

1 図1または図2に示されるように、自然の長さが同じで、ばね定数 k_A , k_B のばね A, B を組み合わせて直列または並列につなぎ、質量 m の物体 P をつるした。以下の問に答えなさい。ただし、重力加速度の大きさを g とし、ばねの質量を無視できるものとする。

問1 図1のように、直列につながれた2本のばね A, B は、図3のような1本のばね C とみなすことができる。このときのばね C のばね定数 k_C を k_A , k_B を用いて表してみよう。次の文章の (1) ~ (4) を適切な式で埋めなさい。

物体 P を静かにつるしたとき、ばね A, B はそれぞれ x_A , x_B だけ伸び、全体で $x_1 = x_A + x_B$ 伸びた。フックの法則より、ばね A, B における重力と伸び x_A , x_B の関係は、それぞれ $x_A =$ (1), $x_B =$ (2) となる。同様にフックの法則より、ばね C における重力と伸び x_1 の関係は $x_1 =$ (3) となる。したがって、ばね C のばね定数 k_C は、 k_A , k_B を用いて $k_C =$ (4) と表される。

問2 図2のように、ばね A, B の下端に質量を無視できる長さ l の棒 QR をとりつけ、ばね A, B を並列につないだ。そして、棒の左端の点 Q から長さ a の位置に物体 P を静かにとりつけたところ、ばね A, B は同じ長さ x_2 だけ伸びた。

- (1) 伸びた長さ x_2 を g , m , k_A , k_B を用いて表しなさい。
- (2) 棒の左端点 Q まわりの力のモーメントのつりあいの式を g , a , l , m , k_B , x_2 を用いて表しなさい。ただし、反時計まわりをモーメントの正の方向とする。
- (3) ばね A と B のばね定数の比 $k_A : k_B$ を a , l を用いて表しなさい。
- (4) ばねが自然の長さになるように物体 P を手で支えて、急に手をはなした。棒 QR はつねに水平で、物体 P と一体となって鉛直方向のみに運動する。このときの振動の振幅 X と周期 T を g , m , k_A , k_B を用いて表しなさい。

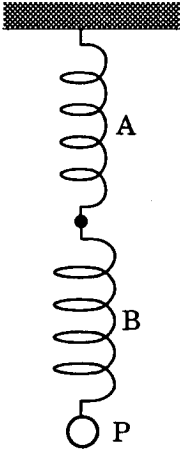


图 1

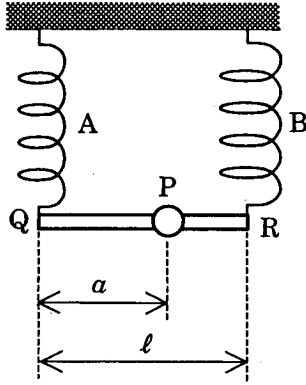


图 2

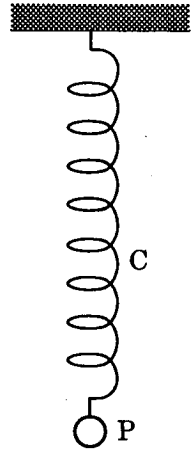


图 3

2 右図のように断面積が S 、長さが L の金属の棒の両端に電位差 V を与えたときの金属内の自由電子の運動を考えよう。ただし、自由電子の質量を m 、電気量を $-e$ とし、金属中単位体積あたりの自由電子の個数を n として以下の問に答えなさい。

問 1 金属中に電場を加えると各自由電子は電場からの力を受け、全体として力の方向に移動する。1つの自由電子が電場から受ける力の大きさ F はいくらか。

次に自由電子の移動速度について詳しく考えてみよう。電子は電場からの力により加速されるが、熱振動している金属イオンと衝突し減速する。しかし、すぐに電場からの力で再び加速される。このように電子は実際には加速と減速を繰り返しながら金属中を進んでいるが、時間的に平均すれば一定の速さ v で進んでいるとみなせる。

