

物理基礎・物理 (3 問)

〔 I 〕 図 1 のように、半径  $r$  の円筒面が水平面 A に滑らかに接続するよう配置されている。円筒面上の、水平面 A から高さ  $r$  の位置で、質量  $m$  の小球を静かに放す。小球は円筒面上を滑り落ち、水平面 A 上を運動した後、落下して水平板と衝突する。水平面 B から水平面 A の高さは  $h$  とする。また水平板は、バネ定数  $k$  のバネに繋がっており、初めは右側の水平面 B と同じ高さで、釣り合いの位置で静止している。水平板の水平方向の長さは  $L$ 、質量は  $5m$  である。このとき以下の問いに答えよ。ただし、以下では、小球は紙面内のみを運動するものとし、水平板は、水平を保ち鉛直方向のみに運動する。小球、円筒面、水平面 A, B, 水平板のそれぞれの間には摩擦はなく、空気抵抗も無視できるとする。小球と水平板の衝突は弾性衝突とし、バネの質量は無視できるとする。また、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

問 1 図 1 のように小球と円筒の中心点を結ぶ線が、水平面と角  $\theta$  のとき（ただし  $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$  ）、小球の速さを  $m, r, \theta, g$  の中から必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

問 2 問 1 のとき、小球に円筒面から働く垂直抗力の大きさを  $m, r, \theta, g$  の中から必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

水平面 A 上での小球の速さを  $v_0$  とする。鉛直下向きを正とし、水平方向は右向きを正とし、以下の問いに答えよ。

問 3 小球が最初に水平板に衝突する直前の水平方向の速度  $v_x$  と鉛直方向の速度  $v_y$  を  $m, g, h, v_0$  の中から必要なものを用いて表せ。また、導き方も記せ。

問 4 小球が水平板を飛び越えず初めに水平板に衝突するための  $v_0$  に対する条件を  $h, g, L$  を用いて表せ。また、導き方も記せ。

問 5 小球が最初に水平板に衝突した直後の小球の鉛直方向の速度  $v_y'$  を求めよ。このときの水平板の速度  $V$  も合わせて答えよ。ただし、 $v_y$  を用いて答えよ。また、導き方も記せ。

問 6 小球が最初に水平板に衝突した後、水平板が最も下がったとき、最初の位置からの距離を  $m$ ,  $k$ ,  $v_y$  を用いて表せ。ただし、小球と水平板との衝突は、最初の 1 回のみとする。また、導き方も記せ。

問 7 小球が最初に水平板に衝突した後、次に水平面 B に衝突するために  $v_0$  はある値を超えなければならない。この値を  $h$ ,  $g$ ,  $L$  を用いて表せ。ただし、水平面 B は十分に長いとする。また、水平板が水平面 B と異なる高さのとき小球は水平板と衝突しないとす、そのための条件は解答に含めなくて良い。

