金沢大学

2018 年度　前期日程　物理

1 以下の文章が正しい記述となるように，(1)，(2)，(3)，(7) の（　）の選択肢のいずれかを選びなさい。(4)，(5)，(6)，(8)，(9) の中には適切な語句，式あるいは値を記入しなさい。

音は，波の一種であり，楽器のように音を発するものを音源といい，空気中では空気を媒質としてその振動が (1)(縦波・横波) となって伝わる。乾いた空気中を伝わる音の速さは，振動数に (2)(比例して大きくなり・反比例して小さくなり・よらず一定とみなせ)，温度の上昇とともに，(3)(増大・減少) する。

2 つの音源から振動数の近い音が発せられると (4) が生じる。(4) の周期を T〔s〕, 2 つの音源からの音の振動数を f_1〔Hz〕, f_2〔Hz〕とすると, 時間 T の間に 2 つの音源から発する音の波の数は (5) 個違うため, f_1, f_2, T の間には関係式 (6) = (5) が成り立つ。片方の音源の振動数を変化させ，もう 1 つの音源の振動数に近づけると，(4) の周期は (7)(長くなり・短くなり・変わらず)，2 つの音源が同じ振動数になると，(4) は無くなる。

両端を固定し，ぴんと張った長さ L〔m〕の弦 A の中央部をはじくと，ある高さの音が出る。この音の定在波の腹が N 個の場合，弦を伝わる横波の速さを v〔m/s〕とすると，振動数は (8)〔Hz〕となる。弦の固有振動のうち，$N = 1$ のものを基本音，$N = 2$ 以上のものを倍音と呼ぶ。基本音が強いときは，音の高さは基本音で決まる。弦楽器では，基本音と倍音の重なり方により，音の高さは同じであっても，それぞれの弦楽器特有の音色が生じる。弦 A を振動させてから，一端から長さ $\dfrac{L}{3}$ の位置にある弦の点を触ったところ，この点での振幅が 0 となり，この点で振動しない音のみが残った。この結果，残った音で最も小さい振動数は，触れる前の基本音の振動数に比べて (9) 倍となった。

2 図 2a のように，一辺の長さ a〔m〕の正方形のコイル ABCD が紙面内にあり，紙面に垂直に裏から表に向かう一様な磁場をかける。図 2b のように，時刻 0 より時刻 T〔s〕の間，磁束密度は時間に比例して増加し，時刻 T で磁束密度は B_0〔T〕に達し，時刻 T 以後は一定となった。コイルの抵抗が R〔Ω〕であり，コイルに流れる電流が作る磁場は無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。

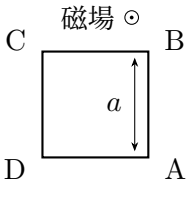


図 2a

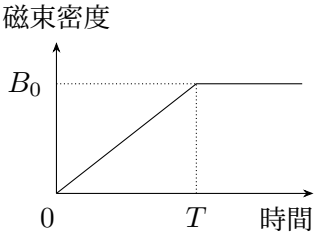


図 2b

問 1　時刻 T において，コイルを貫く磁束を求めなさい。

問 2　時刻 $\dfrac{T}{2}$ において，コイルに流れる電流の大きさを求めなさい。また，辺 AB に流れる電流の向きは，AB と BA のどちらか答えなさい。

問 3　時刻 $\dfrac{T}{2}$ において，コイルで単位時間あたりに発生するジュール熱を求めなさい。

問 4　時刻 T 以後，コイルに流れる電流の大きさを求めなさい。

次に，図 2c のように，紙面内に xy 平面をとり，$0 < x < 2a$ の領域で紙面に垂直に裏から表に向かう一定の磁束密度 B_0〔T〕をもつ一様な磁場がかけられているとする。xy 平面に，図 2c のような，長さ $2a$ の導体棒 2 本，長さ a の導体棒 4 本からなるコイルがある。コイルの辺 AB は y 軸と平行であり，隣り合う導体棒のなす角はすべて 90° である。このコイルを xy 平面内で x 軸正の方向に一定の速さ v〔m/s〕で移動させる。このとき，辺 AB が y 軸を横切る時刻を $t = 0$ とし，辺 CD が y 軸を横切る時刻を $t = t_0$〔s〕とする。コイルの抵抗が R〔Ω〕であり，コイルに流れる電流が作る磁場は無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。