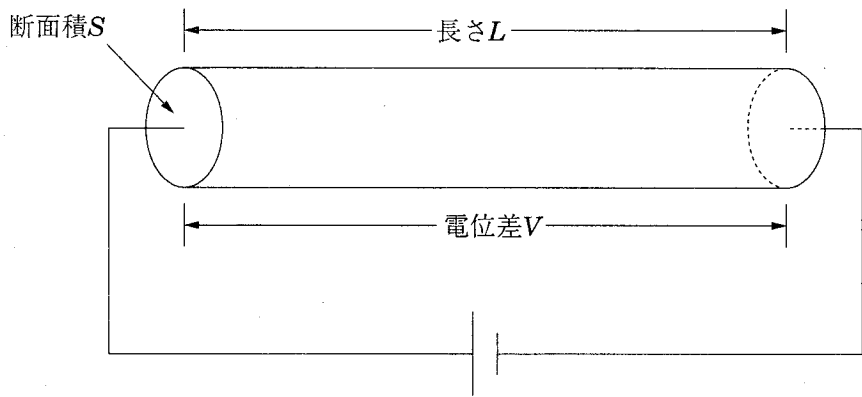
問 2 この v を用いると金属棒を流れる電流の大きさはどのように表されるか。

問 3 上で述べた加速と衝突が非常に短い時間 Δt ごとに繰り返され、衝突直後には電子の速さは 0 になると考える。衝突から次の衝突までの Δt 時間に電子が進む距離を問 1 の F を用いて表しなさい。

問 4 自由電子の平均の速さ v を e 、 m 、 Δt 、 L 、 V を用いて表しなさい。

問 5 金属棒の抵抗値を e 、 m 、 Δt 、 n 、 S 、 L を用いて表しなさい。

問 6 金属中を電子が速さ v の等速運動をしているとみなすことは、電場からの力のほかに一種の抵抗力が電子に働いた結果と考えることができる。この抵抗力の大きさを m 、 v 、 Δt を用いて表しなさい。



図

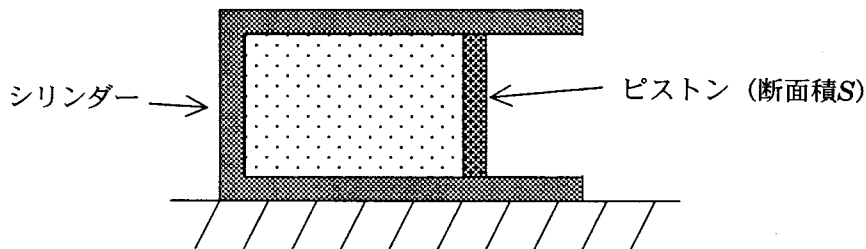
3 圧力 p の大気下で水平面上に固定されたシリンダーがある。図のように、このシリンダー内になめらかに動くピストンを入れて、温度 T 、大気圧と同じ圧力 p の理想気体 1 mol を閉じ込めた。ピストンの断面積を S 、最初に閉じ込められた気体柱の長さを l として、以下の間に答えなさい。なお、加熱するとき以外は、シリンダー内と外部との熱の出入りはないものとする。

問 1 最初にピストンを固定した状態で外部から加熱した。シリンダー内の気体に熱量 Q を与えたところで、シリンダー内の圧力は Δp だけ上昇した。

- (1) 加熱後のシリンダー内の気体の温度を求めなさい。
- (2) シリンダー内の気体の定積モル比熱 C_V を求めなさい。

問 2 シリンダー内の気体を元の状態(温度 T 、圧力 p)に戻し、今度はピストンがなめらかに動くようにしてゆっくりと加熱した。シリンダー内の気体に熱量 Q を与えたところで、ピストンは Δl だけ移動して静止した。

- (1) 加熱中にシリンダー内の気体が外部にした仕事を p 、 S 、 Δl を用いて表しなさい。
- (2) 加熱前後でのシリンダー内の気体の内部エネルギーの変化を Q 、 p 、 S 、 Δl を用いて表しなさい。
- (3) 加熱後、シリンダー内の気体の温度は ΔT だけ上昇した。 ΔT を l 、 Δl 、 T を用いて表しなさい。
- (4) (3)で求めた ΔT を、 Q 、 p 、 S 、 l 、 T 、および C_V を用いて表しなさい。



図

4 電気容量が C の二つのコンデンサー A, B と, 起電力 V の電池およびスイッチ S_1, S_2, S_3, S_4 を接続し, 図 1 のような回路を作る。最初, スイッチ S_1, S_2, S_3, S_4 は開いており, コンデンサー A, B に蓄えられた電気量は 0 であるとす。以下の問に答えなさい。

