

## 理 科 (物 理) 試 験 問 題 (6 頁中の 1)

(理 工 学 専 攻)

(注意) 解答はすべて別紙解答用紙の定められた枠内に記入せよ。正しく記入していない場合には採点されない  
ので注意せよ。

解答用紙の余白は計算に利用してもよい。

**I** 図 1 のように、天井から長さ  $l$  [m] の軽いひもでつるされた質量  $m$  [kg] の静止した物体に、質量  $m$  [kg] の物体を速さ  $v$  [m/s] で水平に衝突させたところ、2つの物体は衝突と同時に一体となり振動を始めた。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として以下の間に答えよ。ただし、振り子のひもがたるむことはなく、振動面は変化しないとする。また、空気抵抗および物体の体積は無視してよい。答えは  $m, g, l, v$  のうち必要な記号を用いて表せ。

- (1) 衝突直後の一体となった物体の速さ  $v_1$  [m/s] を求めよ。
- (2) 図 2 のように、振り子が鉛直線となす角 (振れ角) は最大で  $\theta_1$  [rad] となった。  $\cos \theta_1$  を求めよ。
- (3) 図 3 のように、振動している物体が最下点に達する瞬間に再び質量  $m$ 、速さ  $v$  の物体を、振動している物体に、その後方から水平に追突させて一体化させた。このとき衝突直後の一体となった物体の速さ  $v_2$  [m/s] を求めよ。
- (4) この一体となった物体の最大の振れ角を  $\theta_2$  [rad] とするとき、  $\cos \theta_2$  を求めよ。
- (5) このような、質量  $m$ 、速さ  $v$  の物体による追突と一体化を繰り返した。  $n$  番目の衝突直後の一体となった物体の速さ  $v_n$  [m/s] と最大の振れ角  $\theta_n$  [rad] の余弦  $\cos \theta_n$  を求めよ。ただし、  $m, g, l, v$  の記号の他に  $n$  を用いてよい。
- (6) 100 番目の衝突後に物体は初めて天井に軽く接触した。衝突させた物体の速さ  $v$  を求めよ。

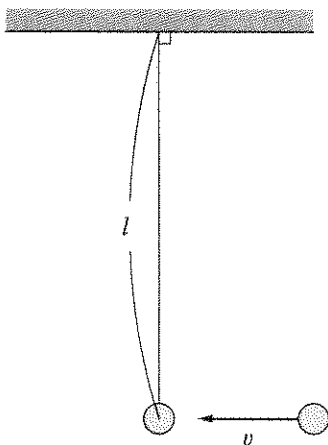


図 1

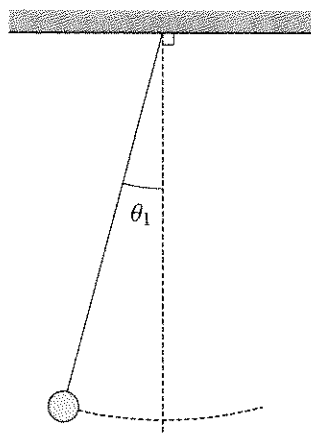


図 2

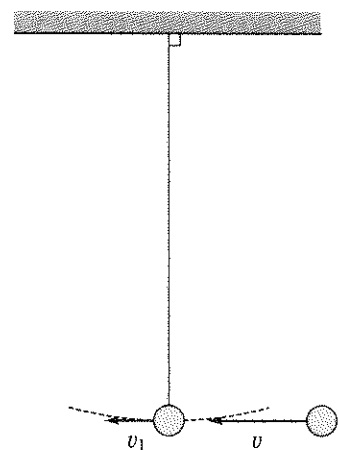


図 3

② 抵抗  $R$  [ $\Omega$ ] の被覆された細い導線でできた、幅  $w$  [m]、高さ  $h$  [m] の長方形閉回路が多数ある。これらの閉回路をガラス板 I と II に高さの方向に並べて固定した。図 1 (1) に示すように、閉回路が鉛直に並ぶようにガラス板 I と II を立てて、その間を直方体棒磁石を静かに落下させた。しばらくすると棒磁石は一定の速さ  $v$  [m/s] で鉛直に落下を続けた。棒磁石の質量は  $M$  [kg] で、幅と高さおよび長さはそれぞれ  $a$  [m]、 $b$  [m] および  $l$  [m] である。