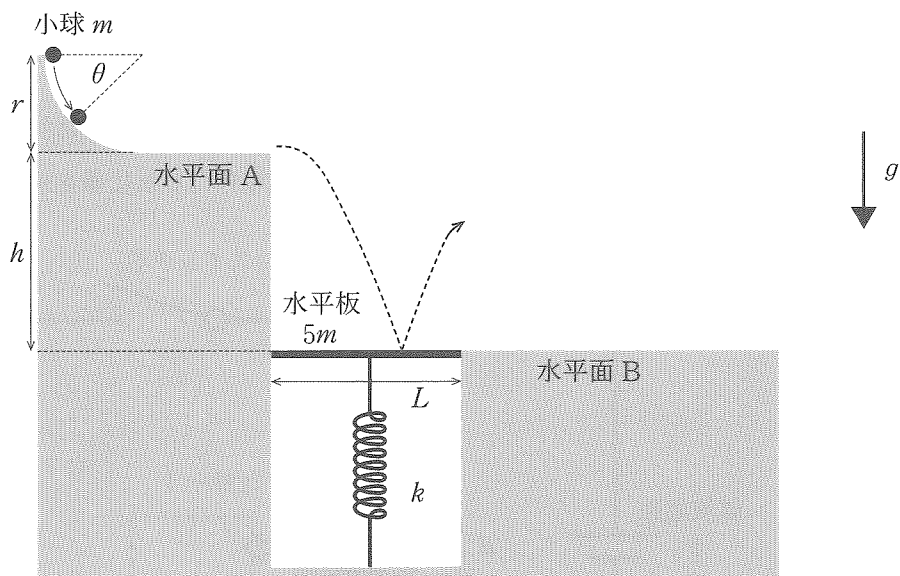


図 1

〔Ⅱ〕 図1のような，電圧  $V_0$  の直流電源，平行板コンデンサー，抵抗，自己インダクタンス  $L$  のコイルを含む回路を考える。コンデンサー1の極板の面積は  $S$ ，極板間の距離は  $d$  である。最初，スイッチ  $S_1$  とスイッチ  $S_2$  はいずれも開いており，コンデンサー1に電荷は蓄えられていない。図1のように，コンデンサー1には，極板の間に直方体の誘電体を出し入れする機構が付いている。この誘電体は誘電率  $\varepsilon$  で，極板間を完全に満たす事ができる。なお，誘電体の出し入れに際して，コンデンサーの極板と誘電体の間の摩擦は無視できる。真空の誘電率を  $\varepsilon_0$  とし，コイルと回路の導線の電気抵抗はゼロである。回路は真空中におかれている。以下の問いに， $\varepsilon_0$ ， $\varepsilon$ ， $S$ ， $d$ ， $V_0$ ， $L$  のうち必要なものを用いて答えよ。問4については，最も適当なグラフの記号を記せ。

問1 コンデンサー1の極板の間は，誘電体で完全に満たされている。スイッチ  $S_1$  を閉じ，十分に時間が経った。コンデンサー1に蓄えられる電気量と静電エネルギーを求めよ。

問2 続いて，スイッチ  $S_1$  を開き，コンデンサー1の極板の間から誘電体をゆっくりと完全に引き抜いた。このとき外から誘電体にした仕事を求めよ。また，導き方も記せ。

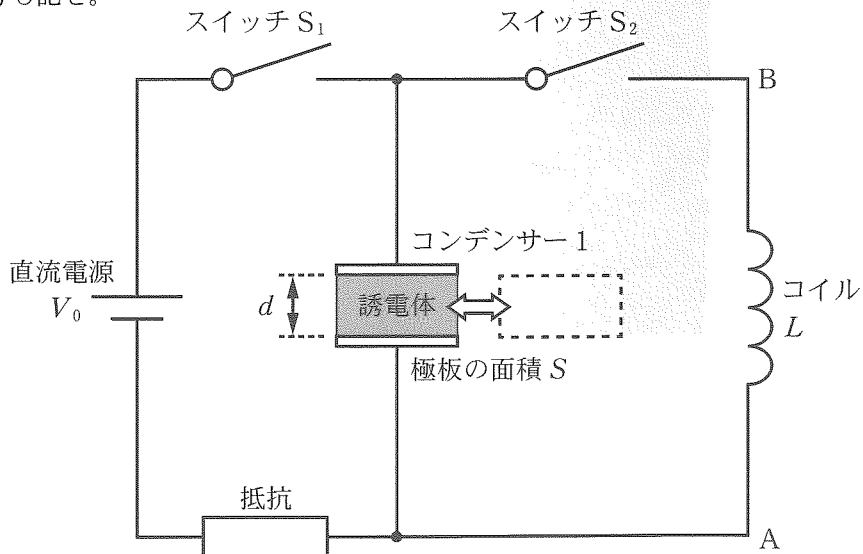
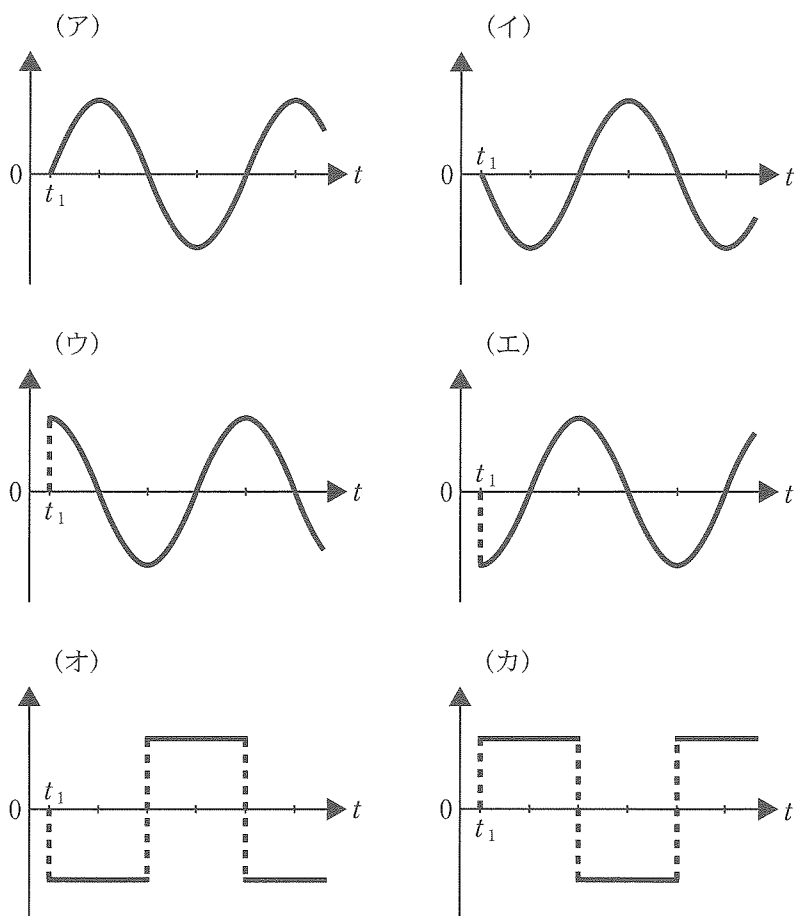


