【1】

図 1 に示すように，質量の無視できるばね定数 k の軽いつる巻きばねの一端を天井に固定し，もう一方の端には質量 m_1 のおもりをつり下げて板で支えた．このばねが自然の長さになるときの下端の位置を原点 O（$x=0$）とし，鉛直下向きに x 軸の正の座標をとることにする．また, 重力加速度の大きさを g とする．

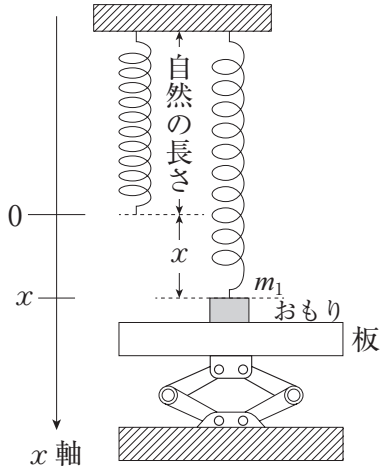


図 1

(1)　次の（**ア**）～（**エ**）に適当な文字式を入れよ．

板を鉛直方向につり合いを保ちながら，$x=0$ の位置からゆっくりと下げていくときを考える．ばねの自然の長さからの伸びを x としたとき，板がおもりを下から押す力を N とすると，おもりに働く力のつり合いの式は（　**ア**　）となる．$x=$（　**イ**　）のときに板はおもりから離れるが，この間にばねがおもりにした仕事 W_1 は（　**ウ**　）であり，板がおもりにした仕事 W_2 は（　**エ**　）となる．

次に，図 2 に示すように，図 1 と同じばねの一端を床の上に鉛直に固定し，もう一方の端に質量 M の板を取り付けた．板から真上の高さ h に位置する質量 m_2 の小球を自由落下させたら，小球は板と衝突した．板と小球のはね返り係数を e，重力加速度の大きさを g，鉛直下向きを正とし，衝突は瞬間的に起こり，衝突時間は非常に短く無視できるものとする．

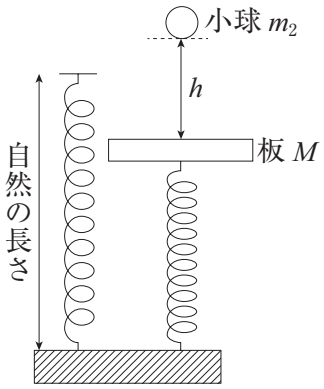


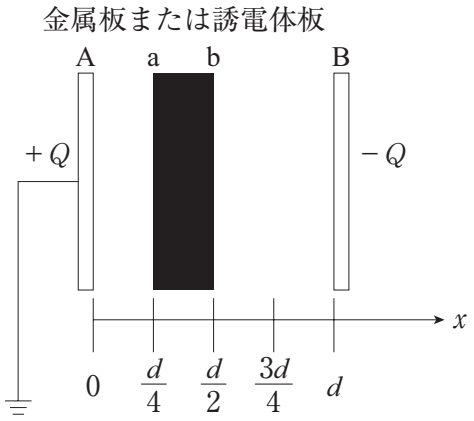
図 2

(2) 衝突直前の小球の速度を求めよ．

(3) 衝突直後の小球の速度 v と板の速度 V を求めよ．

(4) 板と小球が弾性衝突をしたとき，ばねが最も縮む瞬間の板の位置はばねの自然の長さからどれくらい縮んだときかを答えよ．

【2】 面積が S である 2 枚の金属板を極板とし，x 軸に垂直に配置した平行板コンデンサーがある．極板間の距離は d で真空中に置かれているとする．はじめに，極板 A, B にそれぞれ $+Q$ と $-Q$ の電荷を与え，極板 A を接地した．以後，この状態を初期状態とよぶことにし，初期状態のコンデンサー内の電場の強さ，極板間の電位差およびコンデンサーの電気容量をそれぞれ E_0，V_0，C_0 とする．また，極板の端部周辺の電場の乱れはなく，真空の誘電率を ε_0 とする．



