

## 物 理 (その1)

- 1 小さな球形物体(小球)が持っている電荷の大きさを求めるために、以下のような実験を行った。

空気や水のような流体中を物体が移動するとき、物体はその大きさや速さがきわめて小さいときには速さに比例した抵抗力を流体から受ける。しかし物体の速さや物体の大きさがある限度を超えて大きくなると、流体から受ける抵抗力は速さの2乗に比例する。以下の実験において物体が空気から受ける抵抗力はまさにこの場合であった。

最初電場のない空气中で小球を落下させた。小球は短時間の後に等速度で落下を続けた。次に同じ小球を電場のある空气中に置いたところ電場と逆方向に移動した。この場合も短時間の後に等速度で移動を続けた。

小球は一様な密度  $d$  を持つ。重力加速度の大きさを  $g$  としたとき、以下の問いに答えなさい。なお小球が空気から受ける浮力は小さいので無視して良い。「計算」欄に計算も記しなさい。

- (1) この実験では、上述のように空气中を移動している小球が空気から受ける抵抗力  $F$  は小球の速さ  $v$  の2乗に比例する。 $F$  はそのほかの物理量にも関係する。すなわち空気の密度  $d_0$  と、小球の半径  $R$  に依存する。抵抗力  $F$  がこれらの量のりい乗の積で与えられると仮定する。すなわち

$$F = kd_0^{\alpha}R^{\beta}v^2$$

とする。両辺の単位が等しいことを使って  $\alpha$ ,  $\beta$  の値を決めなさい。ただし  $k$  は単位を持たない一定の数値である。

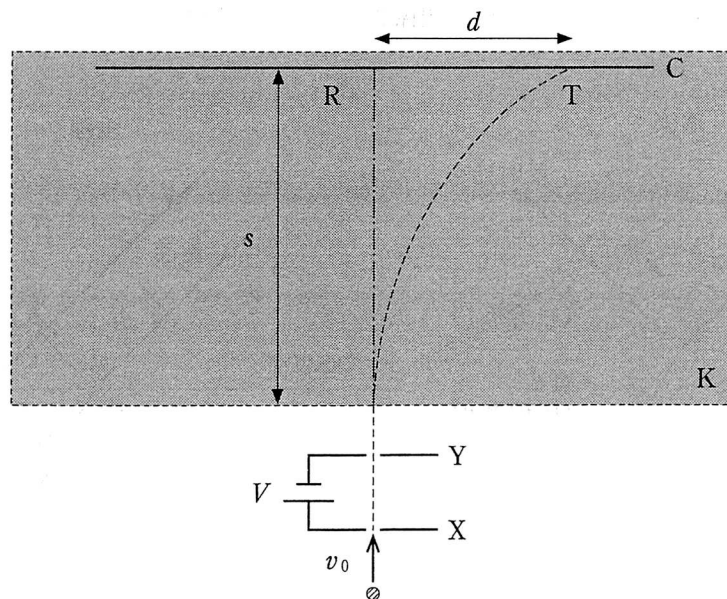
- (2) 電場のない空气中で小球を落下させて速さが  $v$  になったとき、小球に生じた下向き加速度はいくらか。
- (3) 小球の落下速度はたちまちのうちに一定となった。この速度の大きさを測定したところ  $v_1$  であった。小球の半径  $R$  はいくらか。

次に同じ小球を鉛直下向きで大きさが  $E$  の一様な電場のある空气中に置いたところ、小球は電場と逆向き、すなわち上方に移動した。

- (4) 小球が持っている電荷の正負を答えよ。
- (5) この場合も小球の上昇速度はたちまちのうちに一定の大きさ  $v_2$  となった。小球が持っている電荷の大きさを  $k$ ,  $d_0$ ,  $v_1$ ,  $v_2$ ,  $E$ ,  $R$  を用いて表しなさい。

2 図のように真空中にお互いが平行な平面電極板 X, Y があり, 極板間に大きさ  $V$  の電圧がか  
けられている。陽極板 X には小孔が開けられており, ここを通過して質量  $m$ , 電荷  $q$  を持つ陽イ  
オンが速度  $v_0$  で極板に垂直に入射し, 陰極板 Y に開けられた小孔を通過して外に出た。その  
後, 陽イオンは磁束密度が一様でその大きさが  $B_0$  の空間 K (図の影が付けられた長方形の領  
域。その一辺は極板 X 並びに Y に平行である) に入った。この空間 K で, 陽イオンは図に示す  
平面内で円運動を行い, 極板 X 並びに Y に平行に設置されたスクリーン C 上の点 T に衝突し  
た。陽イオンが入射した地点からスクリーンまでの距離は  $s$  である。重力と地磁気の影響が無視  
できるものとして以下の問いに答えなさい。「計算」欄に計算も記しなさい。

