

I 図1に示すように、水平面と角度 θ をなす滑らかな斜面上に沿って自然長 ℓ (m)、ばね定数 k (N/m)のばねが置かれている。そのばねの左端は固定されており、右端には質量 M (kg)の板が取り付けられている。斜面上でこの板の上に質量 m (kg)の小球を乗せる。重力加速度を g (m/s²)とし、ばねの質量、板の厚み、小球の大きさ、空気抵抗は無視できるものとする。

- (1) ばねは自然長から s (m)だけ縮んだところで釣り合った。 k を s , m , M , g , θ を用いて表せ。

ばねを釣り合いの位置から更に d (m)だけ縮めて静かに放す。

d が小さい場合には小球は板から離れず斜面上で振動を始めた。

- (2) この振動の周期を求めよ。
(3) 小球が最大の高さに到達するときのばねの長さを ℓ , s , d を用いて表せ。

d が大きい場合には小球は板から離れて飛び出した。

- (4) 小球が斜面上に沿って動き出してから板から離れるまでの間の運動方程式を板と小球についてそれぞれ示せ。但し、斜面上に沿ってばねの固定点から測った板及び小球までの距離を x (m)とし、板と小球との間に働く抗力の大きさを N (N)、斜面上に沿った上向き方向の板及び小球の加速度を a (m/s²)とする。
(5) 抗力 N を m , g , θ , s , ℓ , x を用いて表せ。
(6) 小球が板から離れるときのばねの長さを求めよ。
(7) 小球が板から離れるときの速度を g , θ , d , s を用いて表せ。

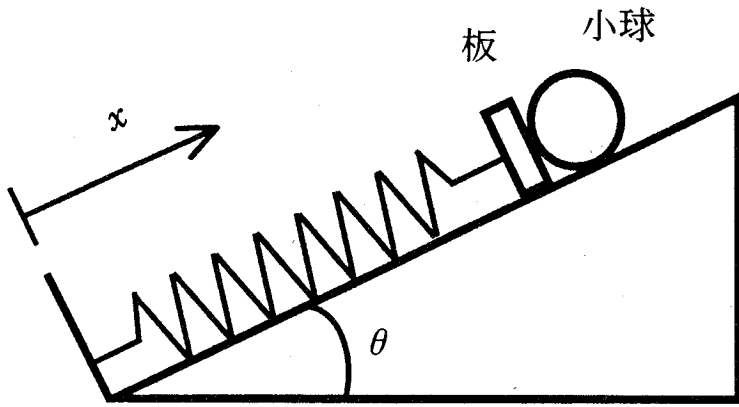


图 1

II 図2aのABCDは、質量 m [kg]、抵抗 r [Ω]、一辺の長さ a [m]の正方形の1回巻コイルである。いま、コイルは紙面(鉛直面)内において静止しており、その底辺BCは水平に保たれている。コイルの真下にある矩形の領域 PQRS には、紙面に垂直に表から裏へ向いた磁束密度 B [T] の一様な磁場がある。PQ の長さは L [m] であり、 $L > a$ とする。PS は水平であり、PS の長さは a よりも十分長い。

コイルを静かに放したところ、コイルは回転することなく磁場領域を通過して落下した。図2b, c, d, eは落下中のコイルの上辺または下辺が磁場領域の境界と接する瞬間を表している。重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。

コイルが図2bから図2cの間を落下している場合について考える。

- (1) コイルの落下速度が v [m/s] となったとき、コイルに流れる電流の向きと大きさを求めよ。電流の向きは、図における反時計回りを正、時計回りを負として、正負の符号を付して答えよ。
- (2) このとき、磁場がコイルに及ぼす力の向きと大きさを求めよ。力の向きは鉛直下向きを正として、正負の符号を付して答えよ。
- (3) このとき、コイルに発生する単位時間あたりのジュール熱と、磁場がコイルに及ぼす力のなす仕事の仕事率を求めよ。

コイルを放すときのBCとPSの距離を h [m] にしたところ、図2bから図2cの間のコイルの運動は等速度運動となった。

- (4) B^2 を h を用いて表せ。
- (5) コイルが図2bから図2cまで落下する間に、コイルに発生したジュール熱を Q [J]、磁場がコイルにした仕事を W [J]、コイルの力学的エネルギーの変化を ΔE [J] と書く。 Q と ΔE を求め、 Q 、 W 、 ΔE の間に成立する関係を示せ。
- (6) コイルが図2dから図2eまで落下する間に、コイルに発生したジュール熱は q [J] であった。図2eにおけるコイルの落下速度を求めよ。