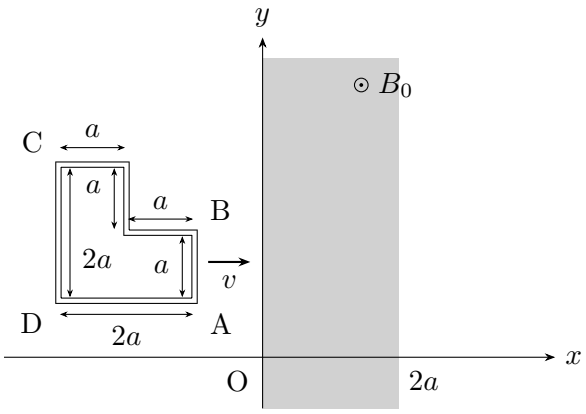


図 2c

問 5　$0 < t < \dfrac{t_0}{2}$ を満たす時刻 t〔s〕において，コイルを貫く磁束を B_0，v，a，t を用いて表しなさい。

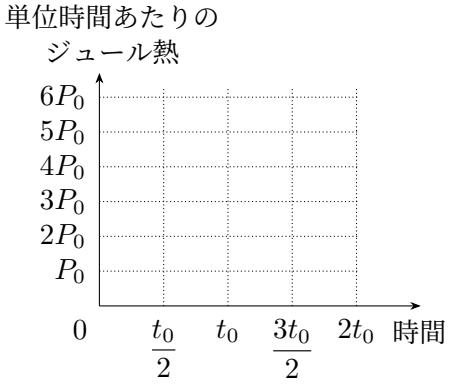
問 6　$0 < t < \dfrac{t_0}{2}$ のとき，コイルに流れる電流の大きさを B_0，v，a，R を用いて表しなさい。また，辺 AB に流れる電流の向きは，AB と BA のどちらか答えなさい。

問 7　$0 < t < \dfrac{t_0}{2}$ のとき，コイルで単位時間あたりに発生するジュール熱 P_0〔W〕を B_0，v，a，R を用いて表しなさい。

問 8　$\dfrac{t_0}{2} < t < t_0$ のとき，コイルに流れる電流の大きさを B_0，v，a，R を用いて表しなさい。また，辺 AB に流れる電流の向きは，AB と BA のどちらか答えなさい。

問 9　$0 < t < 2t_0$ の範囲において，コイルで単位時間あたりに発生するジュール熱を図のグラフに表しなさい。また，$0 < t < 2t_0$ の間に発生するジュール熱を，P_0 と t_0 を用いて表しなさい。

問 9



3 図 3a のように，なめらかに動くピストンがついた断面積 S〔m^2〕の容器に単原子分子理想気体を閉じ込めてある。ピストンの質量および厚さは無視でき，この容器は閉じ込めた気体を加熱できるようになっている。はじめ，容器の底面からピストンまでの高さ（以下，ピストンの位置という）は h_0〔m〕，気体の温度は T_0〔K〕であり，気体の圧力は外部の圧力 p_0〔Pa〕と等しい。この状態を状態 A とする。重力加速度の大きさを g〔$\mathrm{m/s}^2$〕，ピストンの上部に注入する液体の密度は温度によらないとし，以下の問いに答えなさい。

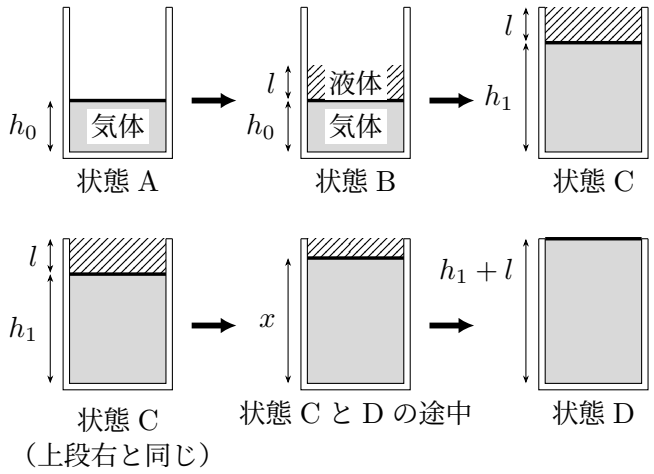


図 3a

状態 A から，気体を加熱するとともに，ピストンの位置がつねに h_0 を保つようにピストンの上部に液体を注入した。ピストンから液面までの高さが l〔m〕になったとき，気体の加熱と液体の注入をやめた。このとき気体の圧力は p_1〔Pa〕であった。この状態を状態 B とする。

