

物 理

1 図のように水平面に斜面 CD をなめらかに接続する。斜面の端点 D は水平面から高さ h [m] の位置にあり、端点 D で斜面は鉛直線 DE と 60° の角度をなす。質量 M [kg] の小球 P を点 A に、質量 m [kg] の小球 Q を点 B に静かに置いた。小球 P に右方向の初速度 v_0 [m/s] を与えたところ、小球 P は小球 Q に衝突し、小球 Q は水平面 BC を速さ v_1 [m/s] で進んでから斜面を上り、端点 D から空中に飛び出した。

小球と水平面や斜面の間に摩擦力は働かないとし、小球 P と小球 Q の間の反発係数(はねかえり係数)を e 、重力加速度を g [m/s²] として、次の問いに答えなさい。(配点 20)

問 1 衝突直後の小球 Q の速さ v_1 [m/s] を求めなさい。

問 2 端点 D での小球 Q の速さ v_2 [m/s] を v_1 [m/s] を使って表しなさい。

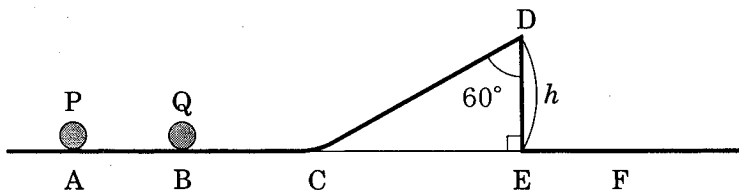
問 3 端点 D での小球 Q の速度の水平方向の成分 v_{2x} [m/s] と鉛直上向き方向の成分 v_{2y} [m/s] を v_2 [m/s] を使って表しなさい。

小球 Q は斜面から空中に飛び出した後、点 F の真上で最高点に達した。

問 4 小球 Q が端点 D から最高点に至るまでにかかった時間を t_1 [s] を使って表しなさい。

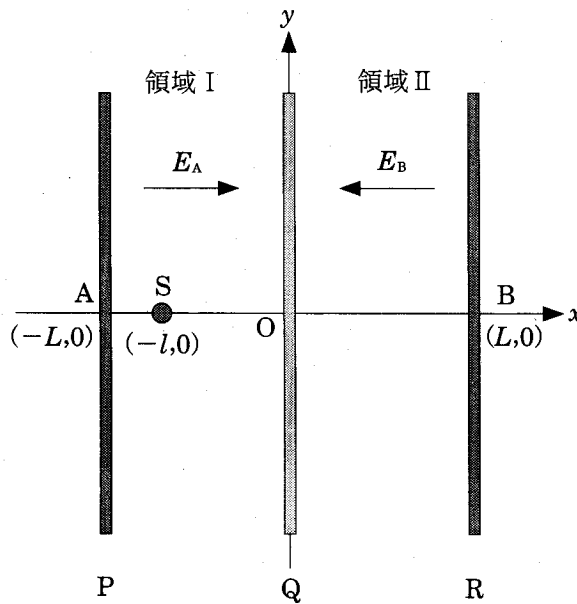
問 5 小球 Q が最高点に達したときの水平面からの高さを h_1 [m] を使って表しなさい。

問 6 水平方向の距離 EF [m] を t_1 [s] を使って表しなさい。



図

2 図に示すように、十分な広さのある薄い平面の電極 P, Q, R が、それぞれ原点 O から左に距離 L [m] の点 A $(-L, 0)$ 、原点 O、原点 O から右に距離 L [m] の点 B $(L, 0)$ に紙面に垂直に置かれている。電極 P と電極 Q の間の空間を領域 I、電極 Q と電極 R の間の空間を領域 II とする。また、領域 I に右方向に一樣な電場 E_A [N/C] を、領域 II に左方向に一樣な電場 E_B [N/C] をかける。x 軸上の点 S $(-l, 0)$ に正の電荷 q [C] を帯びた質量 m [kg] の荷電粒子を静かに置くと、粒子は右方向に動き出した。電極 Q は特殊な構造をしており、粒子は領域 I と領域 II を自由に出入りできるものとする。このとき、次の問いに答えなさい。ただし、電極の厚さおよび重力の影響は考えないものとする。(配点 20)



- 問 1 この粒子が原点 O に到達したときの速さを求めなさい。
- 問 2 領域 II に飛び込んだ粒子が、電極 R に到達しないための E_B の大きさの範囲を求めなさい。
- 問 3 E_B が問 2 で求めた範囲にあるとき、粒子が領域 II に飛び込んで、再び出て来るまでの移動距離を求めなさい。
- 問 4 E_B が問 2 で求めた範囲にあるとき、この粒子の運動の周期を求めなさい。

3 ヤングの光の干渉の実験について考えよう。図1のような実験の装置で、レーザー光線を光源として用いる。 S_1 、 S_2 はスリットで、その後ろにスクリーンABが置いてある。スリット S_1 と S_2 の間隔を d [m]、スリット板からスクリーンABまでの距離を l [m]とするが、 l は d に比べ十分に大きいとする。また用いたレーザー光線の空気中での波長を λ [m]とし、空気の屈折率は1.0とする。次の問いに答えなさい。(配点 20)

