

平成 26 年度入学者選抜試験  
個別学力試験問題(前期日程)

物 理

総合理工学部(物質科学科)

注 意

1. 志望学部・学科により，問題紙，解答用紙が異なるので，解答前に確認してください。
2. 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
3. 問題紙は 9 ページ，解答用紙は 8 枚です。指示があってから確認し，解答用紙の所定の欄に受験番号を記入してください。
4. 答えはすべて解答用紙の所定のところに記入してください。
5. 解答用紙は持ち帰ってはいけません。
6. 試験終了後，問題紙は持ち帰ってください。

1 図1のように、鉛直方向に運動するエレベーターの天井に、質量の無視できるばねをつり下げて、その下端に取り付けた質量  $m$  (kg) の小球の運動をエレベーター内で観察した。エレベーターが動き出した時刻を  $t = 0$  とし、エレベーターが静止している時の小球のつりあいの位置を原点にとり、鉛直上向きを正として、小球の位置  $y$  (m) をエレベーターに取り付けたメモリを使って記録したところ図2のようになった。

エレベーターは時刻  $t = 0$  から  $2\tau$  (s) まで等加速度  $a$  (m/s<sup>2</sup>) で加速し、その間、小球は  $y = y_0$  (m) ( $y_0 < 0$ ) を振動の中心とする単振動を行った。時刻  $t = 2\tau$  で小球が初めて元の位置に戻った直後にエレベーターの加速度は0となり、その後、時刻  $t = 4\tau$  までエレベーターは等速度で移動した。さらに時刻  $t = 4\tau$  から  $5\tau$  までエレベーターは等加速度で減速し、時刻  $t = 5\tau$  のとき静止した。ばね定数を  $k$  (N/m) とし、空気の抵抗は無視できるものとして、以下の問いに答えよ。