- (1) 陰極板 Y の小孔を通過する際の陽イオンの速さはいくらか。
- (2) 空間 K 内における磁束密度の向きを答えよ。
- (3) 空間 K 内で陽イオンが行った円運動の半径を求めよ。
- (4) 極板 X 及び Y に開けられた小孔を結ぶ線分を延長するとスクリーン C と点 R で交わる。  
点 R と, 陽イオンが衝突した地点 T の距離  $d$  を, (3) で求めた陽イオンの軌道半径を  $r$  として,  
 $r$  と  $s$  を用いて表しなさい。ただし  $s < r$  であった。
- (5)  $v_0 = 0$ , すなわち陽極板 X に開けられた小孔で静止していた陽イオンが加速され, かつ陽  
イオンが行った円運動の半径  $r$  が  $s$  より大きい場合, 陽イオンの電荷の大きさと質量の比  
 $\frac{\text{電荷の大きさ}}{\text{質量}}$  はいくらか。  $V, B_0, s, d$  を用いて表しなさい。



## 物 理 (その2)

3 以下の文中の空欄に、適する数式あるいは等式を解答欄に記しなさい。「計算」欄に計算も記しなさい。

(1) 図1のように、光が空気(屈折率は1とする)から屈折率  $n$  の媒質に入射するとき、光は境界面でその一部が反射し、残りは屈折して進む。光を平面波とみなせば、光の波面は進行方向に垂直である。

(a) このとき入射光、反射光および屈折光は、入射光が境界面に達した点における境界面の垂線と同一平面上にあり、入射角  $\theta_1$  と反射角  $\theta'_1$  の間には 1 の関係がある。また入射角  $\theta_1$ 、屈折角  $\theta_2$  と屈折率の間には関係式 2 が成り立つ。

図2のように、光が空気から屈折率  $n$  の媒質に入射する場合を考える。

(b) 光の波面が境界面の  $B_1$  に達したとき、光は空气中で波面  $A_1B_1$  を作っている。この  $A_1$  にあった波面が時間  $t$  経過後に境界面の  $A_2$  に達したとき、光は媒質中で波面  $A_2B_2$  を作っている。空气中での光の速さを  $c$ 、媒質中での光の速さを  $c'$  としたとき  $c$ 、 $c'$  および  $t$  を用いると、 $A_1A_2 =$  3 ,  $B_1B_2 =$  4 となる。

一方、入射角  $\theta_1$  を用いれば  $A_1A_2 = B_1A_2 \times$  5 と表すことができ、また屈折角  $\theta_2$  を用いれば  $B_1B_2 = B_1A_2 \times$  6 となる。

以上より、 $n$  と  $c$ 、 $c'$  の間には関係式 7 が成り立つ。

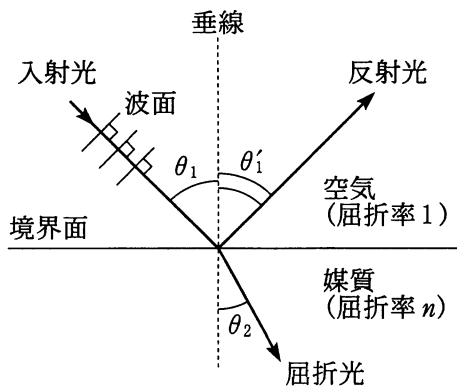


図1

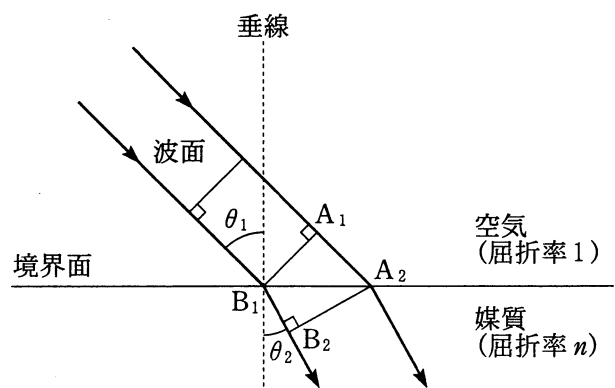


図2

(2) 図3のように、水面のQ点における光の屈折を考える。入射角と屈折角をそれぞれ $\theta_1$ 、 $\theta_2$ とする。また、水中のP点から水面への垂線PNと、EQの延長線との交点をP'、 $NP = d$ 、 $NP' = d'$ と置く。

