入れると、(①：静電遮蔽<sup>しやへい</sup>，静電誘導) 現象により導体表面に電荷が現れる。この電荷の符号は、正に帯電した極板に近い側は (②：正，負)，負に帯電した極板に近い側は (③：正，負) である。この電荷は導体内部の電場が (④：0，最大) となって導体全体が (⑤：等電位，電位の基準) となるように表面に分布する。

スイッチ  $SW$  を開いたのち、図3のように、厚さ  $\frac{2d}{3}$ 、面積  $\frac{S}{2}$  の導体板を極板と平行に挿入した。ただし、導体板周辺部の影響も無視する。

問3 導体板挿入後の極板間の電圧  $V_a$  は、挿入前の電圧  $V$  の何倍になったかを求めよ。また、極板-導体板間の電場の強さ  $E_1$ 、導体板がない部分の極板間の電場の強さ  $E_2$  は、それぞれ挿入前の極板間の電場の強さ  $E$  の何倍になったかを求めよ。

導体板を取り出したのち、図4に示すような断面を持つ柱状の導体Aを極板と平行に挿入する。

問4 導体Aをゆっくり挿入するとき、導体に外部から力を加える必要がある。その力の向きは図4に示す(a)、(b)のどちらか。解答欄の正しい方を丸で囲み、その理由を説明せよ。なお、重力は無視する。

問5 図5のように、導体Aを極板の中央まで挿入した。問2、問3などを考慮して、導体挿入後の極板間の電場のようすを表す電気力線を描け。なお、解答用紙には挿入前の状態の電気力線を細い点線で示している。この状態からの変化がわかるように描くこと。

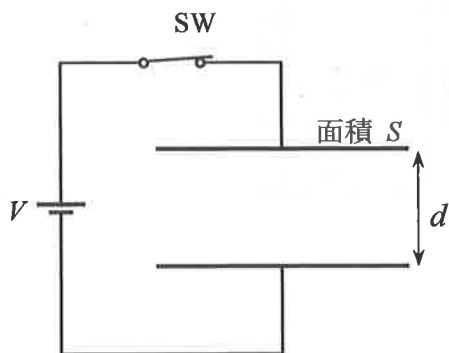


図2

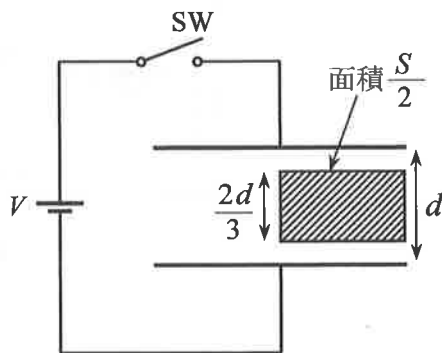


図3

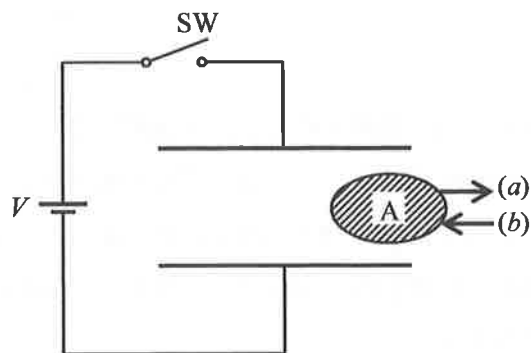


図4

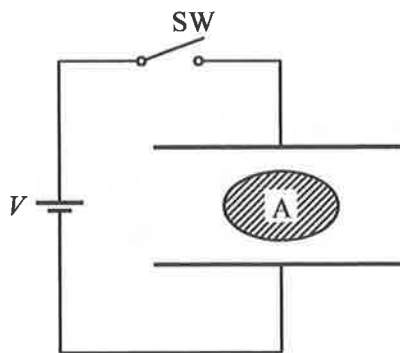


図5

### 第3問

内部エネルギーが絶対温度に比例する理想気体について、以下の問いに答えよ。

問1 図6のように、真空と仕切りを隔てて容器に入れられた理想気体を考える。仕切りを取り除くことで、理想気体を真空中へ断熱膨張させる。この過程を断熱自由膨張と呼ぶこととする。このとき理想気体の温度がどうなるか、以下から選び記号で答えよ。ただし、断熱自由膨張において、理想気体は外部に仕事をしない。

