

物 理

(注) 医学科の受験生は問 1 から問 10 までの全ての問について、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 から問 8 までの 8 問について解答せよ。解答に至るまでの過程も記せ。

1 xy 平面上の原点 O に太陽(質量 M)がある。物体(質量 m)を点 $A(R, 0)$ から速度 $(0, v_0)$ (ただし $v_0 > 0$) で発射すると、物体は太陽からの万有引力を受けて等速円運動を始めた。 M は m より十分大きく太陽は動かないものとし、また万有引力定数を G とする。

問 1 点 A において物体にはたらく万有引力の大きさ F 、物体の速さ v_0 、等速円運動の周期 T を G, M, m, R のうち必要なものを使って表せ。

問 2 物体の運動エネルギー K 、万有引力の位置エネルギー U 、力学的エネルギー E を G, M, m, R のうち必要なものを使って表せ。ただし位置エネルギーは無限遠点を基準とせよ。

点 A から同じ物体を速度 $(0, v_1)$ (ただし $v_1 > v_0$) で発射したところ、物体は楕円軌道上をまわり始め、しばらくすると点 $B(-\alpha R, 0)$ (ただし α は正実数) を通過した。点 B での物体の速さは v_2 であった。楕円軌道上で y 座標が最大となる点を C 、最小となる点を D とする。

問 3 α と 1 の大小関係を、等式または不等式で解答せよ(答えのみで良い)。

問 4 点 A と点 B において力学的エネルギーは等しい。これを数式で表現せよ。

問 5 点 A と点 B において面積速度は等しい。これを数式で表現せよ。

問 6 v_1 および v_2 を G, M, m, α, R のうち必要なものを使って表せ。

問 7 CD 間の距離を $2R_1$, 楕円の面積を S とする。 R_1 および S を G, M, m, α, R のうち必要なものを使って表せ。

問 8 物体が点 A を出発してから初めて点 C を通過するまでの時間を t_1 とする。 t_1/T を G, M, m, α, R のうち必要なものを使って表せ。ただし T は問 1 の T である。

点 A から同じ物体を速度 $(0, \sqrt{2} v_0)$ で発射した。物体が初めて y 軸を横切る点を点 E とする。

問 9 原点から点 E までの距離を R_2 とする。 R_2 を G, M, m, R のうち必要なものを使って表せ。

問 10 物体が点 A を出発してから初めて点 E を通過するまでの時間を t_2 とする。 t_2/T を G, M, m, R のうち必要なものを使って表せ。ただし T は問 1 の T である。

(注) 医学科の受験生は問 1 から問 9 までの全ての問について、歯学科および保健衛生学科(検査技術学専攻)の受験生は問 1 から問 7 までの 7 問について解答せよ。解答に至るまでの過程も記せ。

2 一般に電池は内部抵抗をもち、内部抵抗の抵抗値を r 、起電力の値を E とすると等価回路は図 1 のように表される。図 1 で表される同じ性能の電池をいくつかの方法で連結し、抵抗値 R の抵抗に接続する。導線の抵抗は無視できるとして、以下の問題に答えよ。

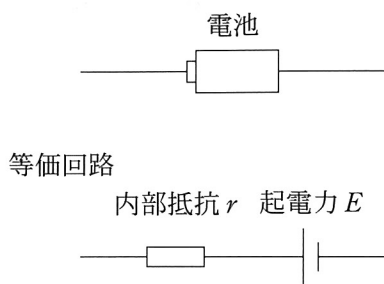


図 1

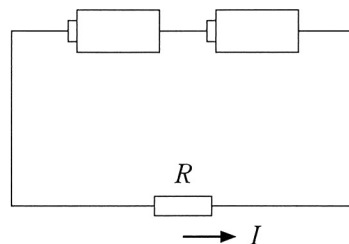


図 2

問 1 図 2 のように同じ電池 2 個を直列に連結した場合、抵抗 R に流れる電流 I を求めよ。

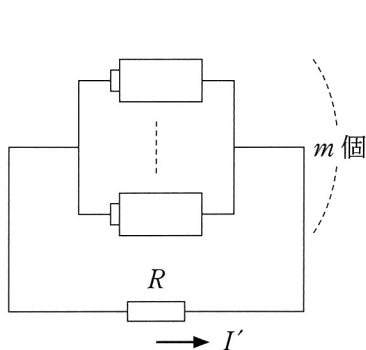


図 3

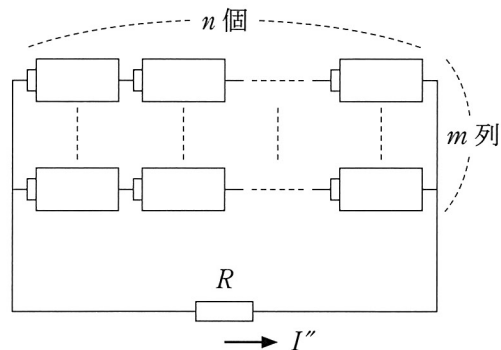


図 4

問 2 図 3 のように同じ電池 m 個を並列に連結した場合，抵抗 R に流れる電流 I' を求めよ。

問 3 図 4 のように同じ電池 n 個を直列に連結したものをさらに m 列並列に連結した。この場合の抵抗 R に流れる電流 I'' を求めよ。

問 4 問 3 の状況において，抵抗 R における消費電力が最大となる抵抗値 R を求めよ。また，その消費電力の最大値 P_{\max} を求めよ。 E ， m ， n ， r のうち必要な記号を使って表せ。