問1 スクリーン上の原点Oからその上の距離 b [m]の点をPとした時、スリットから点Pまでの光の経路 S_1P と S_2P の光路差を導きなさい。ただし l は b に比べ十分大きいとする。導出した式で x が1より十分小さい場合、 $(1+x)^m \approx (1+mx)$ の展開式を使い式を簡単化しなさい。

問2 スクリーンAB上にあらわれる干渉じまの間隔を求めなさい。

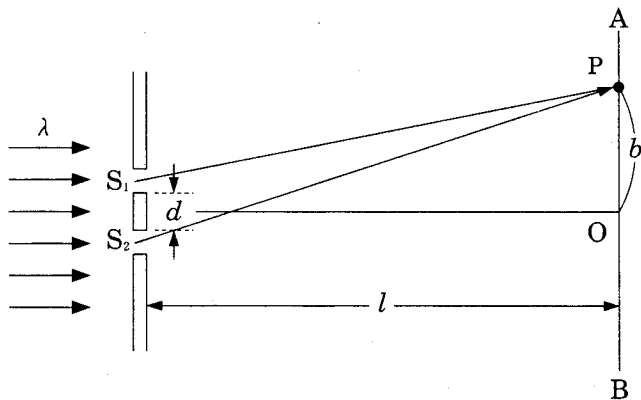


図1

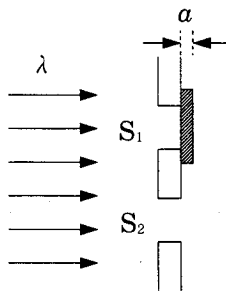


図2

次に、図2のようにスリット S_1 のスクリーン側の面を、厚さ a [m]、屈折率 n の透明な薄膜で覆ったところ、干渉じまの中央明帯の位置がずれた。

問 3 薄膜中での光の波長を求めなさい。

問 4 薄膜で覆ったときの中央明帯のずれを求めなさい。

問 5 光の波長 $\lambda = 4.0 \times 10^{-7}$ m、薄膜の屈折率 $n = 1.2$ のとき、問4で観測されたずれは干渉じまの間隔の2倍であった。このとき薄膜の厚さ a [m]を求めなさい。

4 1 気圧 300 K の単原子分子の理想気体 1.0 mol で満たされた断熱の密閉容器のなかに、糸の長さ 0.30 m、質量 0.70 kg の鉄の小球からなる単振り子がある。小球の温度は気体の温度と等しくなっている。いま鉛直線と糸のなす角 60° における小球の位置を A とする。A の位置から静かに小球をはなすと、単振り子は振動し、やがて静止した。気体定数を $8.3 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 、気体の定積モル比熱を $12.5 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$ 、鉄の比熱を $0.45 \text{ J/g}\cdot\text{K}$ 、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とし、次の問いに有効数字 2 桁で答えなさい。ただし、容器の熱容量は無視できるとする。(配点 20)

問 1 単振り子と気体の摩擦を無視するならば、最初に最も低い位置を通過する際の小球の持つ運動エネルギーはいくらか。

問 2 単振り子の失われた運動エネルギーは、すべて熱エネルギーになったとする。単振り子が静止したとき、気体の温度ははじめの状態から何度上昇するか。

問 3 はじめの気体の温度を 282 K、A の位置からはなすときの小球の温度を 333 K としてこの実験を行う。やがて気体と小球の温度が等しくなり、単振り子が静止した。このときの気体の温度は、はじめの状態から何度上昇するか。

5 単位長さあたりの抵抗が $R_0[\Omega/m]$ である導線を、一定間隔 $L[m]$ で網目状に配置し結線した。これを抵抗のみからなる電気回路と考えると、以下の空欄 に適切な式または数値を入れなさい。(配点 20)

まず、図1のような並列回路について、端子 a, b間の合成抵抗 $R_{ab}[\Omega]$ を考えよう。長さ L の導線の抵抗は ア $[\Omega]$ であるので、長さ $2L$ の導線からなる並列回路の合成抵抗は $R_{ab} =$ イ となる。

次に、図2のような網目状の回路について、端子 a, c間の合成抵抗 $R_{ac}[\Omega]$ を考えよう。いま、端子 a, cに直流電源を接続したところ、端子 aに電流 $I[A]$ が流れ込んだ。端子 a, b, cに関して電気回路は対称であるので、電流 $I_0[A]$ と $I_2[A]$ は等しく ウ $[A]$ となる。さらに電流 I_0 は電流 $I_1[A]$ と $I_3[A]$ に分かれ、それぞれ

$I_1 = \frac{I}{\text{エ}}$, $I_3 = \frac{I}{\text{オ}}$ となる。従って、端子 a, c間に生じる電位差 $V[V]$ は

$$V = \left(\frac{I}{\text{ウ}} + \frac{I}{\text{エ}} + \frac{I}{\text{エ}} + \frac{I}{\text{ウ}} \right) \times \text{ア}$$

となり、 $V=R_{ac} \times I$ の関係から端子 a, c間の合成抵抗は $R_{ac} =$ カ となる。

