

## 物 理

I 図1のように、なめらかで水平な床の上にある傾斜角  $\theta$  ( $0^\circ < \theta < 90^\circ$ ) の斜面をもつ質量  $M$  の台 A と、その台の斜面上にある質量  $m$  の物体 B を考える。台 A は床の上を水平方向のみに自由に運動ができて、床との間に摩擦力ははたらかない。一方、台 A の斜面と物体 B の間には摩擦力がはたらき、その静止摩擦係数は  $\mu$  である。台 A の斜面上に物体 B を静かに置いたとき、物体 B は斜面上に止まったまま、台 A とともに静止していた。台 A と物体 B がともに静止した状態から、台 A を水平右向きに一定の大きさ  $F$  の力で引くと、 $F$  の大きさに応じて異なる運動が観測された。 $F$  の力で引く前の状態といろいろな  $F$  の値に対する運動について、以下の問 1 ~ 4 に答えなさい。ただし、重力加速度の大きさを  $g$  とし、物体 B の大きさは無視してよい。 (配点 25 点)

問 1  $F$  の力で引くまでは、台 A と物体 B はともに静止していた。このとき、 $\mu$  のとりうる値の範囲を求めなさい。ただし、解答欄の図中に物体 B にはたらく全ての力の名称および向きを記入したうえで、導出の過程も示しなさい。力の向きは矢印で表しなさい。

問 2  $F$  が小さい場合には、物体 B は斜面上に止まったまま、台 A とともに一体となって水平右向きに加速した。この加速度の大きさを  $F$  を用いて表しなさい。

問 3  $F$  がある大きさ  $F_1$  を境にしてそれよりも大きい場合には、物体 B は斜面に沿って滑り落ちた。 $F_1$  の大きさを求めなさい。ただし、導出の過程も示しなさい。

問 4  $F$  が十分大きい場合には、物体 B は  $F$  の大きさによらない運動をした。このときの物体 B の運動を簡潔に述べなさい。

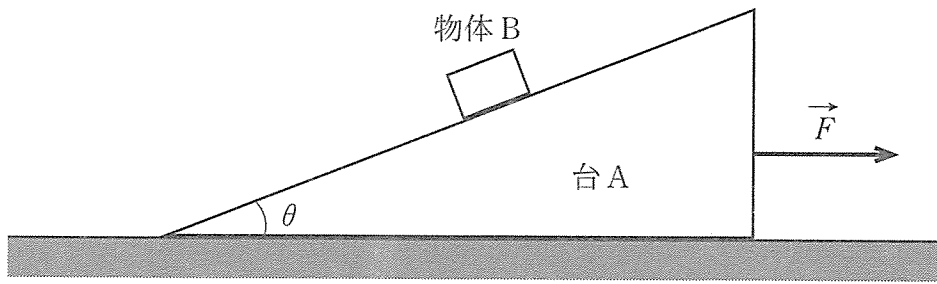


图 1

Ⅱ 磁場中に置かれた電気回路に関する次の文章を読んで、問 1～5 に答えなさい。

問 1～4 では解答の導出過程も示しなさい。図 1 と図 2 で示すように十分に長い平行な 2 本の導体でできた間隔  $d$  の固定されたレールがあり、電気抵抗をもつ棒がレールに垂直に置かれている。棒はレールの上をなめらかに動くことができる。回路全体を垂直上向きに磁束密度の大きさ  $B$  の一様な磁場が貫いている。棒の抵抗以外の電気抵抗と、回路を流れる電流の作る磁場は無視できるとする。

(配点 25 点)

まず、図 1 の回路について考える。図 1 の回路には起電力  $E$  の電池とスイッチが接続されており、右側に延びた導体レールの上に、レール間の抵抗  $R$  をもつ棒が電池から十分に離れた位置に 1 本置かれている。棒が静止している状態でスイッチを入れた。

問 1 スwitchを入れたときに棒にはたらく力の大きさと向きを答えなさい。

問 2 スwitchを入れた後、棒は動き出した。棒の速さが  $v$  になった瞬間に棒に流れる電流の大きさを求めなさい。

つぎに、図 2 の回路について考える。図 2 の回路には導体レールの上にレール間の抵抗  $R$  をもつ質量  $m$  の棒  $L_a$  と  $L_b$  が離れて置かれている。回路の右端には絶縁体の板がしっかりと固定されている。2 本の棒がともに静止している状態から、棒  $L_a$  に右向きの初速度  $v_0$  を与えた。