(a)  $d'$ は $\theta_1$ 、 $\theta_2$ および $d$ を用いて  と表すことができる。さらに水の屈折率 $n$ を使ってこの式を変形すると、 は $\theta_1$ 、 $\theta_2$ 、 $d$ および $n$ を用いて  とも表現できる。

(b) 次に、水深 $d$ のP点に小物体を置き、E点から見るとする。P点から出た光はQ点で屈折しE点の目に入る。このため、物体は水深 $d'$ のP'点にあるように見える。E点をP点の真上に近づけると、 の式より見かけの深さ $d'$ は、 となる。

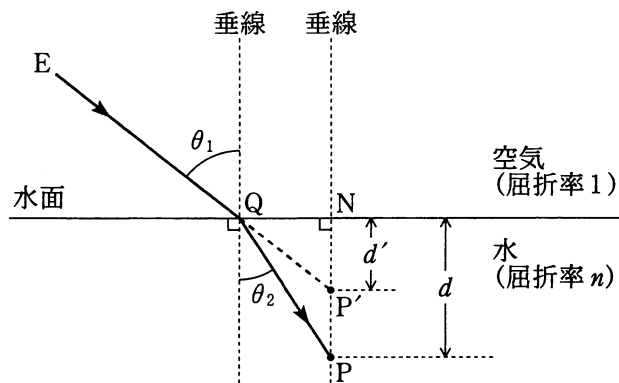


図3

4 図1のように、抵抗値  $R$  の抵抗、電気容量  $C$  のコンデンサー、及び電気抵抗が無視できる自己インダクタンス  $L$  のコイルを直列に接続し、交流電源につないだ回路がある。

回路を流れる電流  $I$  が時刻  $t$  において  $I_0 \sin \omega t$  と表された。ただし、 $I_0$  及び  $\omega$  はそれぞれ電流の最大値及び交流の角周波数である。このとき以下の問いに答えなさい。

- (1) コンデンサーにかかる電圧  $V_C$  とコイルにかかる電圧  $V_L$  を求めよ。またコイルで消費される電力はいくらか。
- (2) 抵抗にかかる電圧を  $V_R$  としたとき、 $V_R + V_L + V_C$  は  $A \sin \omega t + B \cos \omega t$  の形で表すことができる。この係数  $A$ 、 $B$  を  $R$ 、 $I_0$ 、 $\omega$ 、 $L$ 、 $C$  から必要なものを用いて表せ。
- (3) 交流電圧の最大値を  $V_0$  としたとき  $V_0 = ZI_0$  として定義できるインピーダンス  $Z$  を求めなさい。

図2のように、電気容量  $C$  のコンデンサーと、電気抵抗が無視できる自己インダクタンス  $L$  のコイルを並列に接続し、交流電源につないだ。電源の電圧が時刻  $t$  において  $V = V_1 \cos \omega t$  と表された。ただし、 $V_1$  及び  $\omega$  はそれぞれ電圧の最大値及び交流の角周波数である。

- (4) このとき、コイルを流れる電流  $I_L$  と電源を流れる電流  $I$  を求めなさい。
- (5) 電源を流れる電流  $I$  が0となる交流の振動数を求めなさい。

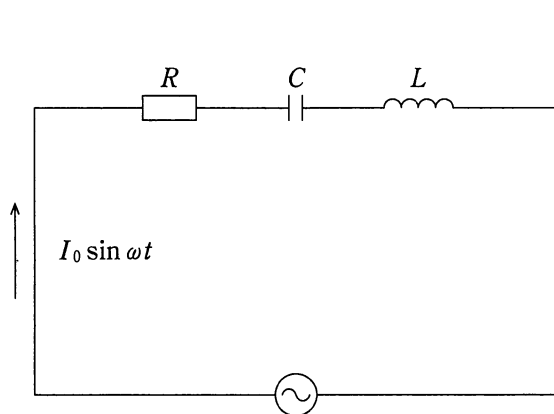


図1

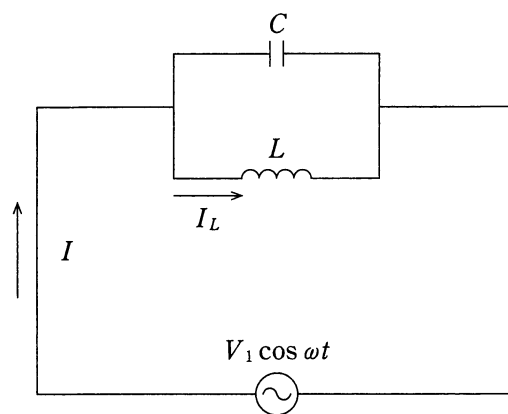


図2