

物 理 (全2の1)

ある小問のみで定義される物理量の記号を他の小問の解答で用いないこと。温度は絶対温度とする。

- 1 水平な床の上に、ばね定数  $k$  の軽いばねが置かれている。ばねの一端には軽い板がつけられている。ばねと同一直線上の少し離れたところに質量  $m$  の小球 A があり、この小球 A をばねに向かって速さ  $v$  で滑らせたところ、板と小球 A は衝突した。ばねの自然の長さは十分に長く、空気の抵抗や、小球 A と床の間の摩擦は無視できるものとする。また、小球 A とばねの運動方向は同一直線上に限られる。

I. 図 1-1 のように、ばねが壁につながれている場合を考える。

- (1) ばねは自然の長さから最大でどれだけ縮むか。

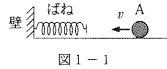


図 1-1

II. 図 1-2 のように、ばねが質量  $M$  の小球 B につながれている場合を考える。はじめ小球 B は静止しており、小球 B と床の間の摩擦は無視できるものとする。

- (2) ばねが最も縮んだとき、小球 A から見た小球 B の速さはいくらか。  
 (3) ばねが最も縮んだとき、床から見た小球 A の速さはいくらか。  
 (4) ばねは自然の長さから最大でどれだけ縮むか。

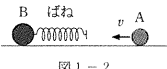


図 1-2

III. 図 1-3 のように、ばねが質量  $2M$  の小物体 C につながれている場合を考える。はじめ小物体 C は静止しており、小物体 C と床の間の動摩擦係数を  $\mu'$  とする。小球 A を滑らせる速さ  $v$  が  $V_1$  以下では小物体 C は動かなかった。 $v$  の値が  $V_1$  より大きい場合には小物体 C は移動する。なお、重力加速度の大きさを  $g$  とする。

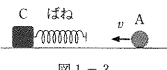


図 1-3

- (5)  $v$  が  $V_1$  より小さいある速さの場合に、小物体 C がばねから受ける力の大きさは最大でいくらか。  
 (6) 小物体 C と床の間の静止摩擦係数はいくらか。  
 (7)  $v > V_1$  の場合に、小物体 C は距離  $L$  だけ動いた後に静止した。摩擦力が小物体 C にした仕事はいくらか。  
 (8)  $v > V_1$  の場合に、小物体 C は動いた後に静止し、その後小球 A は  $\frac{v}{2}$  の速さでばねから離れた。小物体 C の動いた距離はいくらか。

- 2 図 2 のように、なめらかに動く軽いピストンが取り付けられた断面積  $S$  のシリンダーが大気圧  $p_0$  の大気中にある。シリンダー内には、単原子分子理想気体が物質質量  $n$  だけ閉じ込められている。気体定数を  $R$  とする。ピストンの動く範囲はシリンダーに取りつけられた上下のストッパーによって制限されている。気体の閉じ込められている領域の高さをピストンの高さと呼ぶ。はじめピストンは上下のストッパーの間にあり、このときのピストンの高さを  $h_0$  とする。ピストンが下のストッパーについたときのピストンの高さは  $ah_0$ 、上のストッパーについたときのピストンの高さは  $bh_0$  である。ここで  $a, b$  は  $1 < a < b$  の定数である。シリンダー内の気体の圧力は場所によらずに一様であるとし、大気圧の変化や大気温度変化は無視できるものとする。ピストンやシリンダー、ストッパーからなる容器は熱を通し、その熱容量は無視できるものとする。

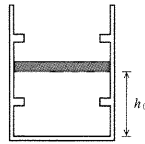


図 2

はじめ、シリンダー内の気体の圧力は大気圧と等しく、温度も大気温度と等しい。これを初期状態とする。ピストンはおもりのせりと下のストッパーについた。十分に時間がたつたときを状態 A とする。状態 A から気体を加熱すると、圧力が初期状態の  $k$  倍になったときにピストンは静かに上昇を始めた。ピストンが動き始めたときを状態 B とする。加熱を続け、ピストンが上のストッパーについた瞬間を状態 C とする。ピストンが上のストッパーについた瞬間に、加熱をやめておもりをおろし、気体の冷却を始める。しばらくするとピストンは静かに下降を始めた。下がり始めた瞬間を状態 D とする。冷却を続けるとピストンは下のストッパーにつき、ついたとき再び同じおもりをのせ冷却をやめる。これを状態 E とする。十分に時間がたつと状態 A に戻った。状態 A から状態 B, C, D, E を経て状態 A に戻る過程を一つのサイクルとして繰り返す。

- (1) 状態 A における気体の温度はいくらか。  
 (2) 状態 A で下のストッパーにピストンが接するためには、おもりの質量はある値以上でなければならない。その値はいくらか。重力加速度の大きさを  $g$  とする。