問 1　状態 B の気体の温度を p_0，p_1，T_0 を用いて表しなさい。

問 2　液体の密度を g，l，p_0，p_1 を用いて表しなさい。

問 3　状態 A から B まで変化したときの，気体の内部エネルギーの変化量を S，h_0，p_0，p_1 を用いて表しなさい。

次に，状態 B からふたたび気体を加熱しピストンをゆっくりと上昇させた。ピストンの位置が h_1〔m〕のとき液面が容器の上端に到達した。この状態を状態 C とする。

問 4　状態 C の気体の温度を h_0，h_1，p_0，p_1，T_0 を用いて表しなさい。

問 5　状態 B から C まで変化したとき，気体がした仕事を S，h_0，h_1，p_1 を用いて表しなさい。

状態 C から，さらに気体を加熱しピストンをゆっくりと上昇させたところ，液面は容器の上端と等しい位置を保ちながら，液体の一部は容器の外部に流出した。ピストンが容器の上端に到達し，ピストンの上部から液体がすべて流出したところで加熱をやめた。この状態を状態 D とする。

問 6　状態 C と D の途中，ピストンの位置が x〔m〕のときの気体の圧力を x，l，h_1，p_0，p_1 を用いて表しなさい。

問 7　状態 D の気体の温度を h_0，h_1，l，T_0 を用いて表しなさい。

問 8　図 3b は気体の圧力とピストンの位置の関係を表している。状態 B から D までの気体の圧力とピストンの位置の関係を加え，図を完成させなさい。このとき，すでに記入してある状態 A，B を表す黒点のように，状態 C および D を表す黒点を，状態を示す記号 C，D を添えて記入すること。また，すでに記入してある状態 A から B までの変化を表す実線のように，状態 B から C までの変化および状態 C から D までの変化を実線で記入すること。

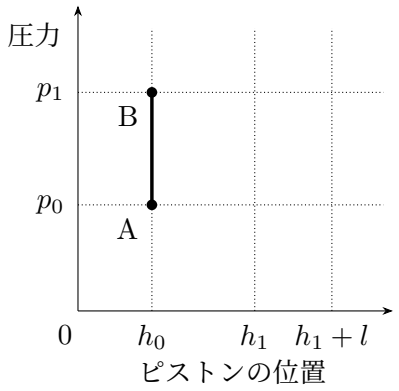


図 3b

問 9　状態 C から D まで変化したとき，気体がした仕事および気体に与えられた熱量を，S，h_0，h_1，l，p_0，p_1 のうち必要なものを用いて表しなさい。

4 図 4a のように入射角 i〔rad〕で壁に斜めに入射した平面波が，図 4b のように反射角 j〔rad〕で反射した。波は速さ v〔m/s〕で進み，長さ L〔m〕の線分 AB を含む壁で位相を変えずに反射するものとする。以下の問いに答えなさい。

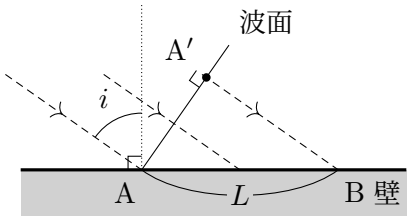


図 4a

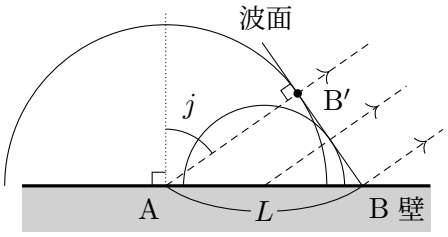


図 4b

問 1　図 4a において，入射波の波面が点 A′ から点 B まで進むのにかかる時間を，L，i，v のうち必要なものを用いて表しなさい。

壁に入射した波は各入射点を中心に素元波を生み出す。素元波は速さ v〔m/s〕で広がり，その波面は図 4b のように入射点を中心にもつ半円で表される。

問 2　図 4b において，問 1 で求めた時間の間に点 A から出た素元波は点 B′ に届いた。AB′ の長さを L，j，v のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 3　入射角 i と反射角 j の間に成り立つ関係式を求めなさい。