図 1 (1) は落下中の棒磁石周辺を正面から見た様子を示しており、S 極付近を右から見たところが図 1 (2) に示されている。

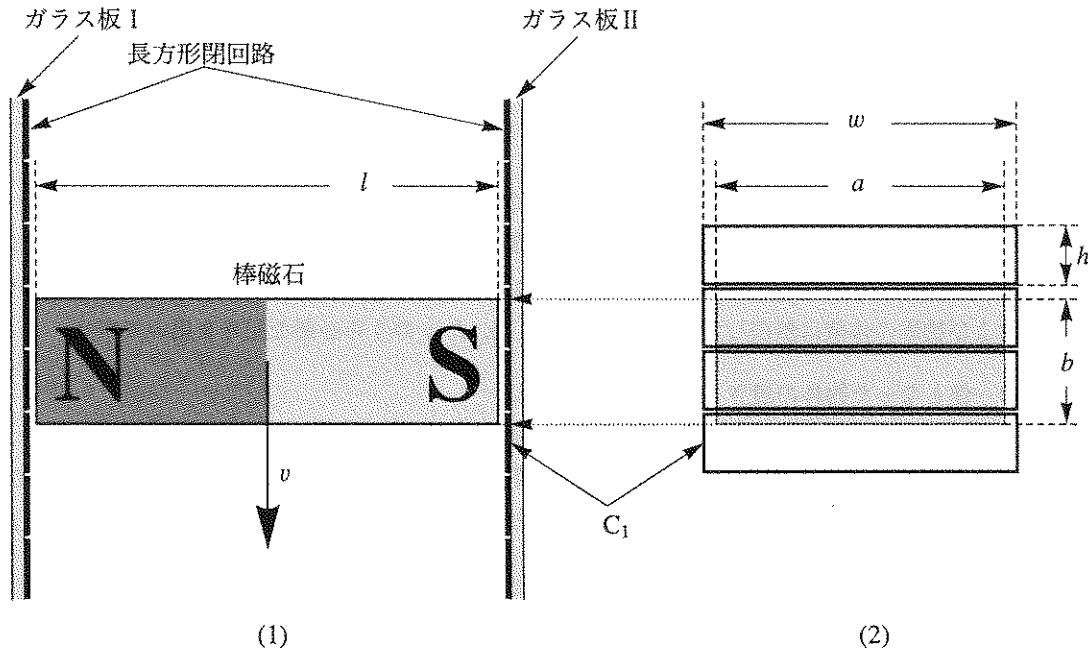


図 1

時刻  $t = t_0$  (s) において、一定の速さ  $v$  で落下する棒磁石の底面の高さと同図 1 の閉回路  $C_1$  の上辺の高さとが一致した。棒磁石が通過する前後の  $C_1$  を貫く磁束  $\Phi(t)$  (Wb) の時間的な変化は図 2 に示すグラフのようになった。ここで、棒磁石の磁極付近の磁力線はガラス板を垂直に貫き、磁束密度の大きさ  $B$  (T) は図 1 (2) に示す棒磁石の断面の内側では一様とし、その外側では磁束密度を無視する。

