大阪医科薬科大学

2024 年度　一般選抜　物理

（2 科目　120 分）

I 滑らかで水平な床の上に、長さ L [m] の同形の直方体 A、B を図 1 のように並べて置いた。A は床面に固定してあり、B は A の右側に接するように置かれている。いま、A の上面の左端に質量 m [kg] の小物体 P を置き、ある速さで滑らせ始めたところ、P は A の上面を L 滑ったのち、速さ v_0 [m/s] で B の上面に乗り、その後 P は B の上面を滑り、B も右方向に動き始めた。各直方体の質量を $5m$、A、B の上面と P の間の動摩擦係数はどちらも $\frac{1}{3}$、重力加速度を g [m/s^2] として、以下の問に答えよ。ただし、(1) と (2) は L を使用し、(3) 以降は L を使用せずに答えること。

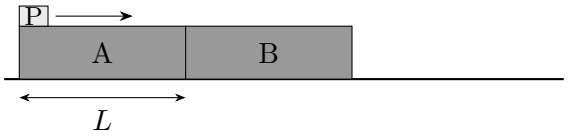


図 1



図 2

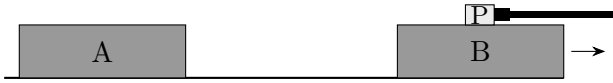


図 3

(1)　A の上面を L 滑る間に P が失った力学的エネルギーの大きさを表せ。

(2)　A の上面を滑り始めたときの P の速さを表せ。

(3)　P が B の上面を滑っているときの床面に対する B の加速度の大きさを表せ。

やがて、P は B の上面の中点で B に対して静止し、両者は図 2 のように一体となって動き始めた。

(4)　P が B の上面で静止したときの床面に対する B の速さを表せ。

(5)　P が B の上面を滑っていた時間を表せ。

(6)　L の値を表せ。

P と B が一体となって動き始めた後、図 3 のように、P に前方から水平に棒を当てて、P の床に対する動きを止めた。すると、B の右方向の運動は減速し始めた。

(7)　十分に時間が経過したのち、B の運動はどうなるか、以下の (a)、(b) の文章のうち正しい方の記号と、その文章の（　　）にあてはまる数を答えよ。

(a)　B は床面に対して静止した。このとき B の左端と P との距離は　（　　）$\times L$　であった。

(b)　P は B から落下し、B は右方向の運動を続けた。このとき B は　（　　）$\times v_0$　の速さで等速直線運動を続けた。

II 風船から小さなゴンドラをぶら下げた気球がある。風船内部の体積は $V\,[\mathrm{m}^3]$、風船内部の空気を除いた気球の質量は $M\,[\mathrm{kg}]$ である。風船は球形で変形せず、薄く断熱性の高い素材で出来ており、下側には外気と通じる小さな開口部がある。風船内部にはヒーターがあり、風船内部の空気の温度を調節することができる。外気の圧力（大気圧）$p\,[\mathrm{Pa}]$、密度 $d\,[\mathrm{kg/m}^3]$、温度 $T_0\,[\mathrm{K}]$ は、いずれも高度によらず一定とする。空気は理想気体とみなせるものとし、気体定数を $R\,[\mathrm{J/(mol{\cdot}K)}]$、重力加速度を $g\,[\mathrm{m/s}^2]$ として以下の問に答えよ。

(1)　1 モルの空気の質量を表せ。

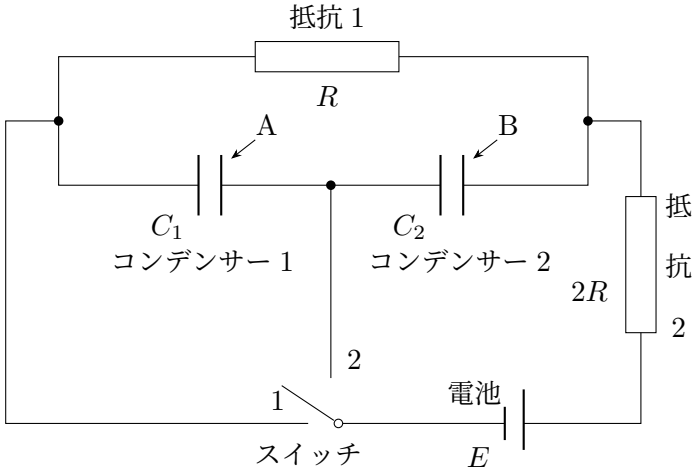
(2)　風船内部の空気をゆっくりと加熱すると気球が地表から浮上し始めた。浮上し始めた時の風船内部の空気の密度を表せ。

(3)　気球を地上から浮上させるには風船内部の空気の温度をいくら以上にする必要があるのか、その温度を表せ。

(4)　風船内部の空気の温度を $T_1\,[\mathrm{K}]$ にまで上げると気球は上昇し続けた。気球に働いている力の大きさを表せ。上昇中の気球に対する空気抵抗は無視する。

