

(令 3 理物後) 小 論 文

(問題部分は 1 ~ 6 ページ)

- ・ ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

小論文 400 点

I 図1のように、ばね定数 k のばねを床に固定し、その上に質量 M の板を取り付けて静止させる。このときの板の位置を原点 O として、鉛直上向きに x 軸を取る。位置 $x = h$ から質量 m の物体を初速 0 で落下させたところ、物体は板と完全非弾性衝突した。衝突後に板と接している物体は、板から容易に離れることが可能である。また、板と物体は x 軸方向にのみ運動するものとし、板と物体の x 方向の厚みを無視する。重力加速度を g とする。以下の設問に答えなさい。解答には導出過程も示しなさい。導出の過程で必要な物理量があれば定義して用いてよいが、答には問題文で与えられている物理量のみを用いなさい。(配点 140 点)

問 1 h がある値 h_0 より小さい場合、衝突後の板と物体は単振動を続ける。単振動の周期と、振動の中心の位置を求めなさい。

問 2 h が h_0 より大きい場合、ある位置で物体は板から離れてしまう。その位置を求めなさい。

問 3 h_0 を求めなさい。

問 4 問 2 の場合において、物体を落下させてから、板を離れた後に最高点に達するまでについて、物体の速度 v の時刻 t に対する変化の概略をグラフであらわしなさい。グラフには、衝突する時刻と物体が板から離れる時刻がどこであるかを図示しなさい。ただし、それらの時刻を具体的に求めなくてよい。

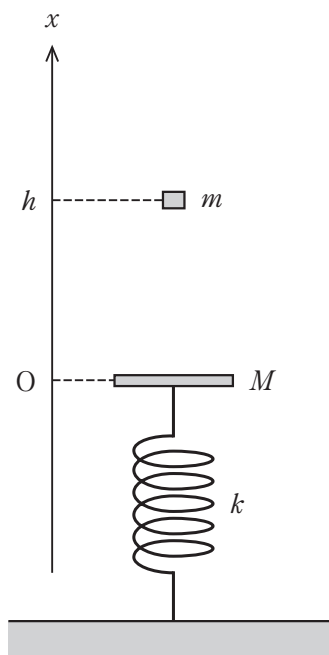


图 1

II 図1のように、半径が R の円周上に電気量 $Q (> 0)$ の点電荷を1つ固定する。この電荷の位置を頂点の1つとし、円に内接する頂角が θ の二等辺三角形を考える。自由に円周上を移動できる、電気量 $q (> 0)$ の点電荷が2つあり、それぞれを三角形の底辺の両端の位置に静かに置くと静止した。点線は円の中心 O から底辺へ下した垂線を表し、垂線と底辺との交点を P とする。外部からの電場はなく、重力の影響は無視できるものとする。以下の設問に答えなさい。解答には導出過程も示しなさい。導出の過程で必要な物理量があれば定義して用いなさい。
(配点 130 点)

問 1 電気量 q の点電荷が受ける力の向きを図に描きなさい。

問 2 電気量の比 $\frac{q}{Q}$ によって θ が定まることを示しなさい。

問 3 電気量 q が $q < Q$ を満たす場合に、 θ のとり得る範囲を示しなさい。また、 $q > Q$ を満たす場合に、 θ のとり得る範囲を示しなさい。