{ア. 上昇する, イ. 変化しない, ウ. 下降する}

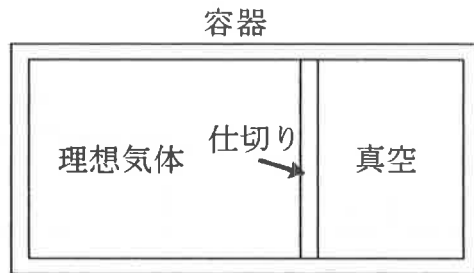


図6

問2 断熱自由膨張は可逆過程か不可逆過程か、以下から選び記号で答えよ。

{ア. 可逆過程, イ. 不可逆過程}

理想気体 1.0 mol に対して図7の  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow A$  の過程を考える。この過程において、①  $A \rightarrow B$  は断熱自由膨張過程、②  $B \rightarrow C$  は等圧圧縮過程、③  $C \rightarrow A$  は等積過程である。ただし、②と③の過程は断熱ではない。Aにおける体積と圧力を  $V_A, P_A$ 、Bにおける体積と圧力を  $V_B, P_B$  とする。また、定積モル比熱を  $C_V$ 、定圧モル比熱を  $C_P$ 、気体定数を  $R$  とする。このとき、以下の問いに答えよ。

問3 等圧圧縮過程②において理想気体に加えられた熱量  $Q$  となされた仕事  $W$  を求めよ。

$$\{C_V, C_P, V_A, P_A, V_B, P_B, R\}$$

問4 等圧圧縮過程②において温度はどうか、以下から選んで記号で答えよ。

{ア. 上昇する, イ. 変化しない, ウ. 下降する}

問5 等積過程③において理想気体に加えられた熱量  $Q$  となされた仕事  $W$  を求めよ。

$$\{C_V, C_P, V_A, P_A, V_B, P_B, R\}$$

問6 図7の全過程における加えられた熱量となされた仕事の総和を計算し、熱力学第1法則を用いて、関係式  $C_P = C_V + R$  を導け。その際、導出過程も記述せよ。

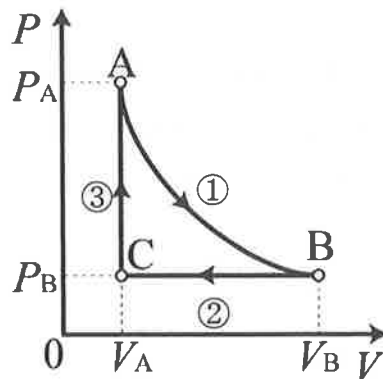


図7

## 第4問

図8のように、管の中にあるスピーカーから振動数  $f$  の音波が左右に出ている。管の右端は硬い平面の壁で閉じており、左端には音波の反射が生じない吸音材がついている。管の左から右へ  $x$  軸をとり、スピーカーの位置を  $x = 0$ 、右壁の位置を  $x = L$  とする。管内の空気を伝わる音の速さを  $V$  とする。以下の問いに答えよ。

問1 次の文の ( ) の中に入れるべき字句として最も適切なものを答えよ。なお、①と②では語群 {自由, 固定, 同, 逆} から、③と④ではア～クの記号から選び答えよ。