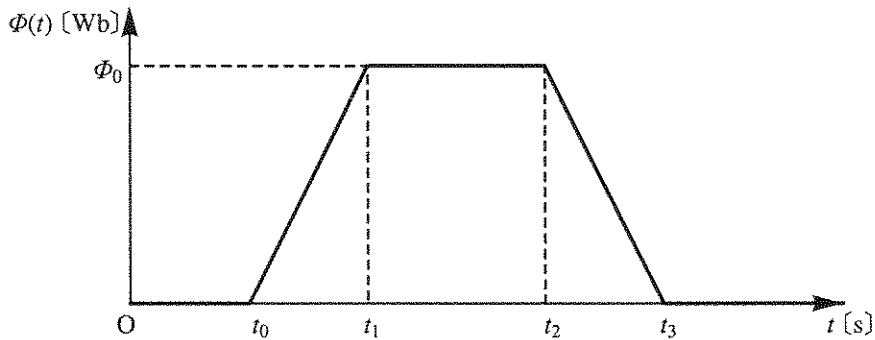


図 2

この棒磁石の落下速度について、閉回路に発生する誘導電流の効果を考察する。重力加速度の大きさを  $g$  ( $\text{m/s}^2$ ) とし、以下の問に答えよ。ただし、棒磁石は底面が水平を保つように落下するとし、落下する棒磁石に作用する空気抵抗および地磁気の影響は無視する。また棒磁石の幅  $a$  は閉回路の幅  $w$  よりも小さく、高さ  $b$  は閉回路の高さ  $h$  よりも大きいとし、閉回路の導線の太さや隣り合う閉回路間のすきまは  $h$  に比べて十分小さいとする。

(1) 図2のグラフについて、

(ア) 図に示した時刻の差  $t_1 - t_0$  (s),  $t_2 - t_0$  (s),  $t_3 - t_0$  (s) および磁束  $\Phi_0$  (Wb) を求めよ。

(イ) (i)  $t_0 < t < t_1$ , (ii)  $t_1 < t < t_2$ , (iii)  $t_2 < t < t_3$  の各場合に  $C_1$  に流れる誘導電流を  $B, a, v$  および  $R$  で表せ。ただし、電流の向きは図1(2)において  $C_1$  を時計回りに流れる場合を正とする。

(2) 右側のガラス板II上の閉回路全体で1秒間あたりに発生するジュール熱を  $B, a, v$  および  $R$  を用いて表せ。

(3) 落下する棒磁石が1秒間あたりに失う重力による位置エネルギーを  $g$  を含む式で答えよ。

(4) 落下する棒磁石が失う重力による位置エネルギーはガラス板IとIIの閉回路に生じるジュール熱となる。落下する棒磁石の速さ  $v$  を求めよ。

3 音波の性質に関する以下の問に答えよ。

(1) 長さ 120.0 cm, 質量 0.480 g の弦 A の一端を固定し, 他端に滑車を通して質量  $M$  [kg] のおもりをつるし, それらの間に 2 つのとがった支柱 (1 と 2) で弦を張った (図 1)。

(ア) 弦 A の線密度  $\rho$  は何 kg/m か。

(イ) 弦 A の支柱間の長さ  $l$  を 50.0 cm とする。弦 A に基本振動をさせたとき, 振動数は 350 Hz であった。

(i) 弦を伝わる波の波長は何 m か。(ii) その速さは何 m/s か。

(ウ) おもりの質量  $M$  は何 kg か。ただし, 線密度  $\rho$  [kg/m] の弦を引く力を  $S$  [N] とすると, 弦を伝わる波の速さは  $\sqrt{\frac{S}{\rho}}$  [m/s] で与えられる。また重力加速度の大きさは  $9.80 \text{ m/s}^2$  とする。

(エ) 次に, 基本振動の振動数が 370 Hz の弦 B と別の弦 C を弦 A のすぐ横に並べた。弦 C の直径, 材質および張力は弦 A と同じであり, 支柱間の長さだけが弦 A とは異なる。弦 A と弦 C, 弦 B と弦 C の組み合わせで 2 本の弦を同時に基本振動をさせたとき, それぞれ毎秒 15 回, 5 回のうなりが発生した。

(i) 弦 C の振動数は何 Hz か。(ii) 弦 C の支柱間の長さは何 m か。

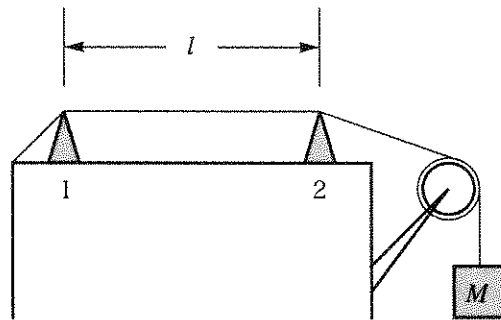


図 1

(2) 弦を伝わる波の速さが弦 A の場合と等しく, 支柱間の長さが 25.0 cm の弦 E と F を 150.0 cm 離して互いに平行に張った。両方の弦を基本振動させて, 同じ大きさの音を同じ位相で発生させた。図 2 に示すように, 弦 E と F のそれぞれの中点の鉛直上方 200.0 cm の 2 点 O, Q を通る直線に沿って移動しながら音の強さを測ったところ, 図 3 に示すような結果が得られた。