図 4c のように静止した浅い水面上に x 軸と y 軸をとり，$y > 0$ の領域で x 軸と平行に模型のモーターボートを一定の速さ W〔m/s〕で x 軸の正の方向に走らせた。ボートの先端は各時刻に位相が同じ速さ u〔m/s〕で広がる素元波を放射しながら進む。図 4c のように，ボートの先端が点 Q に来たときに生じた素元波が点 R に達したとき，ボートの先端が点 P に達した。このとき点 P と点 R を通り x 軸となす角度が θ〔rad〕$\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるくさび型の波面が観測された。ボートの大きさは無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。

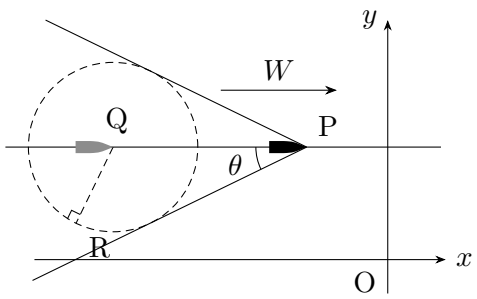


図 4c

問 4　$\sin\theta$ を W と u を用いて表しなさい。

問 5　くさび型の波面が生じるためには，W と u の間にどのような条件が必要であるか答えなさい。

次に，図 4d のように $y < 0$ の領域に壁がある場合を考える。$y > 0$ の領域で x 軸から距離 $2a$〔m〕だけ離れた直線 $y = 2a$ に沿って模型のモーターボートを一定の速さ W_1〔m/s〕で x 軸の正の方向に走らせたところ，x 軸とのなす角度が ϕ〔rad〕$\left(0 < \phi < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるくさび型の波面が発生し，直線状の波面を保ったまま水面上を速さ u で伝わった。壁に達した波は，反射の法則に従って位相を変えずに反射し，ある時刻に反射波の波面が座標 $(0,\ a)$ 上の点 S を通過した。

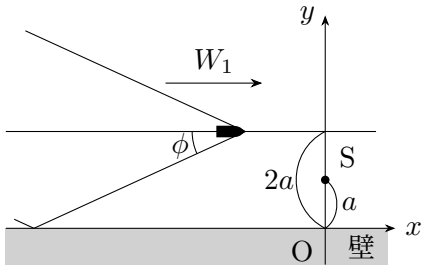


図 4d

問 6　ボートの先端が座標 $(0,\ 2a)$ を通過する時刻を $t = 0$ とする。反射波の波面が点 S を通過する時刻を a，u，ϕ を用いて表しなさい。

最後に，$y \geqq 0$ と $y < 0$ の 2 つの領域で水深が異なる場合を考える。図 4e のように，$y > 0$ の領域で x 軸と平行に模型のモーターボートを一定の速さ W_2〔m/s〕で x 軸の正の方向に走らせたところ，$y > 0$ の領域で x 軸とのなす角が θ_1〔rad〕$\left(0 < \theta_1 < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となるくさび型の波面が生じた。

波は水深が異なる $y < 0$ の領域に入ると速さが変化し，x 軸とのなす角が θ_2〔rad〕$\left(0 < \theta_2 < \dfrac{\pi}{2}\right)$ となる波面が観測された。

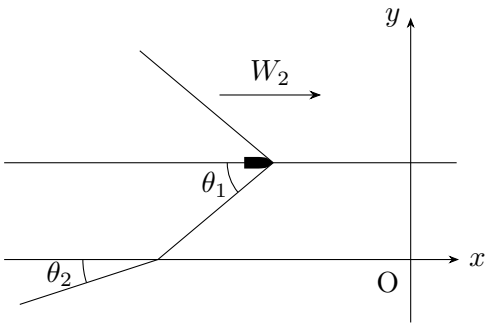


図 4e

問 7　$y < 0$ の領域における波の伝わる速さを，W_2，θ_1，θ_2 のうち必要なものを用いて表しなさい。

問 8　波の速さが水深の平方根に比例する場合，$y \geqq 0$ の領域における水深が h〔m〕のとき，$y < 0$ の領域における水深を h，W_2，θ_1，θ_2 のうち必要なものを用いて表しなさい。