右端の硬い壁での反射は ( ① ) 端反射となるため、右壁において反射波は入射波と ( ② ) 位相となる。ある時刻  $t$  において、スピーカーから出て右壁へ入射する音波について空気の変位が  $x$  の関数として図9の破線のようになるとき、反射波の変位は図10の ( ③ ) のグラフの実線のようになる。また、このときの入射波と反射波の合成波の変位は図10の ( ④ ) のグラフの実線のようになる。なお、図10において破線は入射波を表している。

問2 音波がスピーカーを出た後、右壁で反射して位置  $x$  に到達するまでにかかる時間を求めよ。{ $x, L, V$ }

位置  $x$ ，時刻  $t$  において、スピーカーから出て右に伝わる音波では空気の変位が  $y_1 = A \sin 2\pi f \left( t - \frac{x}{V} \right)$ ，左に伝わる音波では空気の変位が  $y_2 = A \sin 2\pi f \left( t + \frac{x}{V} \right)$  と表されるものとする。 $A$  は定数である。

問3 音波  $y_1$  が  $x = L$  で反射した後に左に進む反射波の変位を  $y_3$  とする。 $y_3$  を三角関数を用いた式で表せ。なお、スピーカーは反射波に影響しないものとする。  
{ $L, f, V, A, t, x$ }

問4 次の文の ( ) の中に入れるべき数式または字句として最も適切なものを答えよ。なお、⑤と⑧では語群 {進行波, 定常波} のうちから解答欄の正しい方を丸で囲み, ⑥⑦⑨⑩では  $\{L, V, t, x\}$  のうちから必要なものを用いた数式を記せ。必要であれば, 公式  $\sin B - \sin C = 2 \cos \frac{B+C}{2} \cdot \sin \frac{B-C}{2}$  を用いて良い。

$0 < x < L$ での合成波は ( ⑤ ) となり, 変位は次式で表される。

$$y_1 + y_3 = 2A \cos 2\pi f( \text{⑥} ) \cdot \sin 2\pi f( \text{⑦} )$$

一方で,  $x < 0$ での合成波は ( ⑧ ) となり, 変位は次式で表される。

$$y_2 + y_3 = 2A \cos 2\pi f( \text{⑨} ) \cdot \sin 2\pi f( \text{⑩} )$$

問5 合成波による空気の密度変化が最大となる位置が  $0 < x < L$ の範囲に存在するとき, そのうちの右壁に最も近い位置の  $x$  座標を求めよ。  $\{L, f, V\}$

問6  $x < 0$ において, 合成波の振幅が最大となる場合の振動数  $f$ を求め, 自然数  $n$  ( $=1, 2, 3, \dots$ ) を含む式で表せ。  $\{L, V, n\}$