(ア) この音波の波長は何 m か。

(イ) この音波の速さは何 m/s か。

(ウ) 弦 E と F で発生する音波を互いに逆位相にした。このとき, 図 3 に示した O, P, Q, R, S のうち音が弱くなる場所をすべて答えよ。

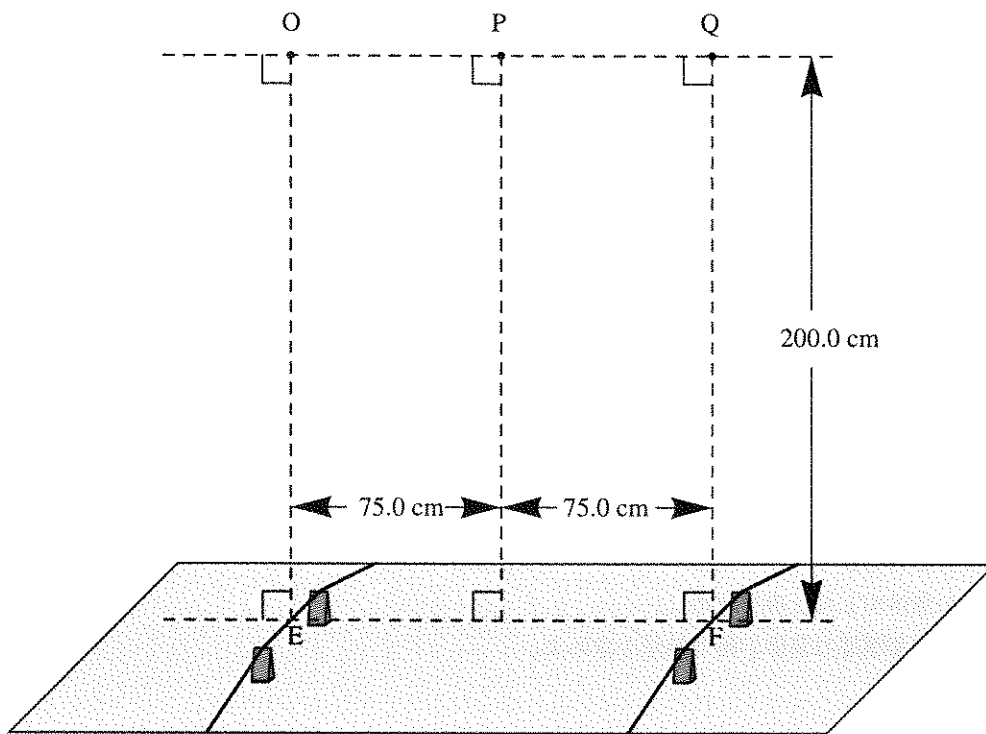


図 2

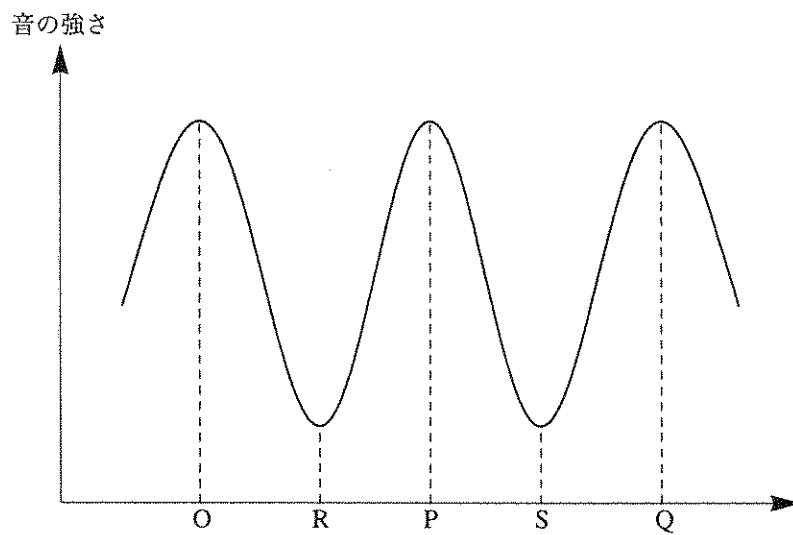


図 3

4 図1に示すように、熱を伝えないU字形の管を鉛直に立てて水平な台上に固定してある。管の密閉部側には、圧力  $p_0$  [Pa]、温度  $T_0$  [K] の単原子分子の理想気体が熱を伝えないピストンで閉じ込められている。ピストンの下には密度  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] の液体が開口部側と同じ高さまで入っている。ここでピストンの質量は無視できるとする。密閉部側の気体が詰まった空間の高さは  $L$  [m] であり、鉛直部分の管の断面積は  $S$  [m<sup>2</sup>] である。ただし、ヒーターおよび導線の体積と熱容量、ならびに導線を通した熱の出入りは無視できるとする。