問 1 スイッチ S_1, S_4 を閉じると, 図 2 の実線で示されるような回路が構成され, しばらくするとコンデンサー A は十分に充電された。コンデンサー A に蓄えられた電気量を C, V を用いて示しなさい。

問 2 次に, スイッチ S_1, S_4 を開いた後, スイッチ S_2, S_3 を閉じると図 3 の実線で示される回路が構成される。

- (1) コンデンサー A, B の, 図 3 に示した極板 P_A, P_B に蓄えられている電気量の和を C, V を用いて示しなさい。
- (2) 十分な時間が経過した後のコンデンサー A, B の極板間の電位差 V_A, V_B を求めなさい。

問 3 この後, スイッチ S_2, S_3 を開き, S_1, S_4 を閉じてコンデンサー A を十分に充電し(図 2), さらに問 2 と同じように, スイッチ S_1, S_4 を開き, スイッチ S_2, S_3 を閉じた(図 3)。

- (1) コンデンサー A, B の極板 P_A, P_B に蓄えられている電気量の和を C, V を用いて示しなさい。
- (2) 十分な時間が経過した後のコンデンサー A, B の極板間の電位差 V_A', V_B' を求めなさい。

問 4 さらに, 問 3 の手順を繰り返すと, コンデンサー B の極板間の電位差は徐々に増加した。そして, 十分な回数繰り返したとき, この電位差は一定の値になり, 変化が観測されなくなった。このときのコンデンサー B の極板間の電位差はいくらになるか求めなさい。また, その理由を簡単に示しなさい。

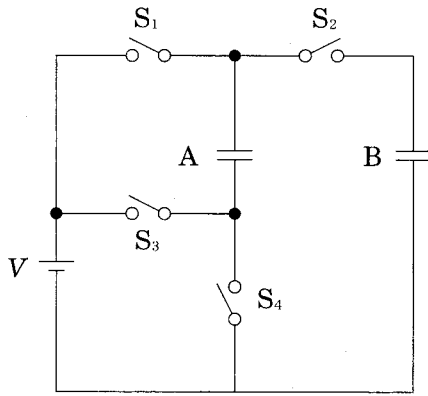


図1 回路図

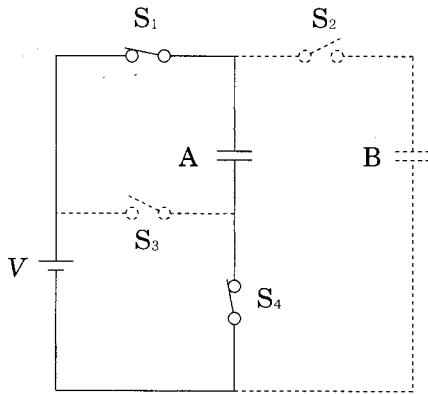


図2 S₁, S₄ を閉じた回路

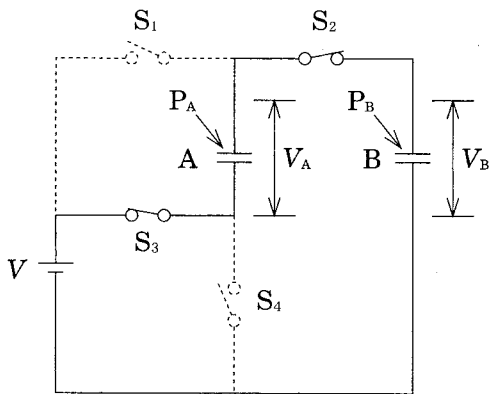


図3 S₂, S₃ を閉じた回路

5 図1または図2に示されるように、自然の長さが同じで、ばね定数 k_A , k_B のばね A, B を組み合わせて直列または並列につなぎ、質量 m の物体 P をつるした。以下の問に答えなさい。ただし、重力加速度の大きさを g とし、ばねの質量を無視できるものとする。

問 1 図1のように、直列につながれた2本のばね A, B は、図3のような1本のばね C とみなすことができる。このときのばね C のばね定数 k_C を、 k_A , k_B を用いて表してみよう。次の文章の (1) ~ (4) を適切な式で埋めなさい。