問 3 棒が板に衝突する前のある時刻において、棒  $L_a$  の速さが  $v_a$ 、棒  $L_b$  の速さが  $v_b$  であった。そのときに 2 本の棒にはたらく力の大きさと向きをそれぞれ答えなさい。

問 4 棒が板に衝突する前に 2 本の棒は同じ速度になった。棒  $L_a$  に初速度  $v_0$  を与えてから 2 本の棒の速度が等しくなるまでに回路で消費されたエネルギーを求めなさい。

問 5 その後、棒  $L_a$  が板に弾性衝突をした。衝突をした後の棒  $L_a$  と棒  $L_b$  の運動を簡潔に答えなさい。ただし、棒  $L_a$  と棒  $L_b$  が接触することはないものとする。

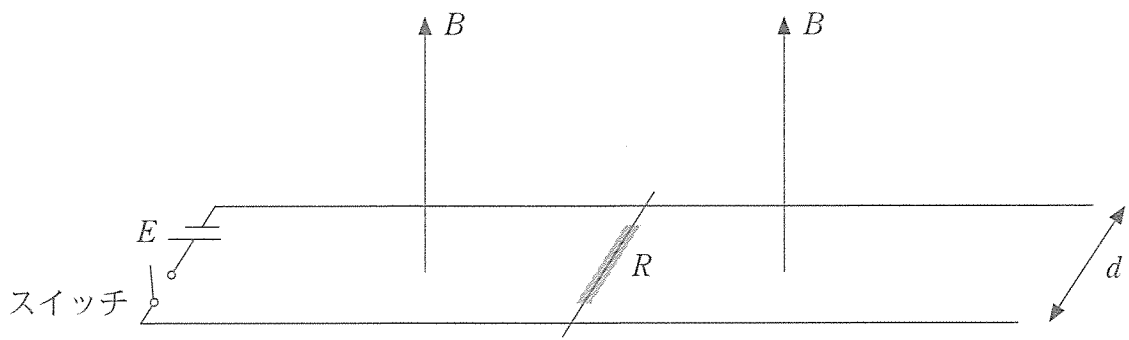


図 1

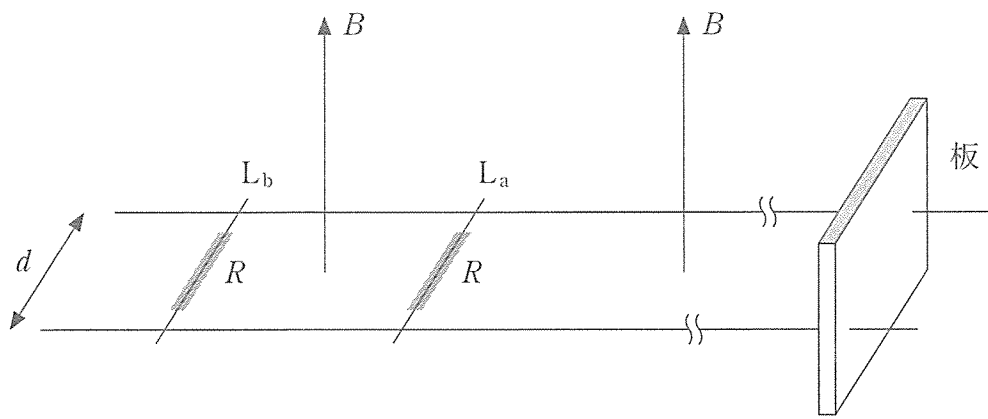


図 2

Ⅲ 超音波は人間の耳には聞こえない振動数が大きい音波であるが、指向性が高いという性質を持ち、広く応用にも使われている。ここでは、超音波は空気中をまっすぐに伝わり、超音波を反射する壁(以下、壁)では、反射の法則にしたがって反射するものとして考えよう。ある振動数の超音波を水平方向に発生する装置(以下、音源)が台車に固定されていて、台車はレールの上を一定の速度で移動できるものとする。問1～3に答えなさい。文中に与えられた物理量の他に解答に必要な物理量があれば、それらを表す記号はすべて各自で定義し、解答欄に明示しなさい。

(配点 25 点)

図1のように、台車上の音源が超音波を発生させながら観測者から一定の速度で遠ざかっていて、台車の移動する方向に壁がある場合を考える。

問1 このとき、観測者には異なる振動数の2つの超音波が届いており、それらの超音波が重なり合っとうなりとして観測された。これら2つの超音波の振動数を表す式と、うなりの振動数(1秒間あたりのうなりの回数)を表す式を求めなさい。