次に図5のような電流-電圧特性をもつダイオードを含んだ回路について考える。

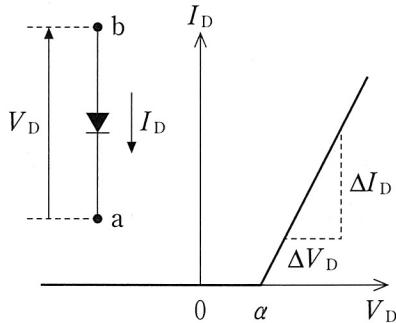


図5

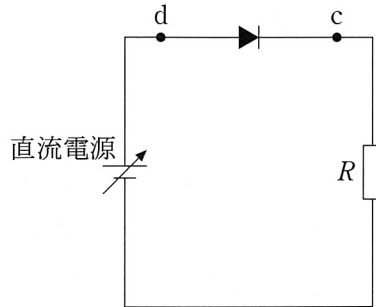


図6

点aに対する点bの電圧を V_D 、点bから点aに向かって流れる電流を I_D とすると、図5からこのダイオードの電流-電圧特性は V_D の値が正の定数 α を境に変化することがわかる。 $V_D \leq \alpha$ の範囲では I_D はゼロを示し、また $V_D > \alpha$ の範囲では I_D は正の値を示す。 $V_D > \alpha$ の範囲において電流および電圧の変化をそれぞれ ΔI_D 、 ΔV_D とすると

$$\frac{\Delta I_D}{\Delta V_D} = \frac{1}{r_3}$$

のような比例関係が成立している(r_3 は正の定数)。このダイオードに内部抵抗がゼロで電圧を変えられる直流電源と抵抗値 R の抵抗を組み合わせると図6のような回路を作った。導線の抵抗は無視できるとする。以下の問題に答えよ。

問5 直流電源の電圧の値 E' が $E' \leq \alpha$ の範囲にあるとき、点cに対する点dの電圧 V_{cd} を求めよ。

問6 E' が $E' > \alpha$ の範囲にあるとき、点cに対する点dの電圧 V'_{cd} を求めよ。 α 、 E' 、 R 、 r_3 を使って表せ。

問7 E' が $E' > \alpha$ の範囲にあるとき、ダイオードで消費される電力 P_D を α 、 E' 、 R 、 r_3 を使って表せ。

次に図5と同じダイオードを，内部抵抗ゼロの交流電源，抵抗値 R の抵抗，静電容量 C のコンデンサー，スイッチと組み合わせて図7のような回路を作った。はじめスイッチは開いており，コンデンサーは充電されていない。交流電源によって点 e に対する点 f の電圧は周期を T とすると時間 t の関数として $V_{ef} = V_0 \sin(2\pi t/T)$ のように時間変化する。以下の問題ではダイオードの電流-電圧特性を表す定数 α および r_3 がそれぞれ $\alpha = 0$ ， $r_3 = 0$ と近似できるとする。この場合，ダイオードは電圧が $V_D > 0$ のときは抵抗値がゼロ， $V_D \leq 0$ のときは無限大の抵抗値を示す素子と考えて良い。導線の抵抗は無視できるとして，以下の問題に答えよ。

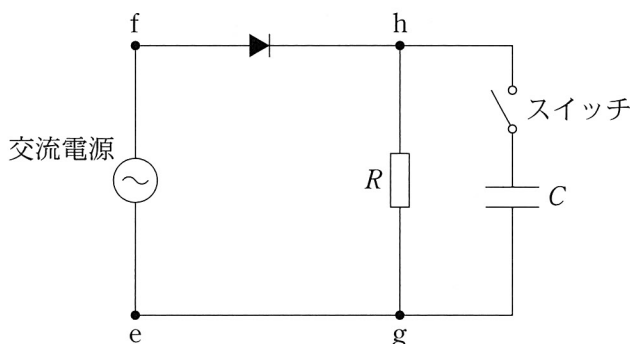


図7

問8 スイッチが開いているとき，点 g に対する点 h の電圧 V_{gh} の時間変化を電圧-時間 ($V-t$) グラフで示せ。

問9 次に時刻 $t = 0$ でスイッチを閉じた。点 g に対する点 h の電圧 V'_{gh} の時間変化の概形を $V-t$ グラフに示せ。さらにコンデンサーの静電容量 C を大きくしたり小さくしたりすると，どちらの場合も V'_{gh} の $V-t$ グラフに変化が見られた。どのように変化するかを定性的に説明せよ。なお本問題では電圧の時間変化を式で示す必要は無い。