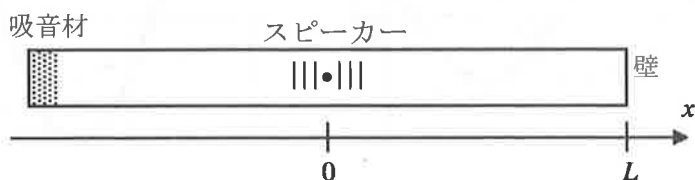


図8

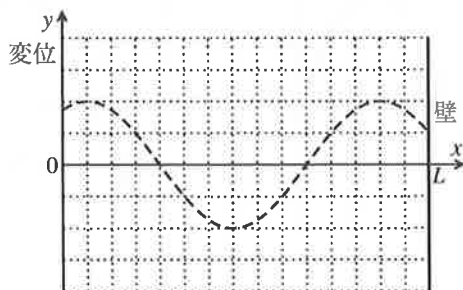


図9



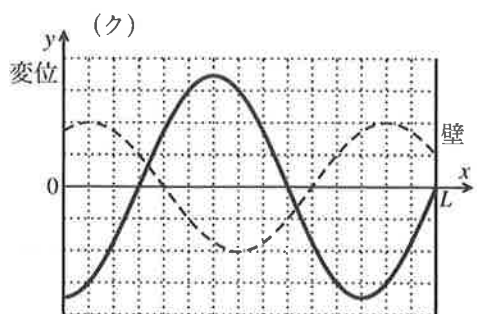
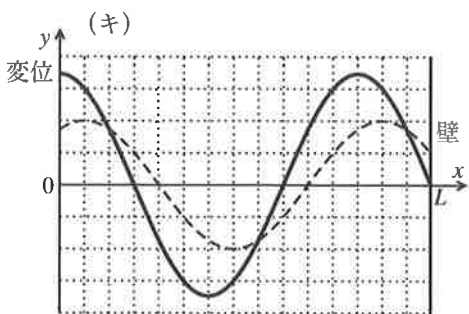
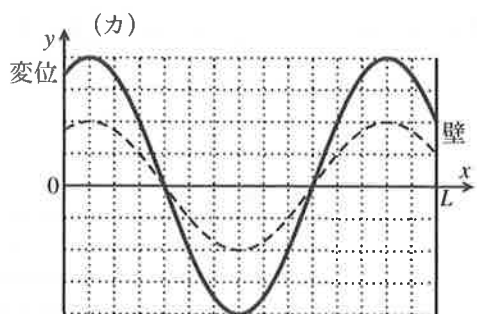
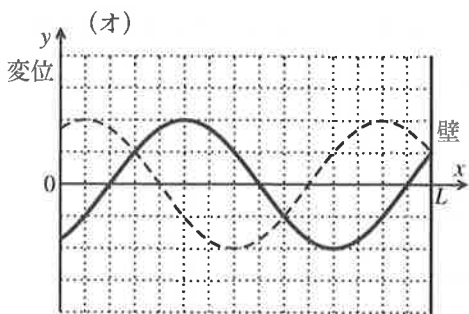
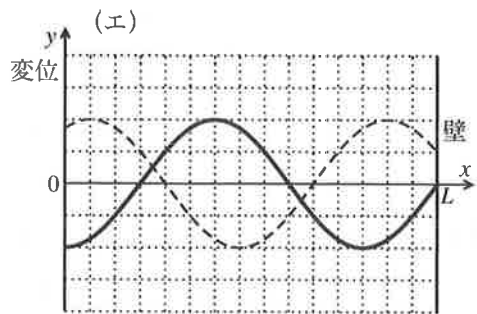
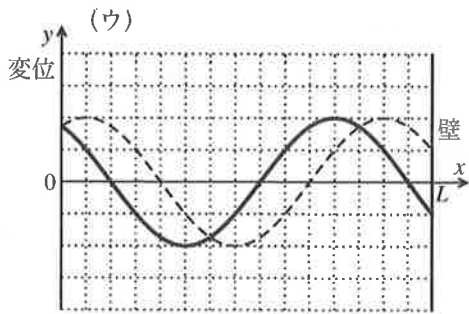
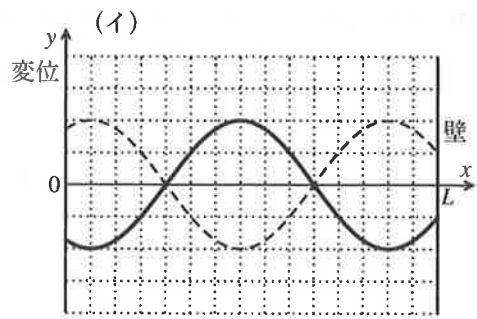
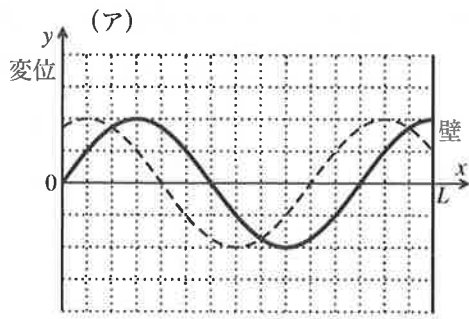


図 10