

物 理

1. 以下の文章中の $\boxed{\text{(ア)}}$ ～ $\boxed{\text{(ケ)}}$ に適切な式, または数値を記入しなさい。

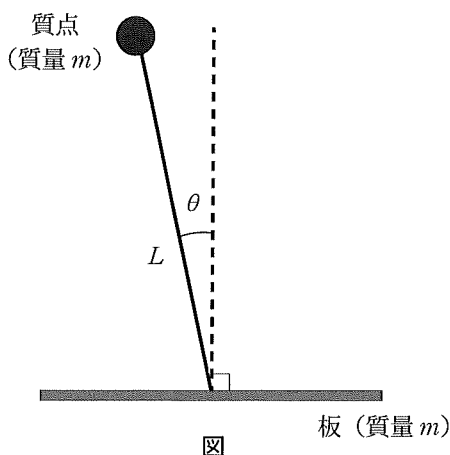
上端に質量 m の質点がつりつけられた長さ L の細い棒がある。棒の質量は m に比べて無視できる。図のように、棒は下端が水平な板の上の一点に固定されていて、この点のまわりに鉛直面内（紙面内）をなめらかに回転できる。下記の間（1）～（4）のそれぞれの場合で、板に垂直に（つまり鉛直上向きに）立てた棒が倒れ始め、質点が板に対して初速度 0 で棒とともに鉛直面内を動き出した。図は、棒と鉛直上向きとのなす角が θ となるときを示していて、質点や板から棒が受ける力は棒に平行であるとしてよい。空気の抵抗は無視できる。重力加速度の大きさを g とする。

（1）板が床に固定されている場合を考える。力学的エネルギー保存則から、図のとき、質点の速度の大きさは $\boxed{\text{(ア)}}$ となり、向心加速度の大きさは $\boxed{\text{(イ)}}$ となる。このとき、棒が板から受ける力は、棒の下端から上端に向かう向きを正として、 $\boxed{\text{(ウ)}}$ となる。

（2）板が鉛直上方に大きさ g の等加速度で動いている場合を考える。板とともに動く観測者にとって、慣性力のために見かけの重力が変化する。図のとき、この観測者から見た質点の速度の大きさは $(\text{ア}) \times \boxed{\text{(エ)}}$ となる。

（3）板が大きさ g の等加速度で水平に動いている場合を考える。板の加速度の向きは、棒の倒れる側と反対で、図では水平右向きとなる。この図では、板とともに動く観測者にとって、慣性力のために見かけの重力が、鉛直下向きから時計回りを正として、角度 $\boxed{\text{(オ)}}$ だけ傾いた向きにはたらくことになる。図のとき、この観測者から見て、質点の速度の大きさは $\boxed{\text{(カ)}}$ と表される。ただし、 $\boxed{\text{(カ)}}$ の解答において、三角関数としては $\cos\theta$ と $\sin\theta$ 以外を使わないようにしなさい。必要があれば関係式 $\sin(A+B) = \sin A \cos B + \cos A \sin B$ や $\cos(A+B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$ を用いなさい。

（4）板が水平でなめらかな床の上に置かれている場合を考える。棒が倒れ始めると、板も床に対して初速度 0 で動き始めた。板の質量も m とする。図のとき、板とともに動く観測者から見た質点にかかる慣性力の大きさは、質点が棒から受ける力の大きさの $\boxed{\text{(キ)}}$ 倍である。床に静止した観測者から見た場合、重力がはたらいていても水平方向の運動量保存則は成り立つ。図のとき、床に対する板の速度の大きさが、板に対する質点の速度の大きさの $\boxed{\text{(ク)}}$ 倍になることがわかる。さらに、力学的エネルギー保存則を使うことで、図のときの板に対する質点の速度の大きさは $(\text{ア}) \times \boxed{\text{(ケ)}}$ とわかる。



2. 以下の文章中の (ア) ～ (ク) に適切な式を記入しなさい。

図1のように、平行板コンデンサーの極板 A_1 と A_2 の間に、極板と同じ面積をもつ金属板が極板に平行に挿入されている。金属板は帯電していて、正の電荷 Q をもっている。金属板は極板 A_1 と極板 A_2 から等しい距離にあり、極板 A_1 と金属板、極板 A_2 と金属板との間の電気容量をいずれも C とする。

(1) 図1の a, b の端子を図2の a, b の端子にそれぞれつなぐことで、コンデンサーを直流電源に接続した。十分に時間が経過した後で極板 A_1 の電荷も Q となった。このとき、極板 A_1 と金属板の間の電圧の大きさは (ア) である。また、直流電源の電圧の大きさは (イ) である。

