

(平 31 理物後)

小 論 文

※末尾に問題訂正あり

(問題部分は 1 ～ 4 ページ)

・ ページ番号のついていない白紙は下書き用紙である。

注意 解答はすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。

小論文 400 点

I 風の影響がない状態での雨粒の運動について、以下の設問に答えなさい。問題文中にない物理量については、各自で定義してから用いなさい。(配点 130 点)

問 1 雨粒が初速度 0 で地上 1.0 km の高さから自由落下する場合を考える。空気抵抗がはたらかないと仮定すると、地上付近での落下する速さはどれくらいになるか、その値を有効数字 2 桁で求めなさい。

問 2 空気中をゆっくり動く半径 R の球状の物体には、速さ v に比例する大きさ $6\pi Rbv$ の空気抵抗がはたらくことが知られている。ここで b は定数であり、常温、常圧の下で $b = 2.0 \times 10^{-5} \text{ N s/m}^2$ とする。半径 0.50 mm の球状の雨粒が、重力に加えて速さに比例する空気抵抗を受けながら十分に高い場所から落ちてくると仮定すると、地上付近での落下する速さはどれくらいになるか、その値を求めなさい。

問 3 半径 0.50 mm 程度の雨粒の地上付近での落下する速さは、観測結果からおよそ数 m/s であることが知られている。雨粒の落下する速さを測定するにはどのような実験をすればよいか、具体的な実験方法を考えて説明しなさい。

問 4 問 3 で与えられた観測結果(数 m/s)より、地上付近での雨粒の落下する速さは、問 2 で仮定した速さに比例する空気抵抗が雨粒にはたらいっているという考えでは説明できないことがわかる。この原因は、半径 0.50 mm 程度の雨粒では速さが十分に大きくなると、速さの 2 乗に比例する空気抵抗が雨粒にはたらくようになるからである。雨粒の速さと空気抵抗の大きさの関係をあらわすグラフを描き、問 2 で求めた落下する速さと問 3 で与えられた観測結果の違いを説明しなさい。ただし、グラフの横軸は雨粒の速さ、縦軸は空気抵抗の大きさとしなさい。

II 図のように、電気容量 C のコンデンサーと自己インダクタンス L のコイルを、開いた状態のスイッチ S に接続した。この状態で、点 O を基準とする点 P の電位は $V_0 > 0$ であった。時刻 $t = 0$ にスイッチを閉じた後、点 O を基準とする点 P の時刻 t での電位を $V(t)$ 、回路に流れる電流を $I(t)$ で表す。以下の設問に答えなさい。ただし、図の矢印の向きを電流の正の向きとし、回路中の電気抵抗は無視できるものとする。(配点 140 点)

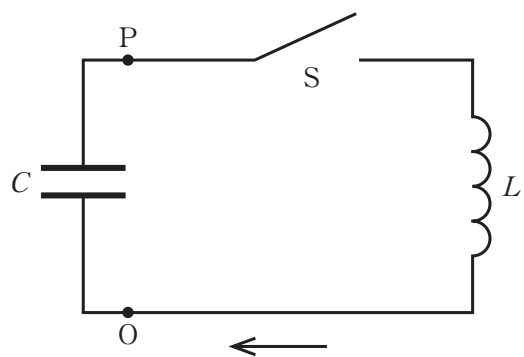
問 1 スイッチを閉じる前に、コンデンサーに蓄えられていた電荷とエネルギーを求めなさい。

問 2 コンデンサーの極板間の電位差に着目し、スイッチを閉じた後の、時刻 t から $t + \Delta t$ までの間について考える。 $V(t)$ および $V(t + \Delta t)$ と $I(t)$ の間に成り立つ関係を導きなさい。ただし、 Δt は十分に小さな時間間隔であるとし、この間に回路に流れる電流は一定の値 $I(t)$ であると考ええる。

問 3 コイルに生じる誘導起電力に着目し、スイッチを閉じた後の、時刻 t から $t + \Delta t$ までの間について考える。 $I(t)$ および $I(t + \Delta t)$ と $V(t)$ の間に成り立つ関係を導きなさい。ただし、 Δt は十分に小さな時間間隔であるとし、この間に点 P の電位は一定の値 $V(t)$ であると考ええる。

問 4 時刻 t から $t + \Delta t$ の間に、コンデンサーに蓄えられたエネルギーがどれだけ変化したか求めなさい。また、時刻 t から $t + \Delta t$ の間に、コイルに蓄えられたエネルギーがどれだけ変化したか求めなさい。これらのエネルギー変化の間に成り立つ関係を説明しなさい。

問 5 時刻 $t > 0$ では、ふたつの定数 A と ω を用い、電流を $I(t) = A \sin \omega t$ と表すことができる。問 3 で求めた関係について Δt を限りなく 0 に近づけ、 $V(t)$ を表す式を求めなさい。次に、問 2 で求めた関係について Δt を限りなく 0 に近づけ、 A と ω を表す式を求めなさい。また、電流 $I(t)$ の時間変化をグラフで表しなさい。



Ⅲ 水素原子の線スペクトルは 656 nm, 486 nm, 434 nm などの特定の波長をもち、これらの間に一定の法則があることがバルマーによって示された。この事実を質量 m の電子が原子核のまわりを半径 r , 速さ v で等速円運動する原子モデルから説明してみよう。以下の設問に答えなさい。問題文中にない物理量については、各自で定義してから用いなさい。(配点 130 点)

問 1 原子核と電子の間にはたらくクーロン力は電子の等速円運動の向心力に等しい。このことから電子の力学的エネルギーが r に反比例することを示しなさい。

問 2 ボーアは量子条件

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad (1)$$

が満たされれば安定な状態が保たれると仮定した。ここで n は量子数, h はプランク定数である。式(1)の条件を用いて円軌道の半径 r が n の 2 乗に比例することを示しなさい。また, 安定な状態の電子の力学的エネルギーが n の 2 乗に反比例することを示しなさい。

問 3 バルマーは線スペクトルの波長 λ と量子数 n が

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 3, 4, 5, \dots) \quad (2)$$

を満たすことを示した。 R はリュドベリ定数である。光子のエネルギーと波長を考え, 問 2 で求めた安定状態の力学的エネルギーを用いて式(2)を説明しなさい。また, 観測された波長が式(2)を満たすことを確かめ, R の値を有効数字 2 桁で求めなさい。

(平 3 1 後)

問 題 訂 正

小論文（理学部物理学科）

訂正箇所	4 ページ 大問Ⅲ 問 3 下から 2 行目
誤	また、 <u>観測された波長</u> が式(2)を...
正	また、 <u>線スペクトルの波長（$\lambda = 656$ nm, 486 nm, 434 nm）</u> が式(2)を...