(5)　大気の密度が $1.2\,\mathrm{kg/m}^3$ であり、加熱した風船内部の空気の密度が $0.9\,\mathrm{kg/m}^3$ であった。風船が半径 $2.0\,\mathrm{m}$ の球形とすると、気球が地表から浮上し始めるためには質量 M は何 kg 以下でなければならないか。円周率を 3.14 として計算し、整数で答えよ。

III 図のように、$R\,[\Omega]$ の抵抗 1 と $2R$ の抵抗 2、電気容量 $C_1\,[\mathrm{F}]$ のコンデンサー 1 と $C_2\,[\mathrm{F}]$ のコンデンサー 2、およびスイッチと電池からなる回路がある。電池の起電力は $E\,[\mathrm{V}]$ であり、内部抵抗は無視できるものとする。この回路について以下の問に答えよ。



(1) コンデンサー 1 とコンデンサー 2 に電荷が蓄えられていない状態で、スイッチを 1 の側に入れた。その直後に抵抗 1 と抵抗 2 を流れる電流 [A] はそれぞれいくらか。

(2) 次にスイッチを開き、スイッチを 2 の側に入れてから十分に時間がたったとする。コンデンサー 2 の極板 B に蓄えられている電気量 [C] と、コンデンサー 2 に蓄えられているエネルギー [J] を求めよ。

(3) そのままの状態で、スイッチを 1 の側に入れた。その直後に抵抗 1 と抵抗 2 を流れる電流 [A] はそれぞれいくらか。

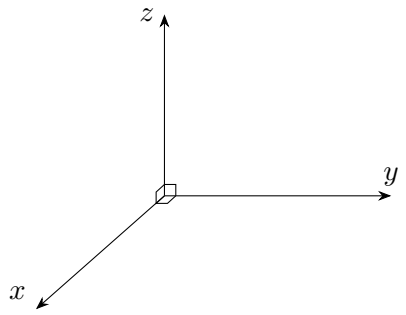
(4) そのままスイッチを 1 の側に入れた状態で、十分に時間がたったとする。抵抗 1 の両端の電位差 [V] を求めよ。

(5) また、コンデンサー 1 の極板 A に蓄えられている電気量 $Q_1\,[\mathrm{C}]$、コンデンサー 2 の極板 B に蓄えられている電気量 $Q_2\,[\mathrm{C}]$ は、それぞれ $Q_1 = \dfrac{C_1E}{(C_1+C_2)} \times$（ ① ）、$Q_2 = \dfrac{C_2E}{(C_1+C_2)} \times$（ ② ）となる。①と②に式を入れよ。

IV 以下の問に答えよ。

(1) x 軸上の原点に物体を置き、軸上 $x = 10\,\mathrm{cm}$ の位置に焦点距離 $8\,\mathrm{cm}$ の薄い凸レンズを置くと、x 軸上（ ① ）cm の位置に（② ア．実像，イ．虚像）ができた。この状態でさらに、軸上 $x = 58\,\mathrm{cm}$ に焦点距離 $12\,\mathrm{cm}$ の薄い凸レンズを置くと、x 軸上（ ③ ）cm の位置に（④ ア．実像，イ．虚像）ができた。①と③には数値を入れ、②と④は正しいものを記号で答えよ。

(2) x, y, z 座標を右図のようにとる。z 軸の負方向に、磁束密度 B の一様な磁場が存在している。原点から y 軸の正方向に速さ v で電子を打ち出したところ、xy 平面内の位置 $(a, b, 0)$ に到達した。電子の質量を m、電荷を $-e$ $(e > 0)$ として v を a, b, m, e, B を用いて表せ。ただし重力の影響は考えないものとし、a, b は正である。



(3) 水素原子の電子のエネルギー準位は A を定数として

$$E_n = -\frac{A}{n^2} \quad (n = 1, 2, 3, \cdots) \qquad \cdots ①$$

と表される。この準位間を電子が遷移することにより電磁波（光）を吸収あるいは放出する現象が実験的に観測されている。$n = 1$ と他の準位との間で遷移がおきる場合に、

$$\frac{1}{\lambda_n} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad (n = 2, 3, 4, \cdots) \qquad \cdots ②$$

と表される波長 λ_n の光が吸収あるいは放出される。R はリュードベリ定数である。式①の定数 A を、R、光速度 c およびプランク定数 h を用いて表せ。

(4) 半減期 2 時間の放射性同位体 A と、半減期 6 時間の放射性同位体 B がある。はじめ、A と B 両方合わせた放射能は 42,000 ベクレル (Bq) であった。6 時間後は、両方合わせた放射能は 12,000 ベクレルであった。はじめの A の放射能は何ベクレルであったか。