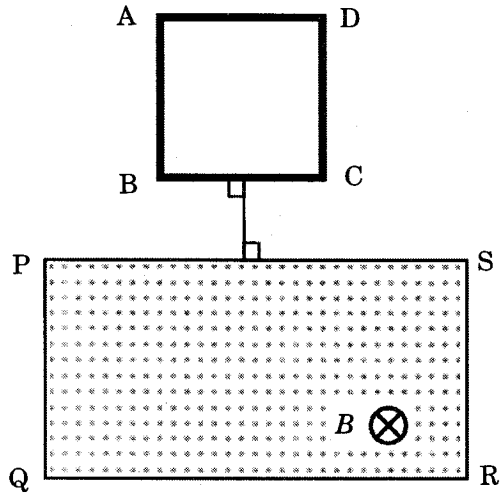


图 2 a

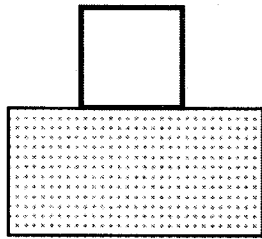


图 2 b

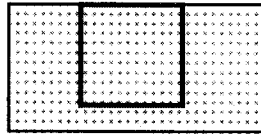


图 2 c

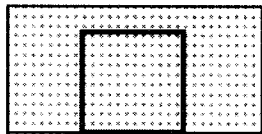


图 2 d

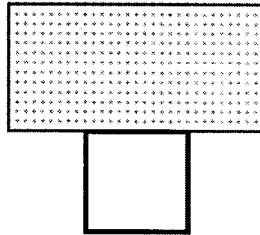


图 2 e

Ⅲ 図 3 a のように、共鳴箱の上に、材質、太さの様な細い金属線が張られた装置がある。金属線の一端は固定され、他端には滑らかに動く滑車を通して質量 M [kg] のおもりがつるされている。支点 A, B を左右に動かして AB 間の距離 L [m] を変えることができる。金属線には周波数を変えることができる交流電源が接続され、正弦波の交流電流を流すことができるようになっている。磁石 P は AB の中点の位置に置かれ、その磁極 NS 間の磁場は金属線に垂直である。この装置で、 M , L を適当な値にして交流電源の周波数を徐々に上げてゆくと、共鳴音が聞こえて金属線が振動する様子を観察できる。

$L = 0.80$ [m] にして、材質が同じで、直径 d [mm] の異なる 3 本の金属線それぞれについて、 M の値を変えては交流電源の周波数を徐々にあげていった。そのとき、共鳴音が聞こえて基本振動が観察されるとき交流電源の周波数 f [Hz] を求め、 \sqrt{M} を横軸、 f を縦軸にとって図 3 b のようなグラフを得た。

- (1) このとき金属線を伝わる波の波長はいくらか。
- (2) $M = 4.0$ [kg], $d = 0.40$ [mm] のとき、金属線を伝わる波の速さはいくらか。
- (3) 図 3 b のグラフの傾きを縦軸に、 $1/d$ の値を横軸にとったグラフを描け。
縦軸、横軸の目盛を書き、[] 内に単位を記入すること。
- (4) (3) で描いたグラフから、 f を M と d で表す式(実験式)を求めよ。
- (5) $M = 4.0$ [kg], $d = 0.40$ [mm] のとき、交流電源の周波数を変えていったら、3 倍振動が観察された。このとき、金属線を伝わる波の波長はいくらか。また、このときの交流電源の周波数はいくらか。

