

和歌山県立医科大学

平成 30 年 度

理 科

問 題 冊 子

物 理

第 1 問 次の文章を読んで、1 ~ 13 に適した式を記せ。

図 1 のように、点 P と点 Q が同じ鉛直面上にあり、点 P には長さ l の軽くて伸び縮みしない糸の一端を固定し、他端には大きさの無視できる質量 m の小球を取りつける。点 Q には細くてなめらかなくぎがこの鉛直面に対して垂直に固定されている。小球は、この鉛直面上で運動する。PQ の距離は $(1-e)l$ ($0 < e < 1$) で、PQ と鉛直下向きのなす角度は α ($0^\circ \leq \alpha < 90^\circ$) である。点 P において糸が鉛直下向きとなす角度を φ ($\leq 90^\circ$)、点 Q において糸が鉛直下向きとなす角度を θ とする。重力加速度の大きさを g とする。

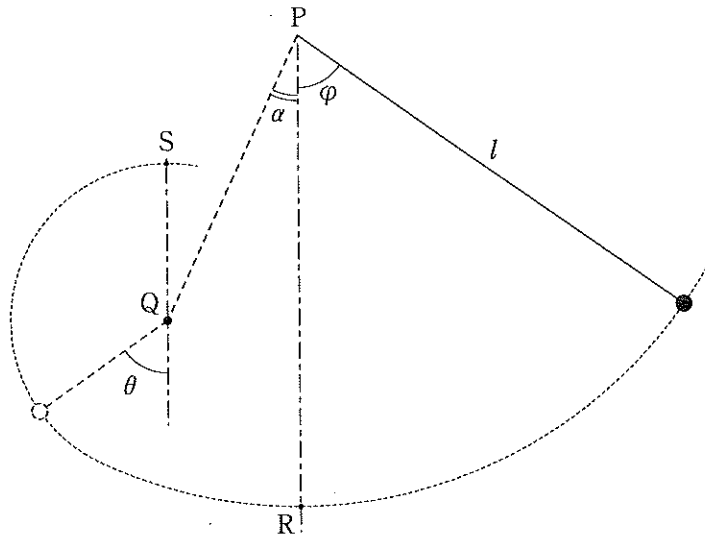


図 1

I 図 1 のように、糸がたるまないように $\varphi = \varphi_1$ まで小球を持ち上げ、静かにはなした。小球は最下点 R で速さ 1 となり、そのまま円軌道を描いて糸が点 Q のくぎに触れた。糸がくぎに触れる直前の小球の速さは 2，向心力の大きさは 3，糸の張力の大きさは 4 となる。

その後、小球は点 Q を中心とした円軌道を描いた。糸と鉛直下向きのなす角度が θ のとき、最下点 R からの小球の高さは 5 となり、小球の速さは 6，糸の張力の大きさは 7 となる。小球が $\theta = 180^\circ$ の点 S に達するためには、最初に小球をはなす角度 φ_1 が $\cos \varphi_1 \leq$ 8 の条件を満たす必要がある。 $\varphi_1 \leq 90^\circ$ でこの条件を満たすようなある φ_1 をとると、PQ の距離を最も短くすることができる。このときの e の値は $\cos \alpha$ を用いて表すと 9 である。

II 図1のように、糸がたるまないように $\varphi = \varphi_2$ まで小球を持ち上げ、静かにはなした。糸が点 Q でくぎに触れるまで、小球は点 P を中心とした円軌道を描き、触れた後は点 Q を中心とした円軌道を描いて $\theta = 120^\circ$ になった直後に糸がたるんだ。ここでは、その後に糸がたるんだ状態で小球が行う放物運動について考える。ただし、小球と糸は接触しないとする。以下では、 $\cos \varphi_2 = \frac{1}{4}$ 、 $e = \frac{1}{5}$ 、 $\alpha = 60^\circ$ とし、 $\theta = 120^\circ$ になった時刻を $t = 0$ とする。また、点 Q を原点とし、水平右向きを x 軸の正方向、鉛直上向きを y 軸の正方向とする。時刻 $t = 0$ における小球の速さは 10 となる。時刻 $t (\geq 0)$ における小球の位置の x 座標は 11、 y 座標は 12 となり、小球が y 軸を横切るときの y 座標は 13 となる。