図

初期状態のあと，図に示すように，厚さ $\frac{d}{4}$ の帯電していない金属板を，金属板の左側面（ a 面）が $x=\frac{d}{4}$ の位置に，右側面（ b 面）が $x=\frac{d}{2}$ の位置となるように，極板 A，B の間に極板と平行になるようにゆっくり挿入した．

(1) コンデンサー全体の電気容量を，ε_0，S，d を用いて表せ．

(2) 金属板を挿入した状態における x 軸方向の位置と電場の強さ E，および電位 V との関係を示すグラフの概形をそれぞれ解答用紙に描け．

次に，金属板を極板間から取り出し，厚さ $\frac{d}{4}$ で誘電率 $\varepsilon = 2\varepsilon_0$ の誘電体板を上記の金属板のときと同様に極板 A，B の間に極板と平行にゆっくり挿入した.

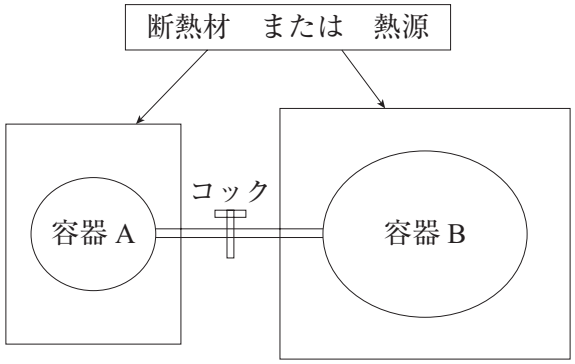
(3) 誘電体板を挿入したときの，Aa 間の電位差 V_1，ab 間の電位差 V_2，bB 間の電位差 V_3 は，初期状態における AB 間の電位差 V_0 の何倍になったか.

(4) このときの x 軸方向の位置と電場の強さ，および電位との関係を示すグラフの概形をそれぞれ解答用紙に描け.

(5) 誘電体板を挿入したときのコンデンサーの全電気容量は C_0 の何倍になったか.

(6) 誘電体板を挿入するための仕事を W としたとき，W を Q と C_0 を用いて表せ．ただし，重力の影響は無視できるものとする.

【3】 図のように，それぞれが断熱材または熱源で囲まれた容積 V_0 の容器 A と容積 $2V_0$ の容器 B がコックを持つ細い管でつながれている．ここで，この細い管の体積と，管と周囲との熱の交換は無視できるものとする．また，気体はすべて単原子分子で理想気体とみなすことができ，気体定数を R とし，温度はすべて絶対温度で表す．



図

はじめ，容器 A と容器 B は断熱材で囲まれている状態を考える．容器 A と容器 B を真空にしたあと，コックを閉じた状態で，容器 A のみに単原子分子の気体を封入したところ，温度 T_0，圧力 $3P_0$ となった．

(1) 封入された気体の物質量を求めよ．

(2) 封入された気体の内部エネルギーを求めよ．

このあとコックを開いて十分な時間放置した．

(3) コックを開いた直後から十分な時間が経過したあとまでに気体全体がした仕事を求めよ．

(4) 最終的に気体の圧力はいくらになるか．

このあと，容器 A と容器 B を囲っていた断熱材を取り外し，代わりにそれぞれの容器を熱源で囲って，それぞれの容器の温度を独立に設定できるようにした．いま，容器 A の温度を T_0 に，また，容器 B の温度を $2T_0$ に保った．

(5) 十分な時間が経過したあとの気体の圧力を求めよ．

(6) 容器 A と容器 B の内部の気体が吸収した熱量を求めよ．

さらに，この状態から再び熱源を断熱材に素早く交換した．この作業の間に熱の出入りはなかったとする．

(7) この状態で十分な時間放置したときの気体の温度を求めよ．