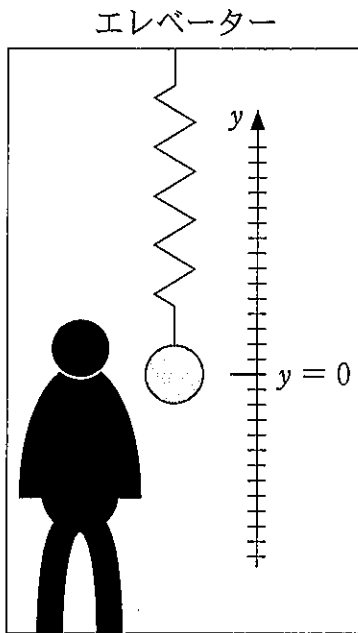


図1

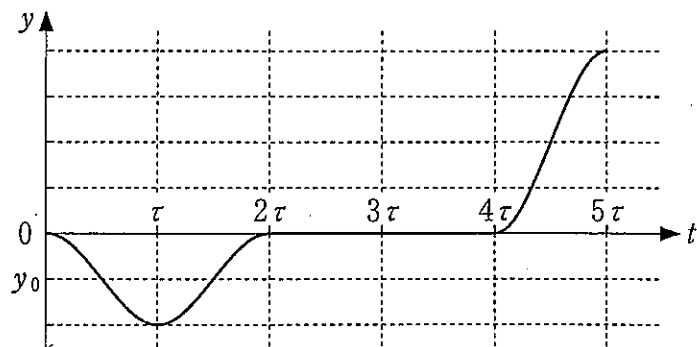
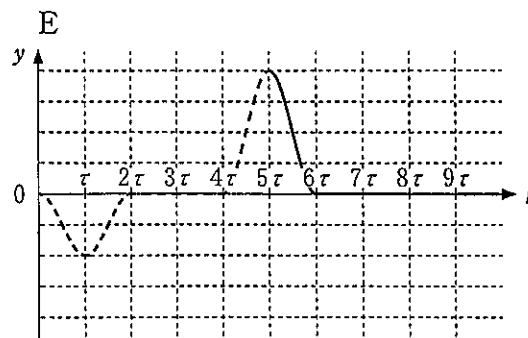
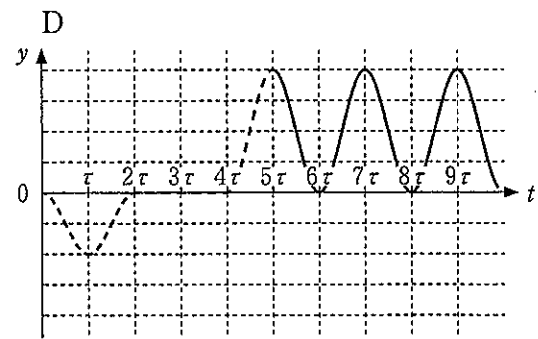
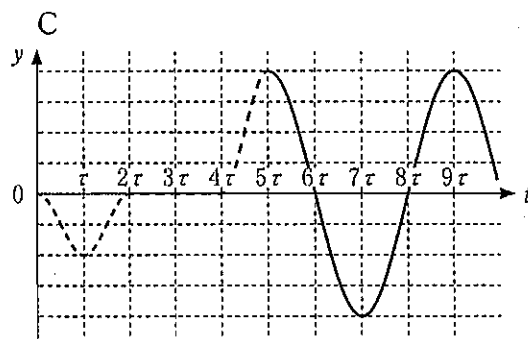
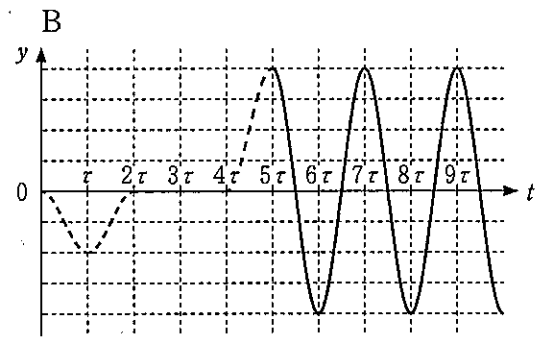
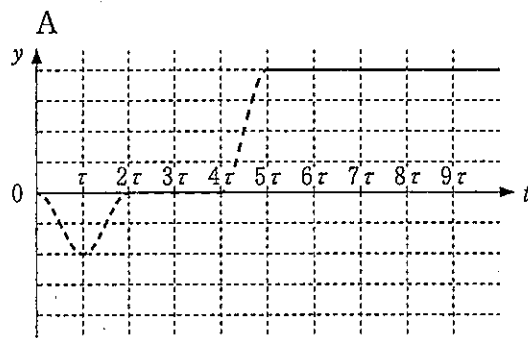


図2

- (1) このエレベーターは上昇しているか、下降しているかを、その理由とともに答えよ。
- (2) 時刻  $t = 0$  から  $2\tau$  までの間、エレベーター内で観察した小球に働く力を、すべて述べよ。

- (3) 時刻  $t = 0$  から  $2\tau$  までの小球の単振動における振動の中心  $y_0$ , 振幅  $A$  [m], および周期  $T$  [s] を,  $m, \alpha, k$  のうち必要なものを用いてそれぞれ求めよ。
- (4) 時刻  $t = 2\tau$  から  $4\tau$  までの間のエレベーターの速度  $v_1$  [m/s] を,  $m, \alpha, k$  のうち必要なものを用いて求めよ。
- (5) エレベーターが動き出してから止まるまでのエレベーターの速度  $v$  [m/s] と時刻  $t$  の関係をグラフに図示せよ。
- (6) エレベーターが動き出してから止まるまでのエレベーターの移動距離  $l$  [m] を,  $m, \alpha, k$  のうち必要なものを用いて求めよ。
- (7) 時刻  $t = 5\tau$  でエレベーターが静止した後の小球の運動として正しいものは次の A~E のうちどれか。理由を述べたうえで, 答えよ。



- 2 図1のように2つの極板AとBが距離 $d$ (m)だけ離れて置かれた平行板コンデンサーがあり、極板間には電圧 $V$ (V)の電池がつないである。このとき極板A、Bにはそれぞれ $+Q$ (C)、 $-Q$ (C)の電荷が蓄積されている。以下の問いに答えよ。