図1

問 3 問 2 に続いて、スイッチ  $S_2$  を時刻  $t = t_1$  に閉じると、回路は電気振動を起こした。その振動の周波数を求めよ。

問 4 問 3 において電気振動しているとき、回路の A 点と B 点の間を流れる電流  $I_{AB}$  と AB 間の電位差  $V_{AB}$  の時刻  $t$  に対する変化を表すグラフとしてもっとも適当なものを、次の解答群のなかからそれぞれ選び、記号で答えよ。ただし、電流の向きは、コイルを通る A から B の向きを正とする。また、A 点と B 点の電位  $V_A$  と  $V_B$  を用いて、 $V_{AB} = V_A - V_B$  とする。グラフの縦軸は  $I_{AB}$  あるいは  $V_{AB}$  とする。



続いて、コイルをコンデンサー 2 に取り替えた図 2 の回路を考える。コンデンサー 2 の極板の面積と極板間の距離はコンデンサー 1 と同じであり、極板間は誘電率  $\epsilon$  の誘電体で完全に満たされている。最初、スイッチ  $S_1$  と  $S_2$  は開いており、両コンデンサーに電荷は蓄えられていない。

問 5 コンデンサー 1 の極板の間が誘電体で完全に満たされた状態で、スイッチ  $S_1$  を閉じた。十分に時間が経った後、スイッチ  $S_1$  を開き、 $S_2$  を閉じた。さらに十分に時間が経った後、コンデンサー 2 に蓄えられている電気量と極板間の電圧を求めよ。また、導き方も記せ。

問 6 問 5 に続いて、コンデンサー 1 の誘電体を極板間からゆっくりと完全に引き抜いた。コンデンサー 2 に蓄えられている電気量と極板間の電圧を求めよ。また、導き方も記せ。