5 一様な直方体を，その側面に対して垂直かつ底面に対して角度 θ〔rad〕$\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ をなす平面で切断してできた同形状の 2 つの物体 A，B がある。図 5a のように，物体 A，B が，もとの直方体の形状になるように互いの斜面が接している状態で水平な床に置かれている。物体 A は，物体 B を取り除いても倒れることはなく，物体 A の左側の面は鉛直な壁につねに接しているとする。物体 A，B の質量はともに m〔kg〕であり，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。床，壁，および物体 A と物体 B の接触面 S はなめらかであるとする。また，接触面 S にはたらく，接触面 S と垂直な方向の力の大きさを N〔N〕と表す。以下の問いに答えなさい。

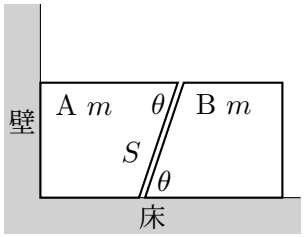


図 5a

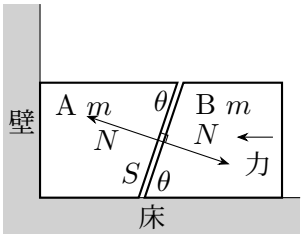


図 5b

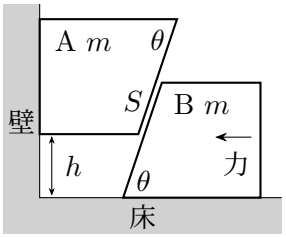


図 5c

まず，図 5a の状態において，物体 B に水平左向きの力を加えたところ，図 5b のように，物体 A，B ともに静止したままであった。

問 1　物体 B に加えた水平左向きの力の大きさを N，θ を用いて表しなさい。

問 2　物体 A が床から受ける垂直抗力の大きさを N，m，g，θ を用いて表しなさい。

物体 B に加えている水平左向きの力の大きさをゆっくりと増加させたところ，この力の大きさが F〔N〕になったところで，物体 B は水平左向きに，物体 A は鉛直上向きに，同時に動き始めた。

問 3　力の大きさ F を，N を用いずに m，g，θ を用いて表しなさい。

その後，ゆっくりと物体 B を左方に押し続け，図 5c のように，物体 A の底面と床の距離が h〔m〕になったところで静止させた。

問 4　物体 A，B が動き始めてから静止するまでに，物体 B が水平方向に動いた距離を h，θ を用いて表しなさい。

図 5c の静止状態から，物体 B に加えている水平左向きの力をすばやく取り除くと，物体 A，B はつねに接したまま，物体 A は鉛直下向きに，物体 B は水平右向きに動いた。物体 A が動き始めてから床に達するまでの物体 A，B の運動について，以下の問いに答えなさい。

問 5　物体 A の鉛直下向きの加速度の大きさを a_{A}〔$\mathrm{m/s^2}$〕，物体 B の水平右向きの加速度の大きさを a_{B}〔$\mathrm{m/s^2}$〕とする。物体 A の鉛直方向の運動方程式，および物体 B の水平方向の運動方程式は，$ma_{\mathrm{A}} =$ $\boxed{\text{(1)}}$，$ma_{\mathrm{B}} =$ $\boxed{\text{(2)}}$ と表される。$\boxed{\text{(1)}}$，$\boxed{\text{(2)}}$ にあてはまる式を N，m，g，θ のうち必要なものを用いて書きなさい。

問 6　加速度の大きさ a_{A} と a_{B} の比は，図 5c の静止状態から物体 A が床に達するまでに，物体 A が鉛直下向きに移動した距離と物体 B が水平右向きに移動した距離の比に等しい。a_{A} と a_{B} の間に成り立つ関係式を a_{A}，a_{B}，θ を用いて表しなさい。

問 7　加速度の大きさ a_{A}，a_{B}，および物体 A が壁から受ける力の大きさを m，g，θ のうち必要なものを用いて表しなさい。

物体 A が床に達した後，物体 B は物体 A から離れて右方へ滑っていった。

問 8　物体 A から離れた後の物体 B の速さを m，g，h，θ のうち必要なものを用いて表しなさい。