

(平 27 前)

理 科

	ページ
物 理	1～ 6
化 学	7～14
生 物	15～23
地 学	24～28

・ 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。

物 理	75 点
化 学	75 点
生 物	75 点
地 学	75 点

物 理

I 図1のように、なめらかで水平な床の上の点Oを通る鉛直線上に点Pがあり、先端に質量 M の小球Aをつけた長さ ℓ の軽い糸の他端が点Pに固定されている。小球Aが静止して最下点Qの位置にあるとき、床から小球Aまでの高さは h であった。質量 m ($m < M$)をもった小球Bが飛んで来て、静止している小球Aに衝突した。衝突直前の小球B、および衝突直後の小球Aと小球Bの運動の方向は水平面内の同一直線上にあった。図1の右向きを正の向きとする。小球Bは負の向きに飛んできて速さ u で小球Aに衝突し、衝突直後、小球Aは負の向きに、小球Bは正の向きに運動し、それぞれの速さは v_A 、 v_B であった。衝突後の2つの小球の運動に関する問1～5に答えなさい。解答欄には必要に応じて導出の過程も示しなさい。空気の抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさを g とする。

(配点 25 点)

問 1 小球間の衝突が弾性衝突であるとして、衝突直後の小球Aの速さ v_A と小球Bの速さ v_B を求めなさい。

以下の解答には v_A と v_B を用いてよい。衝突後の小球Aの運動について考えてみよう。

問 2 衝突後、小球Aは点Pを中心とする円の円周にそった往復運動を行った。鉛直線に対する最大振れ角が小さいときの小球Aの運動の周期を書きなさい。また、小球Aが最下点Qを通過するときの糸の張力を求めなさい。

次に、衝突後の小球Bの運動について考えてみよう。

問 3 衝突後、小球Bが床に最初に衝突するまでの時間 t_0 を求めなさい。

問 4 小球Bが床と最初に衝突してから2回目に衝突するまでの時間 t_1 を求めなさい。ただし、小球Bと床との間の反発係数を e (< 1)とする。

問 5 その後、小球 B はどのような運動を行うか。 $e = 0.5$ として、小球 B が行う運動の概要がわかるように、水平方向と鉛直方向それぞれについて位置の時間変化の概略を描きなさい。ただし、点 O を原点とし、水平方向に x 軸、鉛直方向に z 軸をとり、小球 A と衝突した時刻を $t = 0$ としなさい。鉛直方向については、時刻 t_0 までの位置の時間変化が描き入れてある。