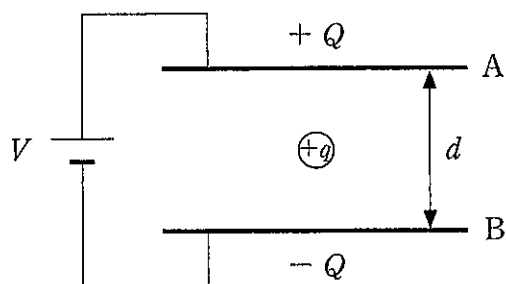


図1

- (1) 極板間に正電荷 $+q$ (C)を置く。この電荷に働く力の大きさ $F$ (N)を求めよ。  
また、その力の向きを解答用紙の図中に矢印で示せ。ただし、重力は無視できるものとする。
- (2) 正電荷 $+q$ が極板Aの表面から極板Bの表面まで距離 $d$ だけ移動する間に(1)で求めた力がする仕事 $W$ (J)を求めよ。
- (3) このコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーは図2の網掛け部分の面積に等しくなる。その理由を(2)で得られた結果を用いて説明せよ(解答用紙に図を描いた上で説明すること)。解答にあたっては、極板上の蓄積電荷の大きさが $Q$ の状態から0の状態まで徐々に放電していく過程、または、蓄積電荷の大きさが0の状態から $Q$ の状態まで徐々に充電されていく過程を考えよ。

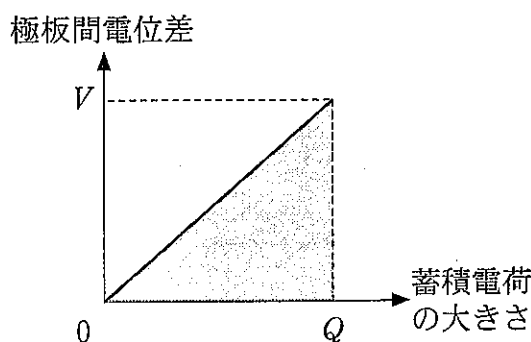


図2

次に、図3のように断面積  $S(\text{m}^2)$ 、長さ  $l(\text{m})$ 、長さ方向の抵抗  $R(\Omega)$  の導体棒の両端に電圧  $V(\text{V})$  の電池がつないである場合を考える。

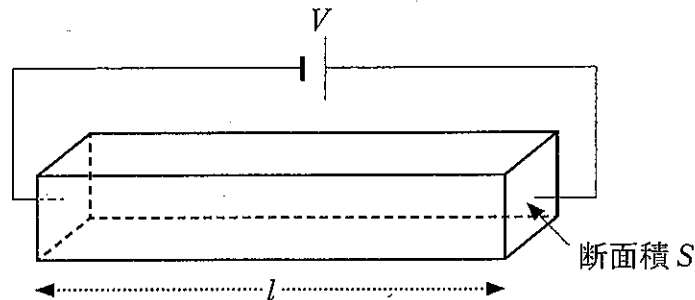


図3

- (4) 導体棒中を流れる電流  $I(\text{A})$  を  $R$ 、 $V$  を用いて表せ。
- (5) この導体棒中には自由電子が多数存在し、個々の電子の速度は時間に依存するが、すべての電子の平均速度は時間に依存せず一定であり、その向きは電流が流れる方向とは逆向きとなる。電子の平均速度の大きさを  $v(\text{m/s})$ 、導体棒中の電子密度を  $n(\text{個}/\text{m}^3)$ 、電子の電荷の絶対値を  $e(\text{C})$  とすると、導体棒中を流れる電流  $I$  は  $I = envS$  と表される。このように表される理由を説明せよ。
- (6) 上の(4)と(5)の結果を用いて、電子の平均速度の大きさ  $v$  を求めよ。
- (7) 上述のように電子の平均速度は時間に依存せず一定なので、電子は等速度運動をするとみなすことができる。等速度運動をするためには電子に働く力の合力がゼロにならなければならない。電子にはどのような力が働いているかを数式を用いずに説明し、個々の力の向きを解答用紙の図中に矢印で示せ。ただし、重力は無視できるものとする。

次に、図4のような長さ  $l$  [m] の導体棒の軸に垂直な方向に磁束密度  $B$  [Wb/m<sup>2</sup>] の一様な磁界(磁場)がかけられている場合を考える。導体棒は、棒の軸と磁界のどちらにも垂直な方向に速さ  $v$  [m/s] で動いている。