つぎに、図2のように、観測者が台車にのって音源とともに壁に向かって移動する場合を考える。このときにも、観測者にはうなりが観測された。台車の速さを変えて何回か観測を行ったところ、台車の速さが2.000 m/sのときのうなりの振動数は400 Hzであり、うなりの振動数が2000 Hzになるのは台車の速さが9.770 m/sのときであった。

問2 (1) うなりの振動数を表す式を求めなさい。

(2) さらに、観測した数値を用いることによって、空気中を超音波が進む速さと、音源が発生している超音波の振動数を、有効数字3けたで求めなさい。

つぎに、図3のように、壁がレールと平行に $w$ だけ離れたところにある場合を考える。図3は上から見た図であり、観測者はレールのすぐそばにいて、観測者とレールの距離は $w$ に比べて無視でき、音源の位置は観測者の位置を原点0として右向きを正とする変数 $x$ で表される。音源と台車が左から右へ一定の速度で移動したときにも、観測者にはうなりが観測された。

問 3 音源が  $x$  を通過するとき発生した超音波が壁で反射して観測者に届いたときの振動数を、 $x$  の関数として求めて、その関数のグラフの概略を描きなさい。グラフ中には、 $x$  が 0 のときと正負で十分大きいときの振動数の式を記入しなさい。

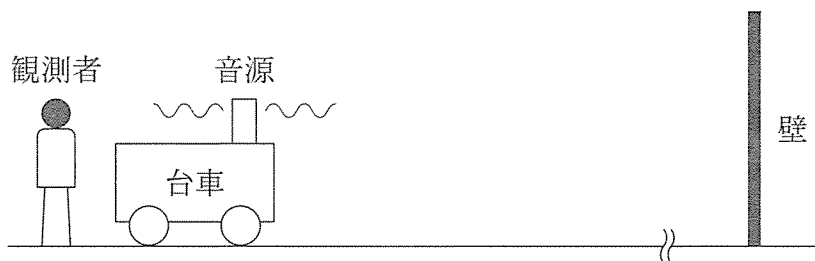


図 1

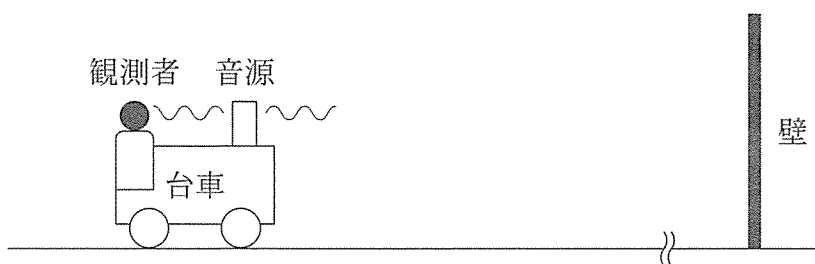


図 2

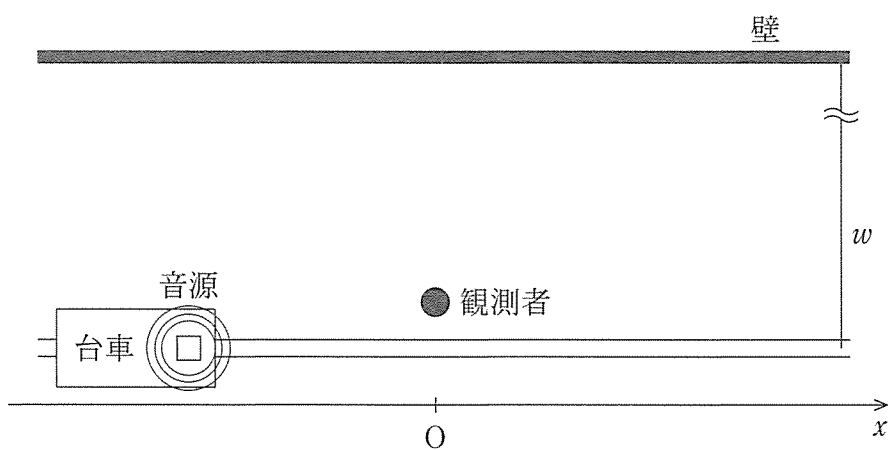


図 3