物体 P を静かにつるしたとき、ばね A, B はそれぞれ x_A , x_B だけ伸び、全体で $x_1 = x_A + x_B$ 伸びた。フックの法則より、ばね A, B における重力と伸び x_A , x_B の関係は、それぞれ、 $x_A =$ (1), $x_B =$ (2) となる。同様にフックの法則より、ばね C における重力と伸び x_1 の関係は $x_1 =$ (3) となる。したがって、ばね C のばね定数 k_C は、 k_A , k_B を用いて、 $k_C =$ (4) と表される。

問 2 図2のように、ばね A, B の下端に質量を無視できる長さ l の棒 QR をとりつけ、ばね A, B を並列につないだ。そして、棒の左端の点 Q から長さ a の位置に物体 P を静かにとりつけたところ、ばね A, B は同じ長さ x_2 だけ伸びた。

- (1) 伸びた長さ x_2 を g , m , k_A , k_B を用いて表しなさい。
- (2) 棒の左端点 Q まわりの力のモーメントのつりあいの式を g , a , l , m , k_B , x_2 を用いて表しなさい。ただし、反時計まわりをモーメントの正の方向とする。
- (3) ばね A と B のばね定数の比 $k_A : k_B$ を a , l を用いて表しなさい。

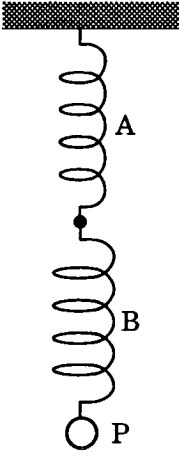


图 1

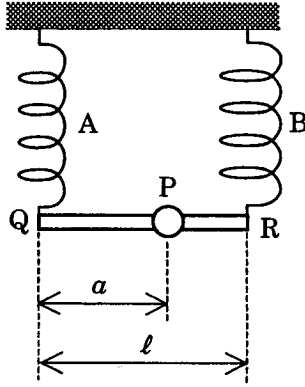


图 2

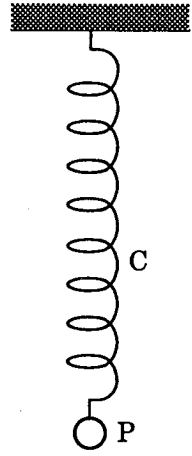


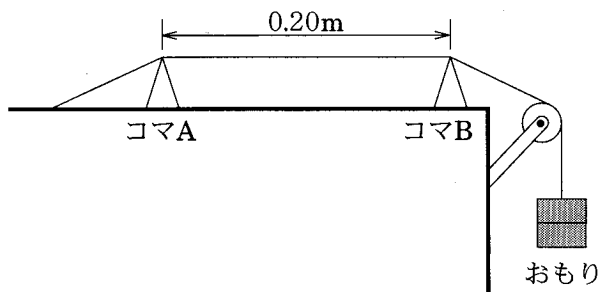
图 3

6 弦を振動させる以下のような実験を行った。図のように、均一な鋼鉄線を 0.20 m の間隔をあけた 2 個のコマ A, B で支え、線の片端を滑車を通しておもりで引っ張る。コマ A, B 間に張られた弦の中央部を弾くと弦は基本振動数 f [Hz] で振動した。この振動数はある装置を用いて測定できるものとする。おもりの数を 1 個から 4 個まで変えたとき、おもりが線を引っ張る力 F [N] と基本振動数 f [Hz] の実測値は次表の通りであった。以下の問に答えなさい。

おもりの数 [個]	F [N]	f [Hz]
1	1.85	150
2	3.70	210
3	5.55	250
4	7.40	290

表

- 問 1 おもりが線を引っ張る力を横軸に、振動数の 2 乗を縦軸にとったグラフを解答用紙に描きなさい。
- 問 2 問 1 で描いたグラフより、おもりが線を引っ張る力と振動数の間にはどのような関係があることがわかるかを述べなさい。
- 問 3 この実験に用いた鋼鉄線の線密度はいくらか。計算の過程を示し、単位をつけて答えなさい。
- 問 4 弦の振動は時間がたつと次第に減衰し、やがて弦は静止する。振動のエネルギーが減少してゆく理由を考察し、そのうち重要と思われるもの 2 つを挙げて述べなさい。



図