

1

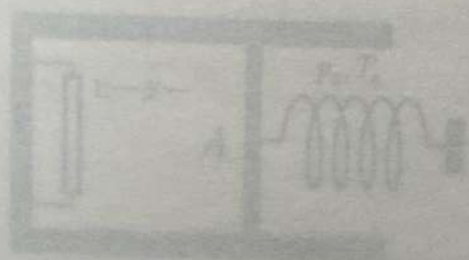
以下の問いに答えなさい。解答欄には、答えのみを書きなさい。

(問 1) 質量 1.0 kg 、速さ 2.0 m/s の物体が、摩擦のある水平な床上を 2.0 m だけすべって静止した。摩擦力の大きさは一定であるとして、それを求めなさい。

(問 2) 70°C の水 100 g と 10°C の水 200 g を混ぜると何 $^\circ\text{C}$ になるか求めなさい。

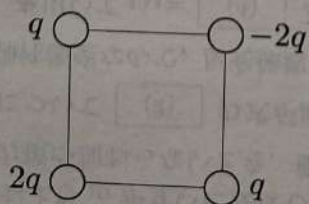
(問 3) 440 Hz と 444 Hz のおんさを同時にたたき、音波を発生させた。このとき生じるうなりの周波数を求めなさい。

- (問 4) 空気中から水中へ入射角 30° で光が入射するとき、屈折角を θ として $\sin \theta$ を求めなさい。ただし空気の屈折率を 1、水の屈折率を $\frac{4}{3}$ とする。



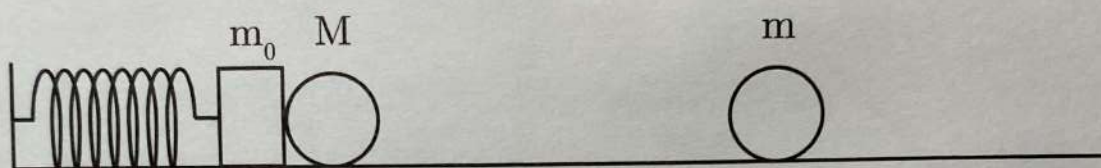
- (問 5) 電気抵抗値 R の抵抗器に 1.50 V の乾電池をつなげて 10.0 s 間電流を流したところ、0.175 J のジュール熱が発生した。 R を求めなさい。

- (問 6) 図のように、正方形の各頂点に四つの点電荷を固定した。それぞれの電気量は $2q$, q , $-2q$, q である。電気量 $-2q$ の点電荷にはたらく静電気力の大きさは電気量 $2q$ の点電荷にはたらく静電気力の大きさの何倍か求めなさい。



2

一端が壁に固定されたばね（ばね定数 k ）の他端に板 m_0 （質量 m_0 ）が取り付けられている。板に物体 M （質量 M ）を押し当て、ばねを自然長より A_0 だけ縮めたのちにそっと手を離したところ、ある瞬間に M は板から離れた。このときの M の速度を V とする。板および物体と床の間の摩擦は無視できる。また、図中右方向を運動の正の向きとして、以下の問いに答えなさい。解答欄には、答えと必要に応じて計算式も書きなさい。



(問 1) 手を離したのち、ばねが $A (< A_0)$ だけ縮んでいるとき、板が M を押す力を T とする。 T を、 m_0 、 M 、 k 、および A を用いて表しなさい。

(問 2) M が板から離れる瞬間の A の値を答えなさい。

(問 3) V を、 m_0 、 M 、 k 、および A_0 を用いて表しなさい。

Mは板から離れたのち、前方に静止している物体 m (質量 m) に弾性衝突した。衝突後の M の速度を v_M , m の速度を v_m として、以下の問いに答えなさい。

(問 4) (1) には語句, (2), (3), および (4) に適切な式を入れ、次の文章を完成させなさい。

衝突の瞬間, M および m が互いに及ぼしあう力による力積は互いに打ち消しあうため、外力による力積が加わらないとき、衝突の前後で (1) の総和が保存する。よって、水平方向について (2) の式が成り立つ。

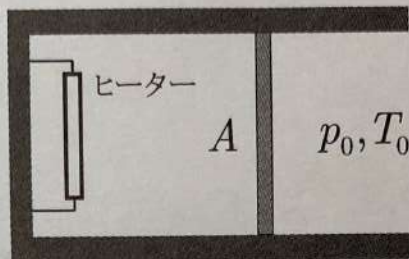
両物体の衝突は弾性衝突なので、反発係数 e は (3) となる。反発係数の式より、 v_M は V および v_m を用いて $v_M =$ (4) とあらわされる。

(問 5) v_M を, m , M , および V を用いてあらわしなさい。

(問 6) (問 5) の結果をもとに、衝突後に M が m と同じ向きに運動するために必要な M の条件を理由とともに答えなさい。

3

図のように、断熱材でできたシリンダー容器に1モルの単原子理想気体が入っている。容器の断面積は A で、右壁のピストンはなめらかに移動することができる。容器内部にはヒーターが入っており、外部から通電することによって気体を温めることができる。気体定数を R として、以下の問いに答えなさい。解答欄には、答えと必要に応じて計算式も書きなさい。