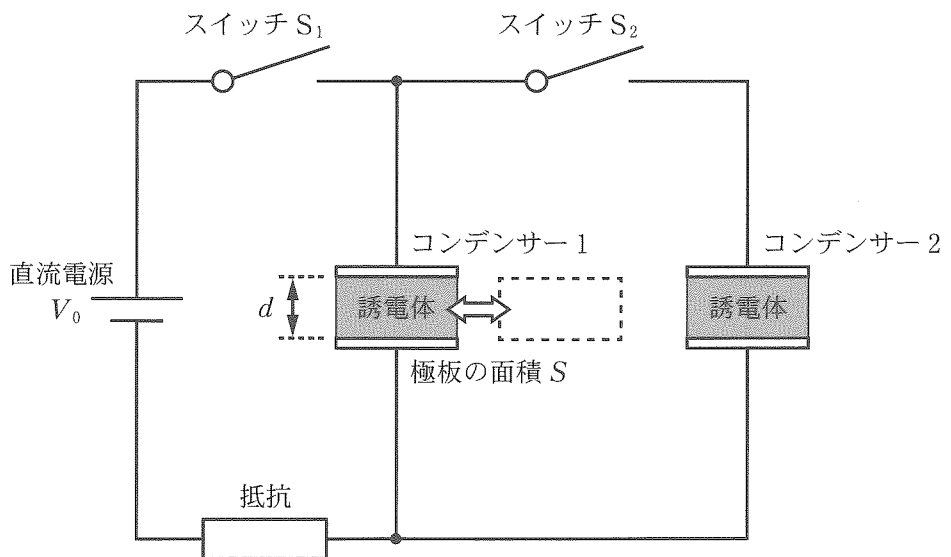


図 2

このページは白紙です。

〔Ⅲ〕 次の文章中の空欄 (1) ~ (6) に入る適切な数式や語句を解答欄に記入せよ。ただし、(3) と (5) では、欄内の選択肢から選べ。

図1のように、滑らかに動く断熱可動壁で領域 A と領域 B に分けられた密閉シリンダーが、ヒーターとともに断熱壁で囲まれた容器の中に入れてある。容器内の温度は図に示された点で測定する。シリンダーの右側の面は熱を伝える壁になっていて、その他は断熱壁になっている。領域 A と領域 B のどちらにも  $n$  [mol] の理想気体を容器内と同じ温度  $T_1$  で封入した。可動壁の移動により各領域の気体が漏れ出したり混入したりすることはない。気体定数を  $R$  とする。

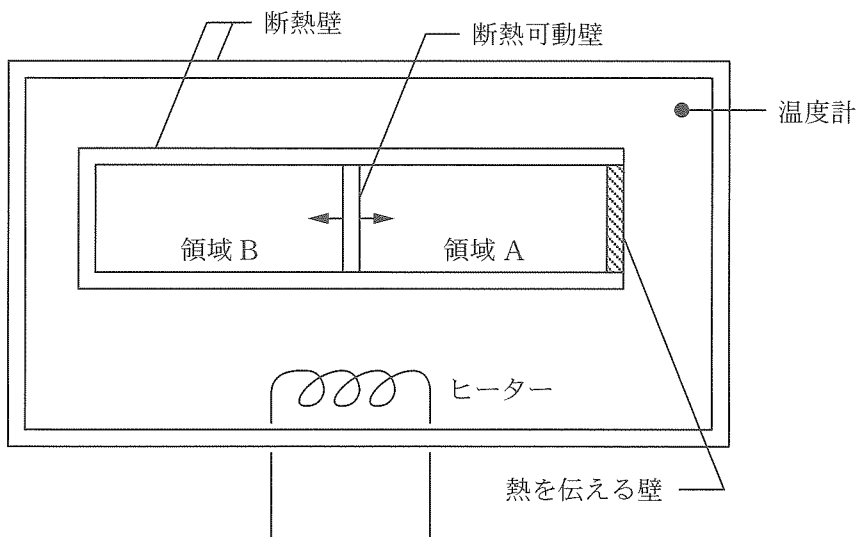


図1



最初に可動壁が動かないようにストッパーで止めて、ヒーターに一定時間通電した。十分時間が経って熱平衡状態になったとき、容器内の温度は  $T_2$  であった(状態 1)。このとき、領域 A の気体の内部エネルギーは  であり、領域 B の気体の内部エネルギーは  である。

次に、ストッパーを外し、容器内の温度を常に  $T_2$  に保つようにヒーターに流す電流を調整したところ、可動壁がゆっくりと動いて領域 B の体積が初めの半分になり、熱平衡状態になった(状態 2)。状態 2 を状態 1 と比較すると、領域 A の内部エネルギーは , 圧力は  倍になり、領域 B の内部エネルギーは , 圧力は  倍になった。

このページは白紙です。