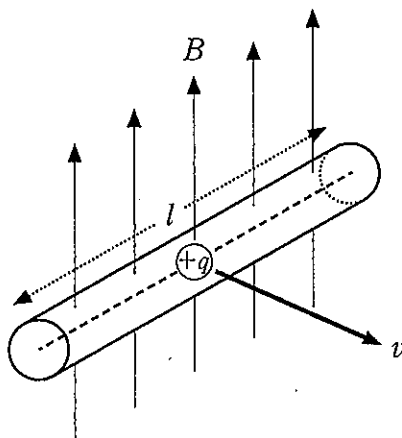


図4

- (8) 導体棒中に正電荷  $+q$  [C] があり、導体棒とともに速さ  $v$  で動いているとする。この電荷に磁界から働く力の大きさ  $F_1$  [N] はいくらか。またその力の向きを解答用紙の図中に矢印で示せ。
- (9) 導体棒中の負電荷には正電荷とは逆向きの力が働くため、導体棒の両端には正、負の電荷が蓄積され、起電力  $V$  [V] が生じる。この起電力  $V$  によって導体棒中の正電荷  $+q$  に働く力の大きさ  $F_2$  [N] を求めよ。またその力の向きを解答用紙の図中に矢印で示せ。
- (10) 上の(8)と(9)の結果を用いて起電力  $V$  を求めよ。

- 3 動摩擦係数  $\mu'$  の粗い水平な床面上に、内部の断面積  $S$  ( $\text{m}^2$ ) のシリンダーとその内部をなめらかに動く質量  $m$  ( $\text{kg}$ ) のピストンからなる容器を置く。容器内には単原子分子理想気体 1 mol が入っており、容器外は真空とする。容器を静止させたところ、気体とピストンがつりあい、ピストンはシリンダー内の高さ  $h_0$  ( $\text{m}$ ) の位置に静止した (状態 O)。ピストン以外の質量は無視できるものとし、気体定数を  $R$  ( $\text{J/mol}\cdot\text{K}$ )、重力加速度を  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) として以下の問いに答えよ。なお、床面と容器との摩擦力による仕事が熱として容器底面を通して気体に与えられる以外は、気体と周囲との熱のやり取りはないものとする。

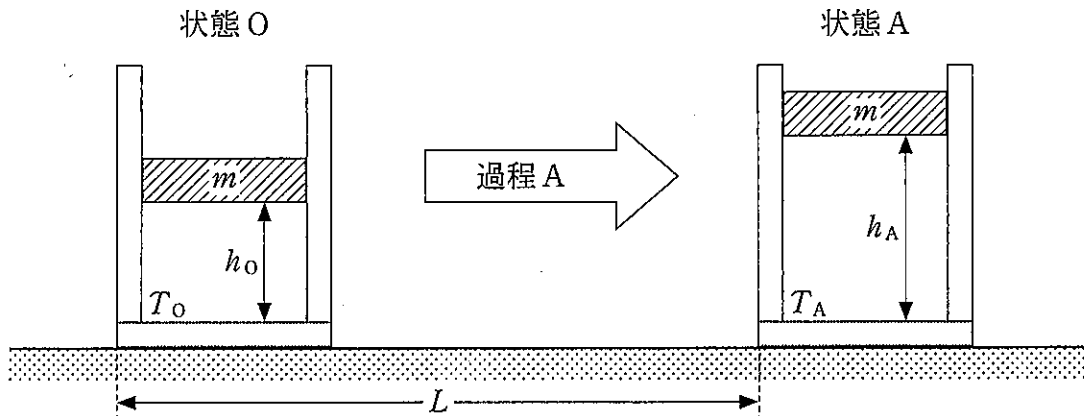


図 1

- (1) 状態 O における気体の温度  $T_0$  (K) を求めよ。
- (2) 図 1 のように、状態 O から容器底面を床面に接したまま容器を水平に運動させ、状態 O の地点から距離  $L$  ( $\text{m}$ ) だけ離れた地点まで進めた後、静止させた (状態 A)。状態 O から状態 A までの過程を過程 A とする。過程 A では、床面と容器との摩擦力による仕事はすべて熱として容器内の気体に与えられたものとする。過程 A で摩擦力により気体に与えられた熱量  $Q_A$  (J) を求めよ。
- (3) 状態 A では気体とピストンがつりあい、ピストンは高さ  $h_A$  ( $\text{m}$ ) の位置に静止した。過程 A で気体が外界にした仕事  $W_A$  (J) を求めよ。

- (4) 状態 A における気体の温度  $T_A$  (K) を,  $m, g, R, h_A$  を用いて表せ。さらに, 熱力学第一法則から,  $h_A$  を,  $h_0, \mu', L$  を用いて表せ。ただし, 温度  $T$  (K) の 1 mol の単原子分子理想気体の内部エネルギーが  $\frac{3}{2} RT$  (J) となることを用いてよい。