(2) 問(1)のようにして極板 A_1 に電荷 Q が蓄えられた後に、図1の端子を図2の端子から図3の端子につなぎかえて、コンデンサーを自己インダクタンス L のコイルと直列接続した。極板 A_1 に流れ込む電流が周期的に振動し、その振動の時間変化は三角関数で表され、その振幅の時間変化は無視できた。金属板内の電荷の移動は十分速いので、各時刻で金属板の電荷は表面にだけ存在するとしてよい。ある時刻に極板 A_1 の電荷が q_0 になった。このとき、コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーは (ウ) と表される。ただし、コンデンサーの静電エネルギーは、極板と金属板ともに電荷が蓄えられていないときを0とする。コイルに流れる電流は、極板 A_1 の電荷が (エ) のとき最大となり、その値は (オ) である。

(3) 図4のように、2本の平行な導体のレールが同一水平面上に距離 D だけ隔てて固定されている。この上に、質量が m の導体棒があり、レール間の導体棒の抵抗値は r である。導体棒は、レールに直交したまま、レールに沿って摩擦なしで動くことができる。また、磁束密度の大きさが B の一様な磁場が、紙面に垂直に表から裏に向かってかけられている。レールは十分に長く、導体棒がレールの端に達したり、磁場がかかっている領域を外れたりしない。導体棒やレールを流れる電流がつくる磁場は無視できる。また、導体棒以外の回路の抵抗は無視できる。

問(1)のようにして極板 A_1 に電荷 Q が蓄えられた後に、図1の a, b の端子を図2の端子から切り離し、図4の a, b の端子にそれぞれつないだ。コンデンサーは導体棒と直列に接続され、導体棒が初速度0から動き出した。導体棒の速度は図の右向きを正とする。ある時刻において、導体棒の速度を v 、極板 A_1 の電荷を q とすると、キルヒホッフの第2法則より、導体棒を流れる電流は、図の下向きを正として、 m を使わずに (カ) と表される。一方、微小時間 Δt の間に極板 A_1 の電荷が Δq だけ変化し、電流が磁場から受ける力によって導体棒の速度が Δv だけ変化した。このとき、導体棒を流れる電流は、図の下向きを正として、 $-\Delta q / \Delta t$ と表される。このことと導体棒の運動方程式を用いると、 $\Delta v = \Delta q \times$ (キ) が成り立ち、上記の v と q は $v = (q - Q) \times$ (キ) の関係を満たすことがわかる。したがって、十分に時間が経過して導体棒の速度が一定になったとき、導体棒の速度は (ク) となる。

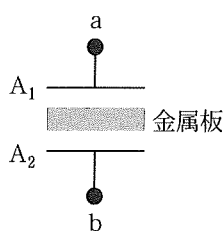


図1

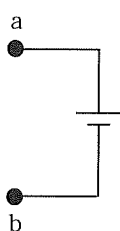


図2

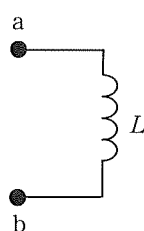


図3

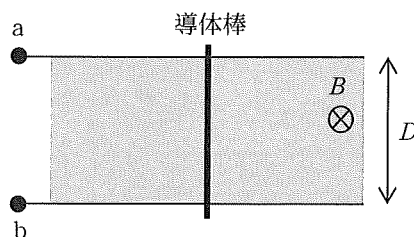


図4

3. 以下の文章中の (ア) ～ (ク) に適切な式を記入しなさい。

図1のように、底面が水平で上部が開いている水槽に密度 ρ の液体が入っている。液体中に、薄い断熱材でできた円筒容器がある。円筒容器内部は、熱をよく通すが気体は通さない仕切り壁で、上下の二つの空間ⅠとⅡに分けられている。仕切り壁は薄く、水槽の底面に垂直にとりつけられた細くて硬い断熱棒によって水平に固定されている。空間ⅠとⅡには、それぞれ物質質量 $3n$ と n の単原子分子気体が封入されている。気体は理想気体とみなせる。容器は、底面積が S 、高さが $2L$ であり、質量が ρSL に等しい。円筒容器は、内部の気体がもれ出すことなく、容器の上下面を水平に保ったまま鉛直方向に動くことができる。以下の過程で、容器の上面が水槽の液面より上に出たり、容器が水槽の底面に接触したりすることはない。液体の密度は一樣で変化せず、液面は常に水平であるとしてよい。容器の質量に比べて気体の質量は無視できる。容器や仕切り壁や棒の熱容量は無視できる。気体定数を R 、重力加速度の大きさを g とする。