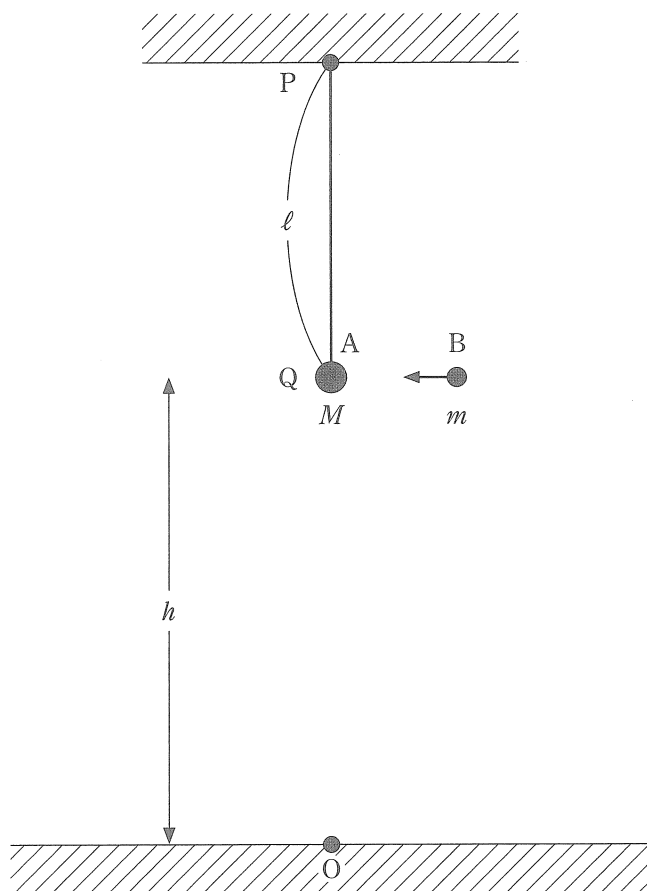


図 1

Ⅱ 図1のように、直流電源、真空中の電気容量が C である平行板コンデンサーA, B, 抵抗値 R の抵抗, およびスイッチ S_0 , S を接続した回路を考える。コンデンサーA, Bの極板は真空中に固定されており、極板間に、上下すき間なく比誘電率 $\epsilon_r(>1)$ の誘電体を挿入する。極板は長方形で、極板と誘電体の紙面に垂直な方向の幅は等しく、極板の上から見ると図2のように並んでいる。そこで図1の x 方向の長さや位置に注目する。極板の長さはそれぞれ $2a$ であり、コンデンサーAの極板とコンデンサーBの極板は $2a$ 離れている。誘電体の長さは $4a$ である。図1のように x の原点をとり、誘電体の位置を中心の座標 x で表すと、誘電体は $x=-a$ から a の範囲でなめらかに動かすことができる。したがって、コンデンサーA, Bの電気容量 C_A , C_B は x の関数となる。最初、コンデンサーA, Bには電荷はなく、スイッチ S_0 , S は開いている。問1～5に答えなさい。また、導出の過程も示しなさい。なお、極板の端の影響、 R 以外の抵抗は無視してよい。

(配点 25 点)

問 1 電気容量 C_A , C_B を C , ϵ_r , a を用いて x の関数として表しなさい。

問 2 まず、誘電体を $x=-a$ におき、スイッチ S_0 , S を閉じ十分に時間が経過したあと、スイッチ S_0 を開いた。両方のコンデンサーに蓄えられている電気量の和を Q としたとき、コンデンサーA, Bに蓄えられた電気量 Q_A , Q_B を Q と ϵ_r を用いて表しなさい。

問 3 次にスイッチ S を開き、誘電体に外力を加えて $x=-a$ から a までゆっくり動かした。 $x=-a$ から a の範囲でコンデンサーA, Bに蓄えられている静電エネルギー U_A , U_B を Q , C , ϵ_r , a を用いて x の関数として表しなさい。

問 4 その後、スイッチ S を閉じると抵抗に電流 I が流れた。スイッチを閉じた直後の電流の大きさ I_0 とその向きを求めなさい。また、電流 I が時間とともにどのように変化するか、スイッチ S を閉じた時刻を $t=0$ として、その概略を描きなさい。