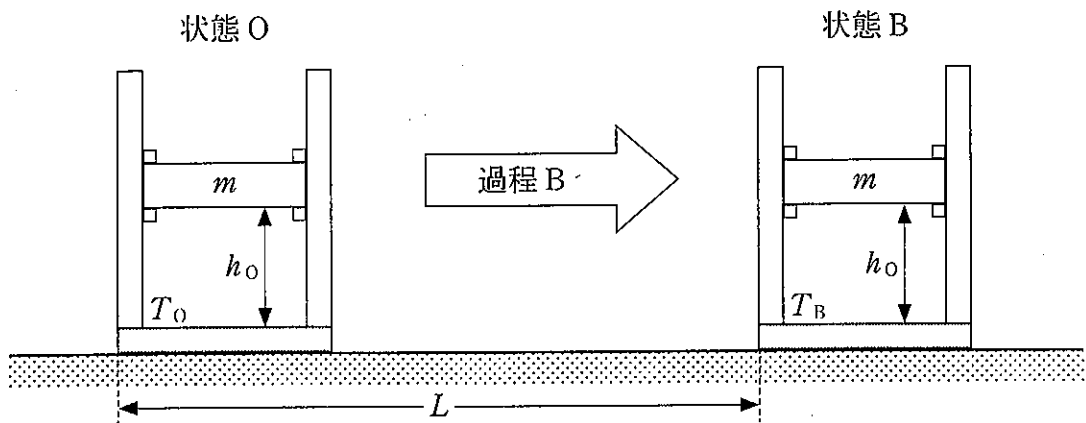


図 2

- (5) 図 2 のように, 状態 0 で, ピストンをシリンダー内の高さ  $h_0$  (m) の位置に固定した上で, 容器底面を床面に接したまま容器を水平に運動させ, 状態 0 の地点から距離  $L$  だけ離れた地点まで進めた後, 静止させた (状態 B)。状態 0 から状態 B までの過程を過程 B とする。過程 B では, 床面と容器との摩擦力による仕事はすべて熱として容器内の気体に与えられたものとする。状態 B の気体の温度を  $T_B$  (K) とすると,  $T_A$  と  $T_B$  はどちらがどれだけ高いか。  $\mu', m, g, R, L$  を用いて表せ。
- (6) 過程 A と過程 B は, それぞれ定圧過程と定積過程のどちらであることを理由とともに述べよ。さらに, 過程 A と過程 B でのそれぞれの気体のモル比熱を計算で求め, 定圧モル比熱  $C_p$  (J/mol·K) と定積モル比熱  $C_v$  (J/mol·K) の間に  $C_p - C_v = R$  の関係が成り立つことを確かめよ。



4

図1に示すように位置Sにある音源から発生される振動数 $f_0$  [Hz]、波長 $\lambda$  [m]の音波を位置Oにいる観測者が観測する場合を考える。音の速さを $V$  [m/s]とし、風はないものとする。以下の問いに答えよ。

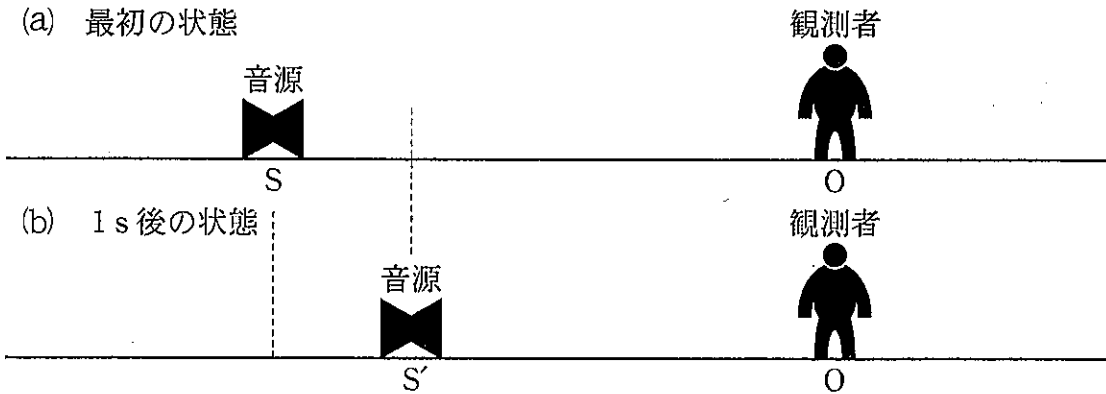


図1

- (1) 図1(a)の状態から音源が、静止している観測者に向かって速さ $u_s$  [m/s]で進み、1 s後に音源が位置 $S'$ に到達した(図1(b))。このとき、観測者が観測する音波の波長 $\lambda'$  [m]を $\lambda$ ,  $u_s$ ,  $V$ のうち必要なものを用いて表せ。また、観測者が観測する音波の波長 $\lambda'$ と位置Sにある音源から発生される音波の波長 $\lambda$ との大小関係を述べよ。ここで $V > u_s$ とする。
- (2) (1)の場合に観測者が観測する音波の振動数 $f_1$  [Hz]を $f_0$ ,  $u_s$ ,  $V$ のうち必要なものを用いて表せ。