第2問 次の文章を読んで、1 ~ 16 に適した式を記せ。ただし、 はすでに で与えられたものと同じ式を表す。

図2-1のように、縦方向の長さ l 、奥行き方向の長さ w 、質量 m の3枚の長方形の金属板 P_1 、 P_2 、 P_3 が間隔 d で平行に設置されている。金属板には、抵抗値 R の抵抗器、電圧 V_0 の直流電源、スイッチ S_1 、 S_2 からなる回路が接続されている。金属板の縦方向は鉛直方向と一致し、鉛直下向きを y 軸の正方向として $y = 0$ の位置に金属板の上端がある。金属板 P_2 は y 軸方向になめらかに動くものとする。なお、奥行き方向には金属板のずれはないものとする。金属板の間は真空とみなすことができ、真空の誘電率は ϵ_0 とする。金属板の間隔 d に比べて面積 lw は十分に大きく、端による電場の乱れは無視できるとする。また、導線はしなやかで軽く、金属板 P_2 の動きに影響を与えないとし、その抵抗は考えないものとする。重力加速度の大きさを g とする。

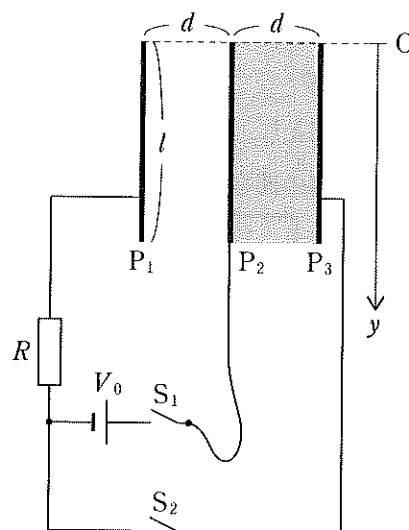


図2-1

I 図2-1のように、金属板 P_2 の上端を $y = 0$ の位置に固定し、金属板 P_2 と P_3 の間に比誘電率 $\epsilon_r (> 1)$ の誘電体をすきまなく挿入した。金属板 P_1 と P_2 で構成されるコンデンサー C_1 の電気容量は $C =$ 1，金属板 P_2 と P_3 で構成されるコンデンサー C_2 の電気容量は 2 である。

最初、スイッチ S_1 と S_2 は開いており、コンデンサー C_1 と C_2 に電荷は蓄えられていないとする。スイッチ S_1 を閉じて十分な時間が経過した後、コンデンサー C_1 に蓄えられた電荷は 3，静電エネルギーは 4 となる。

次に、スイッチ S_1 を開いてから S_2 を閉じた。十分な時間が経過した後、コンデンサー C_2 に蓄えられた電荷は 5，電圧は 6 である。また、スイッチ S_2 を閉じてから抵抗器で生じるジュール熱は 7 である。

II 図2-2のように、金属板 P_2 と P_3 の間の誘電体を抜き取り、抵抗器とスイッチ S_2 の回路内の位置を変更した。金属板 P_2 は固定したままで上端は $y = 0$ の位置にある。必要であれば、 $|a| \ll 1$ のとき $\frac{1}{1-a} \approx 1+a$ となる近似式を用いよ。

最初、スイッチ S_1 と S_2 は開いており、金属板 P_1 , P_2 , P_3 に電荷が蓄えられていないとする。スイッチ S_1 を閉じて十分な時間が経過した後、金属板 P_2 に蓄えられた電荷は $Q_0 = 2 \times \boxed{3}$ となり、金属板 P_1 , P_2 , P_3 に蓄えられた静電エネルギーの和は、 w , l , d , ϵ_0 , Q_0 を用いて $\boxed{8}$ と表される。

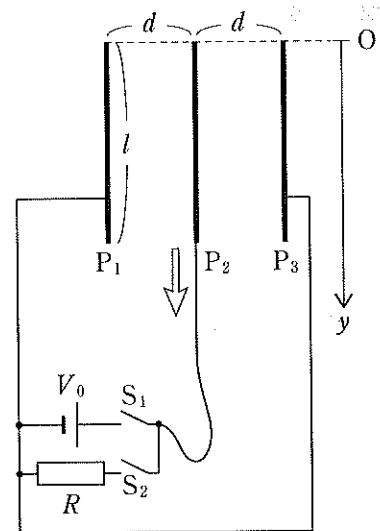


図2-2

次に、スイッチ S_1 を開いた後、金属板 P_2 の固定をはずした。ここで、金属板 P_2 の上端が $y = 0$ の位置にあるとき、 P_2 を微小な距離 Δy ($\ll l$) だけ下げるために必要な外力の大きさについて考える。外力として鉛直下向きで大きさ F_0 の力のみが働くとする、 P_2 を Δy だけ下げるときの仕事は $\Delta W_0 = F_0 \Delta y$ となることより、 F_0 は w , l , d , ϵ_0 , Q_0 を用いて $\boxed{9}$ と表される。以下では、外力として重力のみを考え、重力は F_0 よりも小さいとし、金属板 P_2 の上端が $y = 0$ の位置のままであったとする。