はじめに気体は外部温度 T_0 、外部気圧 p_0 と同じ状態にあった。

(問 1) 気体の体積を、 T_0 、 p_0 、および R を用いて表しなさい。

この状態からヒーターに通電してある熱量を与えると気体は膨張し、ピストンが h だけ右に移動した。

(問 2) このときの気体の温度を、 T_0 、 p_0 、 A 、 h 、および R を用いて表しなさい。

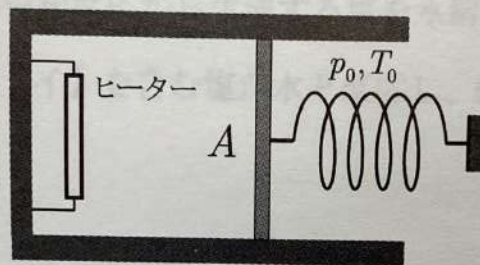
(問 3) 気体の内部エネルギーの増加量を、 p_0 、 A 、および h を用いて表しなさい。

(問 4) 気体に与えられた熱量を、 p_0 、 A 、および h を用いて表しなさい。

5

つぎに、気体の状態とピストンの位置をはじめの状態に戻し、図のように、ピストンにばね定数 k のばねを取り付け、他端は固定した。ばねの長さは自然長である。

この状態からヒーターに通電してある熱量を与えると、気体は膨張し、ピストンが ℓ だけ右に移動した。



(問 5) このときの気体の温度を, p_0 , T_0 , A , R , k , および ℓ を用いて表しなさい。

(問 6) 気体が外部にした仕事を, p_0 , A , k , および ℓ を用いて表しなさい。

1	(問 1) 1.0 N	(問 2) 30°C	(問 3) 4 Hz
	(問 4) $\frac{3}{8}$	(問 5) 129Ω	(問 6) $3 + 2\sqrt{2} \text{ 倍}$

2	(問 1) 物体 M と板の運動方程式の水平方向成分はそれぞれ、 物体 M: $Ma = T$ 、板: $m_0 a = kA - T$ となる。 (a は M と板の加速度の水平方向成分) 二式から a を消去して T について解くことより、 $T = \frac{MkA}{m_0 + M}$	(問 2) 問 1 の解より、 $T = 0$ となるのは、 $A = 0$ のときである。 この後、ばねは自然長より伸びた状態になる。 よって、 $A < 0$ となり、このとき $T < 0$ となることから、 M は板から離れることになる。よって、求める A の値は 0
	(問 3) ばねと M と板の力学的エネルギーの和 が変化しないことから、 $\frac{1}{2}kA_0^2 = \frac{1}{2}(m_0 + M)V^2$ $V > 0, A_0 > 0$ より、 $V = A_0 \sqrt{\frac{k}{m_0 + M}}$	(問 4) (1) 運動量 (問 4) (3) 1
	(問 4) (2) $MV = Mv_M + mv_m$ (問 4) (4) $1 = -\frac{v_M - v_m}{V}$ より、 $v_M = v_m - V$	(問 5) 問 4 (3) の解より、 $MV = Mv_M + mv_m$ 問 4 (5) の解より、 $v_M = v_m - V$ この二式を v_M と v_m の連立方程式として解くことより、 $v_m = \frac{2M}{m+M}V \quad v_M = \frac{M-m}{m+M}V$
	(問 6) $v_m = \frac{2M}{m+M}V > 0 \text{ より、} v_m > 0 \text{ となればよい。}$ よって、 $v_M = \frac{M-m}{m+M}V > 0 \therefore M > m$	

3	(問 1) 気体の体積 V は、気体の状態方程式 $p_0 V = RT_0$ より、 $V = \frac{RT_0}{p_0}$	(問 2) このときの気体の体積が $V + Ah$ である ことから、このときの気体の温度 T' は、 気体の状態方程式 $p_0(V + Ah) = RT'$ より $T' = \frac{p_0(V + Ah)}{R} = \frac{p_0 V}{R} + \frac{p_0 Ah}{R} = T_0 + \frac{p_0 Ah}{R}$	(問 3) 気体の温度の増加量 ΔT は、 $\Delta T = T' - T_0 = \frac{p_0 Ah}{R}$ であることから、 内部エネルギーの増加量 ΔU は、 $\Delta U = \frac{3}{2}R\Delta T = \frac{3}{2}p_0 Ah$
	(問 4) 気体がした仕事 W は、 $W = p_0(V + Ah - V) = p_0 Ah$ となる。 よって、気体に与えられた熱量 Q は、 $Q = \Delta U + W = \frac{5}{2}p_0 Ah$	(問 5) このときの気体の圧力と体積がそれぞ れ、 $p_0 + \frac{kl}{A}$ と $V + Al$ であることから、こ のときの気体の温度 T'' は、気体の状態方 程式より、 $T'' = T_0 + \frac{p_0 Al}{R} + \frac{k l T_0}{p_0 A} + \frac{k l^2}{R}$	(問 6) 気体が外部にした仕事 W' は、気体が外 部気体にした仕事とばねにした仕事の和 になることから、 $W' = p_0 Al + \frac{1}{2}kl^2$