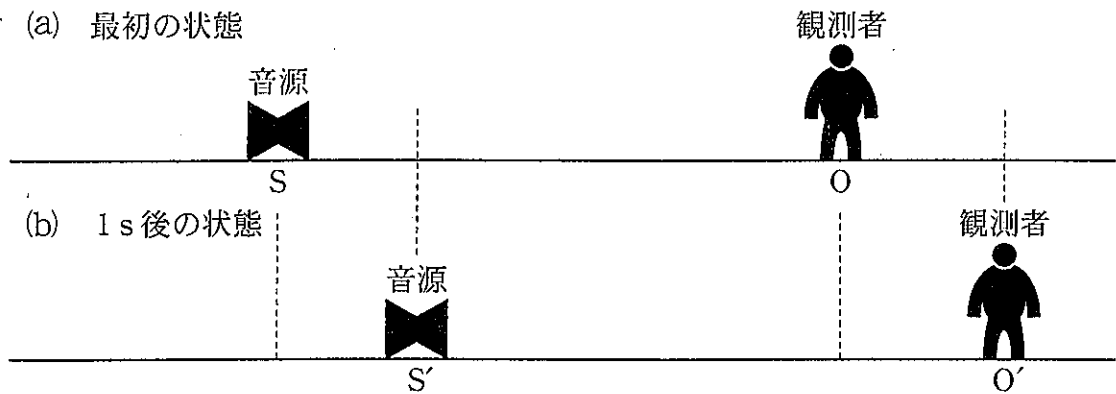


図 2

(3) 図 2 (a)の状態から位置 S にある音源と位置 O にいる観測者が図 2 の右方向にそれぞれ速さ  $u_s$  と  $u_o$  [m/s] で進み、1 s 後にそれぞれ位置 S' と O' に到達した(図 2 (b))。このとき、観測者が観測する音波の振動数  $f_2$  [Hz] を  $f_0$ ,  $u_s$ ,  $u_o$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。

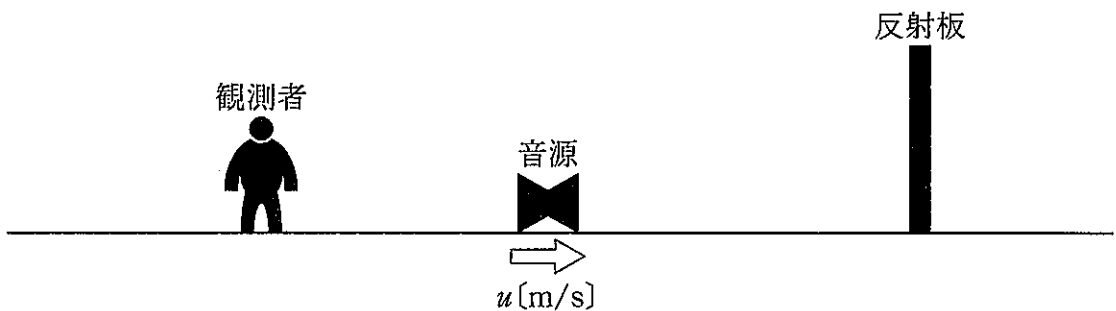


図 3

(4) 図 3 のように観測者と静止している反射板の間を音源が速さ  $u$  [m/s] で反射板に近づいている。このとき、観測者に音源から直接届く音波の振動数  $f_3$  [Hz] を  $f_0$ ,  $u$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。

(5) 図 3 の状況で、観測者がうなりを観測した。このうなりの振動数  $n$  [Hz] を  $f_0$ ,  $u$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。

(6) さらに、反射板が図 3 の右方向に速さ  $v$  [m/s] で移動を始めると、うなりがまったく観測されなくなった。このときの速さ  $v$  を  $f_0$ ,  $u$ ,  $V$  のうち必要なものを用いて表せ。