さらに、スイッチ S_2 を閉じた。ここでは、抵抗値 R の抵抗器に極めて微小な電流が流れ、金属板 P_2 の電荷が Q_0 から徐々に減少する場合を考える。外力として重力のみを考えるので、金属板 P_2 に蓄えられた電荷が $\boxed{10}$ 、金属板 P_1 , P_2 , P_3 に蓄えられた静電エネルギーの和が $\boxed{11}$ になったとき、金属板 P_2 はゆっくりと下がりはじめた。この時刻を $t = 0$ とする。金属板 P_2 の上端が $y = h$ にきたときの電荷を Q とすると、 P_2 を微小な距離 Δh ($\ll l - h$) だけ下げるのに必要な外力 F は、 Q が一定とみなせるとき、 h , w , l , d , ϵ_0 , Q を用いて $F = \boxed{12}$ と表される。また、 h は、 w , l , d , ϵ_0 , Q , m , g を用いて $\boxed{13}$ と表される。金属板 P_1 と P_2 の間の電圧は、 h を用いずに表すと、 $\boxed{14}$ となる。金属板 P_2 が動き始めてからその上端が $y = l$ まで下がる間、電圧 $\boxed{14}$ と抵抗器に流れる電流は一定となるので、 $y = l$ となる時刻は $\boxed{15}$ となる。時刻 $t = 0$ から $\boxed{15}$ までに抵抗器で生じるジュール熱は $\boxed{16}$ となる。

第3問 次の文章を読んで、1 ～ 11 と 13 に適した式を記せ。 12 については、(ア)と(イ)のいずれか正しいものを選び、記号を記せ。

図3のように、断面積 S のシリンダーが大気中に水平に置かれている。シリンダー内は気密が保たれ、なめらかに動くピストン(断面積 S)により領域 A と B に仕切られている。ピストンには自然長 l_0 のばねの一端が取り付けられ、他端は領域 A の左端に固定されている。領域 A には温度調節器が設置され、物質質量 n の単原子分子の理想気体が封入されている。領域 B にはコック付きの細い管が接続されている。シリンダーの外側の圧力は大気圧 p_0 で常に一定であるとする。シリンダーとピストンは断熱材で作られ、ピストン、温度調節器、ばねの体積と質量は無視できるとする。なお、気体定数を R とする。

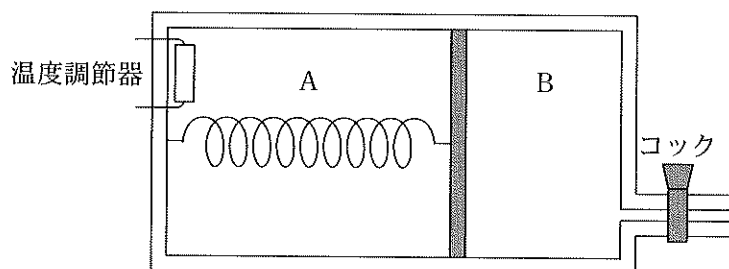


図3

I 最初、領域 A の圧力は $\frac{1}{2}p_0$ 、ばねの長さは $\frac{5}{4}l_0$ であり、領域 B は真空中でコックは閉じられていた。これを状態 I とする。ばね定数は 1 と表される。このときの理想気体の絶対温度は 2，内部エネルギーは $U_1 =$ 3，ばねに蓄えられた弾性エネルギーは $E_1 =$ 4 となる。

II 次に、コックを開けて領域 B にゆっくりと大気を入れた。領域 B の圧力が p_0 になったとき、ばねの長さは $l(<l_0)$ になった。これを状態 II とする。このときの理想気体の圧力は 5，絶対温度は 6 となる。また、内部エネルギーを U_2 、ばねに蓄えられた弾性エネルギーを E_2 とおく。状態 I から状態 II への過程で、理想気体の内部エネルギーの変化は $U_2 - U_1 =$ 7，弾性エネルギーの変化は $E_2 - E_1 =$ 8，大気が理想気体とばねにした仕事は 9 となる。

III 領域 B を真空中にして状態 I に戻した後、今度は温度調節器で領域 A の理想気体の温度を一定に保ちながらコックを開けて領域 B にゆっくりと大気を入れた。領域 B の圧力が p_0 になったとき、ばねの長さは 10 となった。これを状態 III とする。このときの理想気体の圧力は 11 となる。状態 I から状態 III への過程で、理想気体が温度調節器から吸収した熱量を Q とすると、12 (ア) $Q > 0$ (イ) $Q < 0$ であり、大気が理想気体とばねにした仕事は Q を用いて表すと 13 となる。