問 5 問 4 の操作を行ったとき，スイッチ S を閉じてから十分に時間が経過するまでの間に，抵抗で発生するジュール熱を求めなさい。

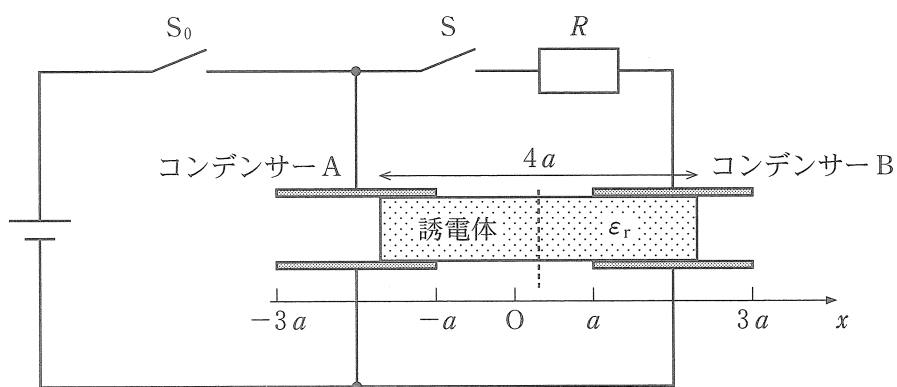


図 1

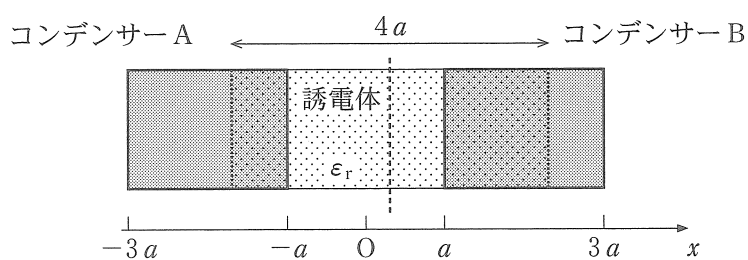


図 2

Ⅲ なめらかに動くピストンを持つ容器内に、1モルの単原子分子理想気体が封入されている。この気体の状態を、図1に示す圧力-体積図(p - V 図)のように変化させる熱機関を考える。AからDの4つの状態間における変化は次のようになっている。

A→B：断熱変化，B→C：定圧変化，C→D：断熱変化，D→A：定積変化

状態A，B，Cの体積をそれぞれ V_A ， V_B ， $2V_B$ ，状態A，B，Dの温度をそれぞれ T_A ， T_B ， T_D とする。また，断熱変化では $pV^\gamma = \text{一定}$ (γ は定圧モル比熱を定積モル比熱で割った値)が成り立っている。この熱機関を1サイクル運転させる。問1～5に答えなさい。解答の導出過程も示しなさい。ただし，気体定数を R とし，ピストンの質量は無視してよい。(配点25点)

問1 AからDの4つの状態における気体の内部エネルギー U_A ， U_B ， U_C ， U_D を T_A ， T_B ， T_D を用いて表しなさい。

問2 4つの状態間における変化のうち，気体が外部から熱量 Q_1 を受け取る変化と，外部に熱量 Q_2 を放出する変化がある。それぞれがどの状態間における変化に対応しているか答えなさい。さらに， Q_1 と Q_2 を T_A ， T_B ， T_D を用いて表しなさい。ただし， Q_1 と Q_2 を正とする。

問3 気体が外部にする正味の仕事 W を T_A ， T_B ， T_D を用いて表しなさい。

問4 T_A と T_D を T_B ， V_A ， V_B を用いて表しなさい。

問5 熱効率 e を V_A と V_B を用いて温度を含まない形で表しなさい。

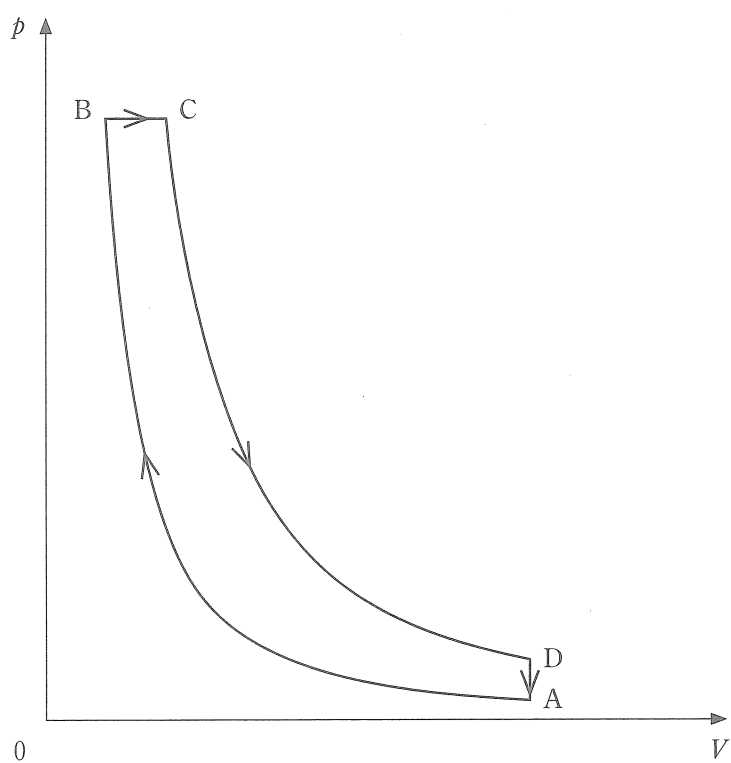


图 1