物 理 (全2の2)

- (3) 状態 B における気体の温度は初期状態の温度の何倍か。  
 (4) 状態 B から状態 C となるまでに気体が吸収した熱量はいくらか。  
 (5) 状態 D における気体の温度は初期状態の温度の何倍か。  
 (6) 一つのサイクルで気体が外部にする仕事は、状態 E から状態 A を経て状態 B に変化するとき気体が吸収する熱量の何倍か。  
 (7) 状態 B における気体の圧力が初期状態の圧力の 3 倍で、状態 D における気体の温度が状態 E における気体の温度の 3 倍のとき、熱効率はいくらか。既約分数で答えよ。  
 (8)  $k = 2.4$  のとき、サイクルの熱効率を 2 割とするためには、 $ah_0$  が  $bh_0$  の何倍となるようにストッパーをつければよいか。

- 3 真空中の空間を考える。紙面内に  $x$  軸、 $y$  軸をとり、紙面に垂直に裏から表向きに  $z$  軸をとる。 $y \geq 0$  の領域を領域 1、 $y < 0$  の領域を領域 2 とする。領域 1 には、磁束密度の大きさが  $B$  の一様な磁場が  $z$  軸の正の向きにかけられている。領域 2 の  $y$  軸上の点 P にはイオン源がある。点 P で発生したイオン(荷電粒子)のうち、原点 O から  $y$  軸に沿って領域 1 に入射したイオンのみを  $x$  軸上正の位置にある点 Q で検出できるものとする。電気量や質量の異なるイオンを同じ点 Q で検出するために領域 2 に電場や磁場を生じさせ、原点 O を通るイオンの速さを制御することを考えよう。ただし、重力による影響はないものとする。また、イオンは領域 1 から領域 2 へ移動することはないものとする。

- I. 図 3-1 のように、領域 2 に金属板 A, B を  $x$  軸と垂直に設置する。2 枚の金属板の電位差を  $V$  とし、金属板の間に磁束密度の大きさが  $B_0$  の磁場を  $z$  軸の負の向きにかけ、領域 2 の電場や磁場は金属板間だけに生じており、一様であるものとする。点 P からは、電気量が  $q$  で、さまざまな質量と速さをもつイオンが  $y$  軸の正の方向に飛び出している。2 枚の金属板の間隔は狭く、 $y$  軸に沿って運動したイオンのみが原点 O に到達できるものとする。原点 O を通過して点 Q で検出されるイオンについて、以下の問いに答えよ。

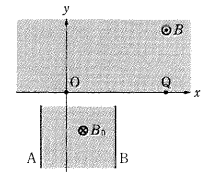


図 3-1

- (1) 点 Q で検出されるイオンは正電荷か、負電荷か答えよ。  
 (2) 2 枚の金属板の距離が  $L$  のときに金属板間でイオンが電場から受ける力の大きさはいくらか。  
 (3) 金属板 A, B のうち電位が高いのはどちらか。  
 (4) 2 枚の金属板の距離が  $L$  のときに、イオンが原点 O を通過する速さはいくらか。  
 (5) 2 枚の金属板の距離が  $L$  のときにイオン  $I_1$  が点 Q で検出される。イオン  $I_1$  の 2 倍の質量のイオン  $I_2$  を点 Q で検出するためには、2 枚の金属板の距離をいくらにすればよいか。  
 (6) 質量に対する電気量の比を比電荷という。点 Q の  $x$  座標を  $x_0$  とすると、2 枚の金属板の距離が  $L$  のときに検出されるイオンの比電荷はいくらか。

- II. 図 3-2 のように、領域 2 に  $y$  軸の正の向きに大きさ  $E$  の一様な電場をかけ、点 P での初速度が 0 の質量  $m$  のイオンを点 Q で検出することを考えよう。原点 O を通過して点 Q で検出されるイオンについて、以下の問いに答えよ。ただし、領域 2 には磁場はかかっていないものとする。
- (7) 点 P の  $y$  座標が  $-d$  のとき、電気量  $q$  のイオンが原点 O を通過する速さはいくらか。  
 (8) 電気量  $q$  のイオンが点 Q で検出されるとき、質量が同じで電気量が  $4q$  のイオンを同じ点 Q で検出するためには、点 P の  $y$  座標を電気量  $q$  のイオンのときの何倍にすればよいか。  
 (9) 点 P の  $y$  座標が  $-d$  のとき、電気量  $q$  のイオンが点 Q で検出された。このイオンが点 P から原点 O に移動するのにかかる時間は、原点 O から点 Q に移動するのにかかる時間の何倍か。

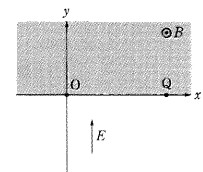


図 3-2