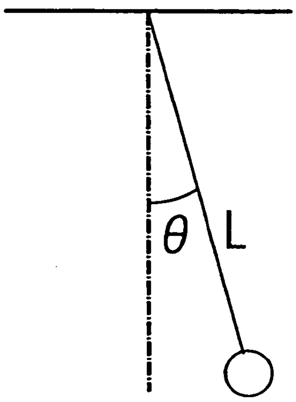
Ⅱ　物理学

以下の３問（Ⅱ－１，Ⅱ－２，Ⅱ－３）において，Ⅱ－１は必答とし，Ⅱ－２，Ⅱ－３のうち１問を選択し，解答しなさい．

Ⅱ－１（必答）



質量 m，半径 a の球体を重さが無視できる長さ L の糸につるし，単振子として粘性をもつ空気中で振動させるとき，どのような振動をするか．以下の問題にしたがって求めなさい．ただし，球体は Stokes の法則にしたがい速度 v に比例する抵抗力 αv を受けるものとする．また，球の回転は考えないものとする．

問題１　振れ角を θ（鉛直軸からの角），重力加速度を g として，球体の運動方程式を書きなさい．

問題２　振動は微小なものとして，次の問いにしたがってその解を求めなさい．ただし，空気の抵抗は大きくないものとする．

問１　A を任意の定数として，$\theta=Ae^{pt}$ とおき，運動方程式を p に関する代数方程式として表しなさい．

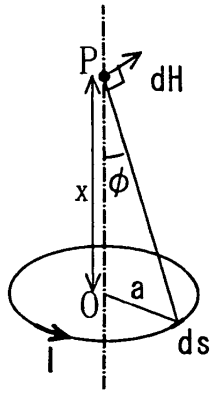
問２　問１で得られた代数方程式の根を求め，空気抵抗が大きくない場合について θ の一般解を求めなさい．

問３　初期条件を初めの振れ角 θ_0，初速度を０として，θ を求めなさい．

問題３　振動の周期 T を求め，時間が T だけ進むとき振れ角はどれだけ変化するかを求め，振子がどのような振動をするか述べなさい．

Ⅱ－２（選択）

問題１　半径 a の円形導線に円電流 I が流れているとき，中心軸上で中心 O より x の距離にある点 P での磁場を次の問いにしたがって求めなさい．

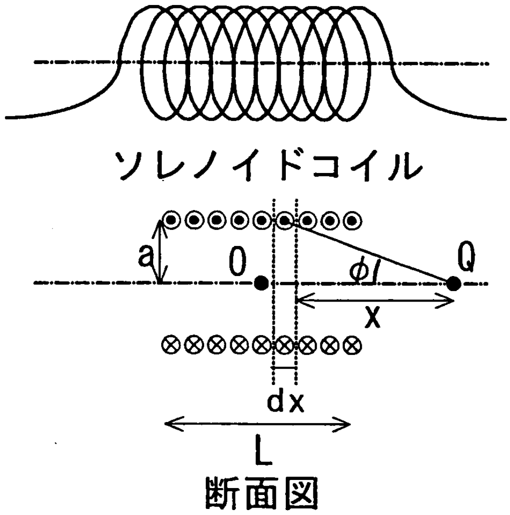


問１　円形導線上の微小線要素 ds によって点 P に生じる磁場 dH を求めなさい．

問２　dH を円電流に対して水平な成分と垂直な成分とに分離して表しなさい．

問３　円電流全体から点 P に生ずる磁場を求めなさい．

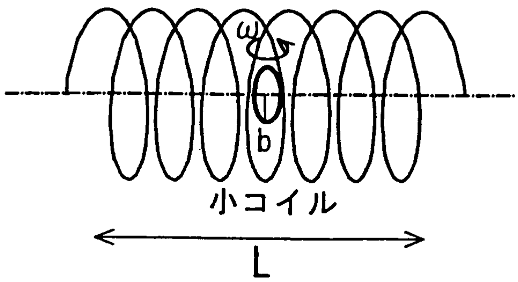
問題２　半径 a，長さ L の軸に直角に巻いた導線で作られている，単位長さあたりの巻数が n であるソレノイドコイル（単位長さあたり n 個の円電流があると考える）に電流 I を流すとき，中心軸上にある点 Q に生じる磁場を次の問いにしたがって求めなさい．



問１　点 Q から x の距離にあるソレノイドコイルの軸に沿う微小部分 dx による点 Q での磁場 dH を問題１の結果を用いて求めなさい．

問２　ソレノイドコイル全体により点 Q に生じる磁場 H を求めなさい．ただし，ソレノイドコイルの左端および右端と点 Q とを結ぶ直線が中心軸となす角をそれぞれ ϕ_1，ϕ_2 とする．

問題３　半径 a，長さ L，巻数 n のソレノイドコイルに電流 I を流し，その中心軸上の真中に半径 b，巻数 N の小円形コイルをコイル面が中心軸と垂直になるように置く．中心軸に垂直な軸のまわりを角速度 ω で回転させたとき，小コイルに発生する起電力を次の問いにしたがって求めなさい．ただし，小コイルの面が回転する範囲では磁場は一様とみなせるものとする．



問１　ソレノイドコイル中心軸上の真中での磁場を問題２の結果を用いて求めなさい．

問２　小コイル面の法線と中心軸上の磁場とのなす角が θ である時の小コイルの面に鎖交する磁束を求めなさい．

問３　得られた鎖交する磁束から起電力を求めなさい．

II－3（選択）

理想気体の状態方程式は次式であらわされる．

$$PV = nRT \qquad (1)$$

ここで，Pは気体の圧力，Vは体積，Tは絶対温度，nはモル数，Rは気体定数を示す．

実在する気体に対する近似式，van der Waals の状態方程式が次式で与えられるとして，以下の問題に答えなさい．

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb) = nRT \qquad (2)$$

ここで，a，bは定数とする．ただし，定積モル比熱をC_V，１モルあたりの内部エネルギーをUとして解答しなさい．

問題１　以下の問いに答えなさい．

問１　状態方程式が，Vのみの関数$f(V)$を用いて，$P = f(V)T$であらわされる気体について，次の(3)式が導かれるとき，内部エネルギーが体積Vに無関係であることを示しなさい．

$$\left(\frac{\partial U}{\partial V}\right)_T = T\left(\frac{\partial P}{\partial T}\right)_V - P \qquad (3)$$

問２　気体の定積モル比熱は温度だけの関数であることを示すにはどのような式が成り立つことを示せばよいか，式を書きなさい．

問３　定積モル比熱が $C_V = (\partial U / \partial T)_V$ とあらわされるとき，van der Waals 気体の定積モル比熱は温度だけの関数であることを示しなさい．

問題２　van der Waals 気体の１モルあたりの内部エネルギーはどのようにあらわされるか示しなさい．

問題３　van der Waals 気体の断熱準静的変化では次式がなりたつことを証明しなさい．

$$\left(P + \frac{n^2 a}{V^2}\right)(V - nb)^{\gamma} = \text{定数}$$

ただし，$\gamma = (C_V + R)/C_V$ とする．