(1) 容器を手で押さえて、図2のように、空間ⅠとⅡの体積がともに SL となるようにした。しばらくすると、空間Ⅰの気体の圧力は p_0 となった (状態 A)。状態 A における容器内の気体の温度 (絶対温度) は (ア) であり、空間ⅠとⅡの気体の内部エネルギーの合計は (イ) である。また、容器の下面が受ける液体の圧力は容器の上面が受ける液体の圧力より (ウ) だけ大きい。

(2) 容器から手を離すと、容器の壁と仕切り壁や断熱棒との間の摩擦が十分に大きいので、容器は鉛直方向に十分にゆっくり動いて止まった (状態 B)。状態 B において、容器にかかる力のつり合いを考えると、空間Ⅰの気体の圧力から空間Ⅱの気体の圧力を引いた差は (エ) とわかる。容器が断熱的であることに注意すると、過程 A → B における容器内の気体の温度変化は、容器の下面と水槽の底面との距離の変化分 Δx を用いて、 $\Delta x \times$ (オ) とわかる。

(3) 容器の上面に小さな穴を開け、空間Ⅰ内を水槽の液体で満たす。水槽の液面での外気の圧力を $10\rho Lg$ に保つ。容器の壁と仕切り壁や断熱棒との間は潤滑して摩擦を無視できるようにした。しばらくすると、図3のように、液体の温度と空間Ⅱの気体の温度は等しくなり、容器の下面と仕切り壁との距離は d (ただし、 $d < 2L$)、仕切り壁と水槽の液面との距離は $3L$ となった (状態 C)。状態 C における空間Ⅱの気体の温度は $\rho gS \times$ (カ) である。

水槽の液体の温度をゆっくりと変化させた。温度変化を止めると、容器の下面と仕切り壁の距離は $d + h$ となった (状態 D)。過程 C → D で、仕切り壁が容器の上面に接触することはない、水槽の底面積が十分に大きいので、水槽の液面の高さの変化は無視できる。過程 C → D における液体の温度変化は $\rho gS \times$ (キ) となる。過程 C → D の途中の容器内の気圧が、そのときの容器の下面と仕切り壁の距離の 1 次関数になることに注意すると、この過程で、空間Ⅱの気体のした仕事を計算できる。したがって、熱力学第 1 法則を使うと、過程 C → D で、気体がもらった熱量は $\rho gS \times$ (ク) である。

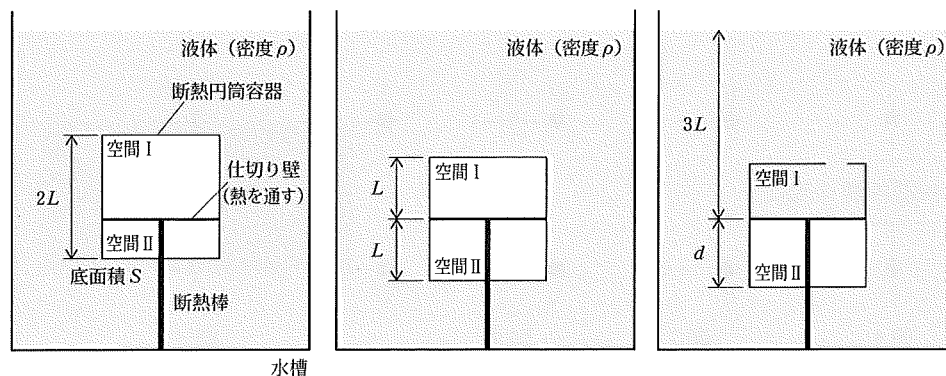


図 1

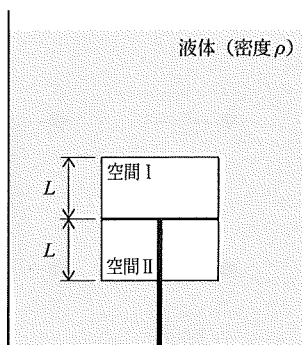


図 2

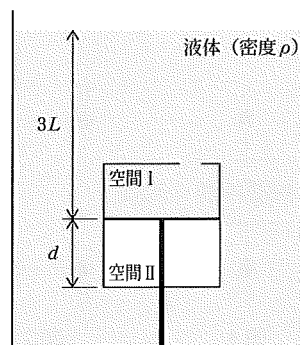


図 3