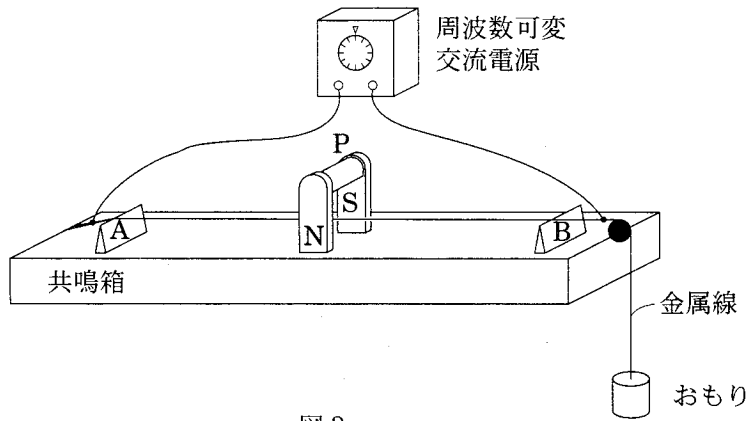


図 3 a

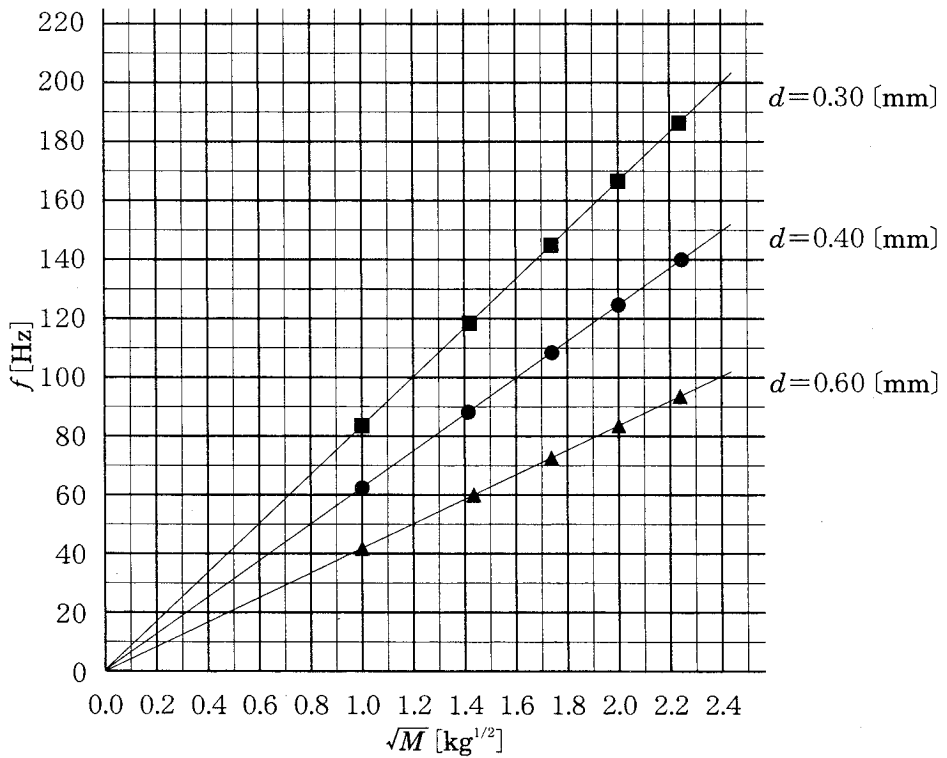
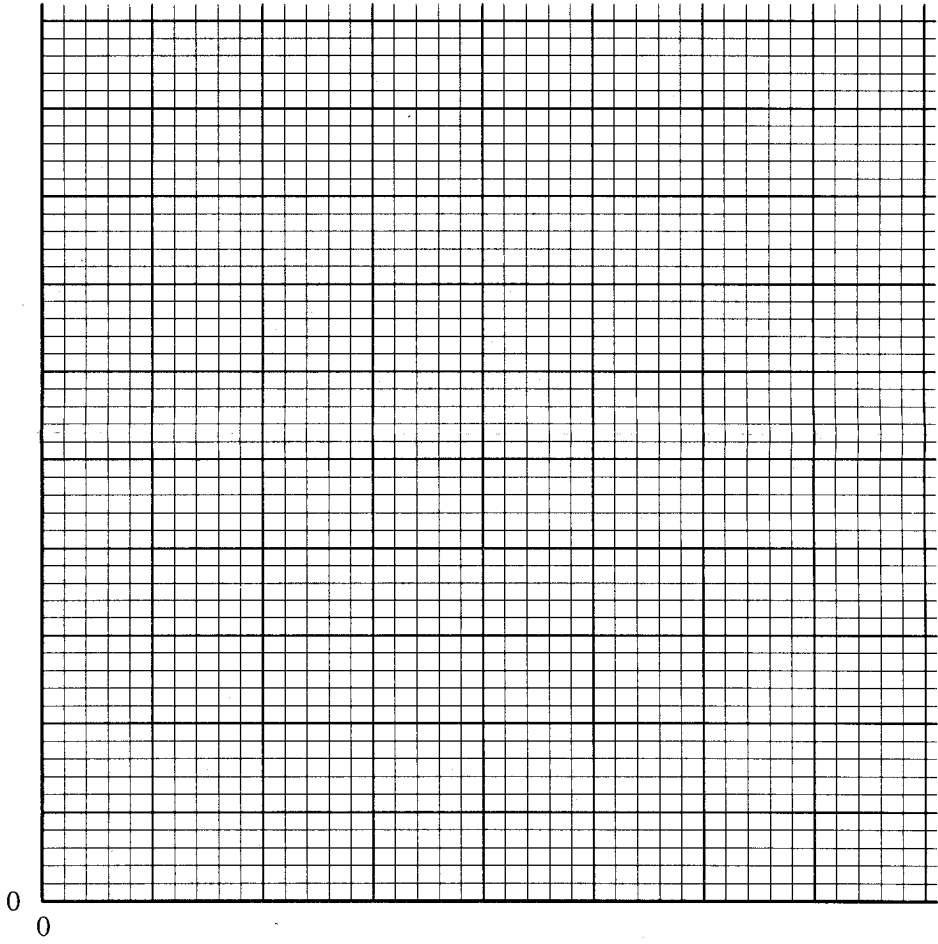


図 3 b

(3)

図3bのグラフの傾き []



$1/d$ []