問 4 線分 OP 上での電位を、点 P からの距離の関数として表しなさい。ただし、点 O から十分に遠く離れた位置での電位を 0 とする。

問 5 電気量が $q = Q$ を満たす場合に、円を含む平面上での電気力線の概略を図に描きなさい。

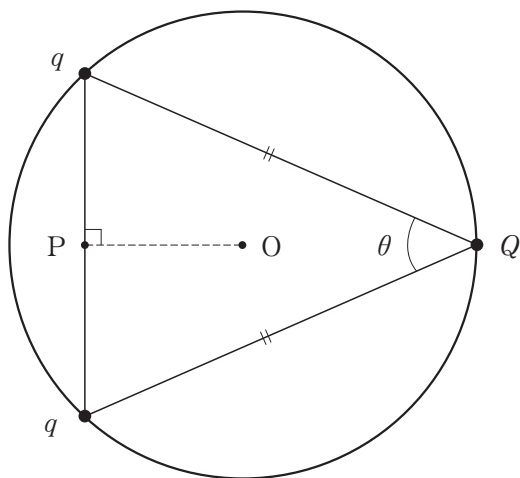


图 1

Ⅲ 導体の弦の振動及び外力による変形を考える。図1のように、弦の一端を壁に固定し、他端には滑車を通したのちに質量 M のおもりを取りつけて張力をかけ、弦を紙面に平行に水平に張った。滑車と壁との間には支柱 P と Q が間隔 ℓ で置かれている。弦は密度 ρ の材質でできており、弦の断面は半径 r の円である。空間には、必要に応じて磁束密度の大きさ B の一様な磁場を紙面裏から表に向かってかけることができる。重力加速度を g とする。以下の設問に答えなさい。解答には導出過程も示しなさい。導出の過程で必要な物理量があれば定義して用いなさい。(配点 130 点)

問 1 磁場をかけない状態で、P と Q の間に張られた弦 PQ の基本振動について考える。その振動数 ν は、張力 S と単位長さあたりの質量 σ を用いて

$$\nu = \frac{1}{2} \ell^\alpha S^\beta \sigma^\gamma$$

と表される。両辺の単位を比べることで α , β , γ を決定しなさい。また、この結果を使って ν を M , ℓ , r , ρ , g から必要なものを用いて表しなさい。

問 2 磁場をかけた状態で弦 PQ に回路を接続し、P から Q の向きに大きさ I の電流を流したところ、電流が磁場から力を受けた。この力の向きを答えなさい。また、弦 PQ 上の長さ Δx の微小区間の電流が受ける力の大きさを $\Delta F = k\Delta x$ と表すときに、 k を求めなさい。

問 3 弦の直径を測定したところ $2r = 1.0 \times 10^{-1} \text{ mm}$ であった。また、 $\ell = 3.0 \times 10 \text{ cm}$ であった。磁場をかけない状態で $M = 2.0 \times 10^{-1} \text{ kg}$ のおもりを用いて基本振動数を測定した結果、 $\nu = 3.0 \times 10^2 \text{ Hz}$ であった。次に磁場をかけた状態で大きさ $I = 5.0 \times 10^{-1} \text{ A}$ の電流を流したところ弦はたわみ、弦 PQ の中点は $5.0 \times 10^{-1} \text{ mm}$ だけ移動した。問 2 の条件では、弦 PQ の中点は張力が S のとき $\delta = k \frac{\ell^2}{8S}$ だけ移動することが知られている。

表 1 を参考にして弦の材質を推測しなさい。また、 B の値を求めなさい。必要であれば $g = 9.8 \text{ m s}^{-2}$ を用いなさい。

⊙ B

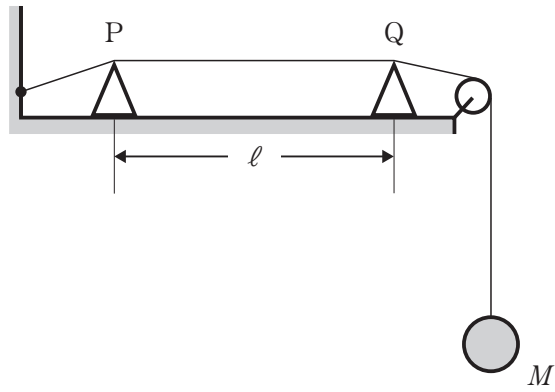


図 1

表 1

材質	密度 [kg m^{-3}]
アルミニウム	2.7×10^3
ステンレス	7.7×10^3
銅	8.9×10^3
タングステン	1.9×10^4