また、ピストンと液体は管の内部で滑らかに動くものとする。管の外部の気圧を  $p_0$  [Pa]、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)]、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] として以下の問に答えよ。

- (1) 密閉部の気体の物質量を求めよ。
- (2) 密閉部の気体をヒーターで加熱したところ、図2に示すように開口部側の液面がゆっくりと  $\frac{1}{2}L$  だけ上昇して止まった。ただし、気体を加熱する間に液体の密度は変化しないとする。
  - (ア) 密閉部の気体の圧力を求めよ。
  - (イ) 密閉部の気体の温度を求めよ。
  - (ウ) 加熱による密閉部の気体の内部エネルギーの変化量を求めよ。
  - (エ) 密閉部の気体がした仕事を求めよ。
  - (オ) 加熱により密閉部の気体が得た熱量を求めよ。

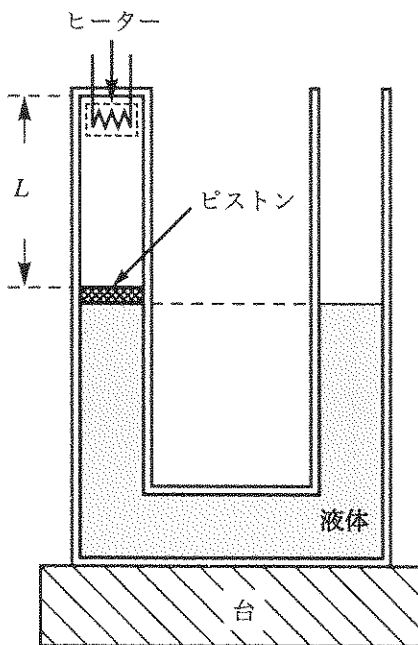


図1

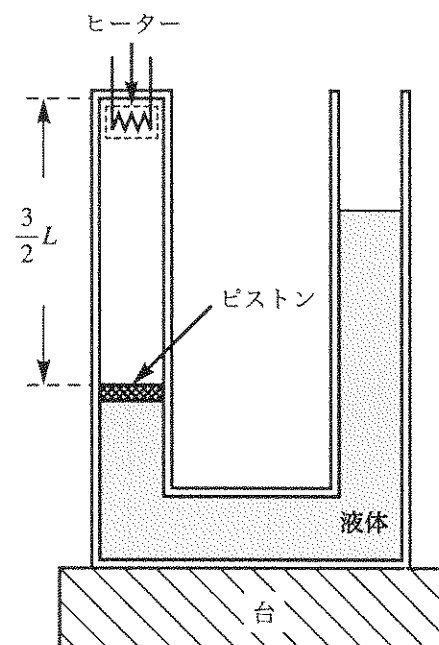


図2