

# 物 理

解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I 以下の(1)～(5)の間に答えよ。

(1) 放射性物質から放射された  $\beta$  線が金属板に衝突した。このときおもに発生する電磁波は以下のどれか。番号で答えよ。

- ① 遠赤外線            ② 赤外線            ③ 可視光線  
④ 紫外線            ⑤ X 線

(2) 以下の①～⑤の記述で間違いと考えられるものがあれば番号で答えよ。無い場合は、「無し」と記入せよ。

- ① 多くの物質では、融解熱より蒸発熱の方が大きい。  
② 氷を固体のまま真空中に保持すると体積が減少していく。  
③ 同一物質では、気体分子の平均速度は低温よりも高温で大きい。  
④ 断熱膨張により真空容器中に吹き出した理想気体の温度は変化しない。  
⑤ 空気が媒質の音波では、空気の疎密の変化に対応して圧力と温度が変化する。

(3) 図1のように、半径  $2a$ 、質量  $M$  の一様な大円板から直径  $2a$  の小円板をくり抜き、小円板の直径が大円板の半径  $OA$  に一致するように接着した。全体の重心位置を求めよ。

(4) ふだん実感することはあまりないが、われわれは地面や建物の床から重力と同じ大きさの垂直抗力を受けている。垂直抗力が存在することを運動の法則に基づいて説明せよ。

(5) 図2(a)のように、一端を固定したばねの他端におもりをつけて水平でなめらかな台の上に置いた。おもりの位置  $x$  が図2(b)のように変化したときのおもりの速度  $v$  を図示せよ。

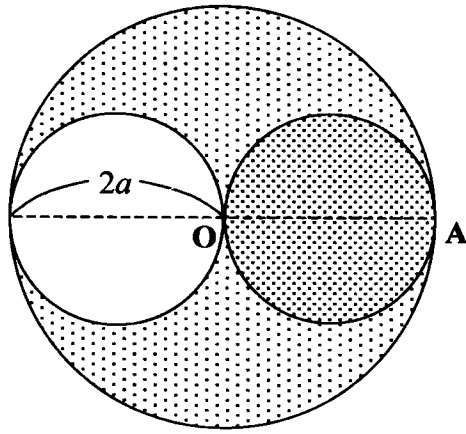


圖 1

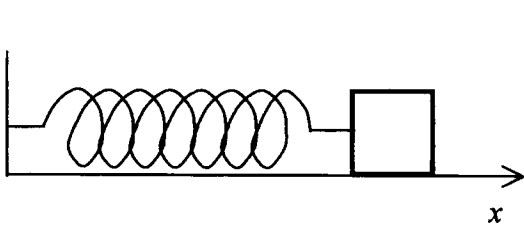


圖 2 (a)

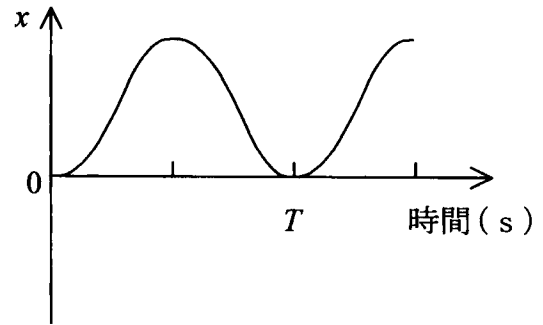


圖 2 (b)

II 2枚の正方形金属板を使って平行平板コンデンサーを作った。図1のように、電極Aおよび固定された電極Bの向かい合う辺の間には摩擦のない回転軸を取り付けて支点とした。反対側の辺の中央には、ばね定数  $k$  のばねをはさんで両端を両方の電極面に固定した。電極Bは接地されている。

電極Aに電荷が与えられると、電極Bとの間にクーロン力が働き電極Aは傾く。傾きを電気信号に変換するため、電極Aに平面鏡を貼り付けてレーザー光（平行光束）を反射させ、2個の光電変換素子 a, b を並べた受光面に入射させた。光電素子は入射光量に比例した電流  $I_a, I_b$  を出力する。ここでは、2つの電流出力の差  $I$  ( $I = I_b - I_a$ ) を測定した。電極Aの電荷が0のとき、AとBは平行で  $I = 0$  となるように調整されている。電極および平面鏡の厚みは無視できる。

なお、装置全体は真空中に置かれ、無重力の下で実験を行う。正方形電極の面積を  $S$ 、平行なときの極板間隔を  $d$ 、真空誘電率を  $\epsilon_0$  とする。以下の問において、ばねが縮む向きを電極Aの傾き  $\theta$  の正の向きとし、 $\theta$  が十分小さいので、 $I$  は  $\theta$  に比例し、電極間に働くクーロン力は平行平板コンデンサーの場合と同じとみなしてよい。また、 $\theta \approx \sin \theta \approx \tan \theta$  の近似がなりたつとしてよい。

(1) まず、電荷量と電極間に働く力の関係を求める。

電極Aに電荷  $Q$  を与えると、電極Bには電荷  $-Q$  が誘導される。電極表面の電荷  $Q, -Q$  は一様に分布するものとみなしてよい。電極間の引力  $F$  は  $F = \frac{Q^2}{2\epsilon_0 S}$  で表されることを導きなさい。

(2) つぎに、この装置における  $Q$  と  $I$  の関係を求めるために、電極A, B間に起電力  $V_0$  の電池を接続したところ、 $I = I_0$  でつり合うことが分かった。

① このときの電極Aの傾きを、 $S, d, \epsilon_0, k, V_0$  で表しなさい。

②  $I$  と  $\theta$  との比例関係を  $I = a\theta$  と表すとき、比例係数  $a$  を  $S, d, \epsilon_0, k, V_0, I_0$  で表しなさい。

③  $I$  と  $Q$  の関係を  $S, d, \epsilon_0, V_0, I_0$  を使って表しなさい。

(3) 続いて、 $Q = 0$  で静止状態の電極Aに電荷銃から電荷を打ち込んだ。時刻  $0-T$  の間は負の一定電流を打ち込み、 $T-3T$  の間はこれと異なる一定電流を打ち込んだ。 $I$  ( $I = I_b - I_a$ ) は、図2のように時間とともに曲線的に変化し、時刻  $T$  において  $I_p$  に達した後、時刻  $3T$  で0になった。

電荷銃は正負両方の電荷を打ち込むことができる。また、ばねの力と電極間のクーロン力がつり合いを保ったまま  $I$  は変化しているものとする。

①  $I$  が時間とともに、直線的ではなく曲線的に変化した理由を簡潔に述べよ。

②  $0-T$  および  $T-3T$  間における電荷銃からの電流を求めよ。

③  $3T$  に達したところで電荷銃の電流を  $T-3T$  間の2倍にした。 $3T-4T$  間の  $I$  を図示せよ。

- (4) 実際に、 $S = 100\text{cm}^2$ 、 $d = 1.0\text{cm}$ 、 $k = 10.0\text{N/m}$  とし、 $Q = 0$  の電極 A に  $1.0\text{nA}$  の電流を 5.0 秒間打ち込んだとき、レーザー光の反射角の変化量はいくらになるか。  
 $\epsilon_0 = 9.0 \times 10^{-12}\text{C}^2/\text{Nm}^2$  とする。

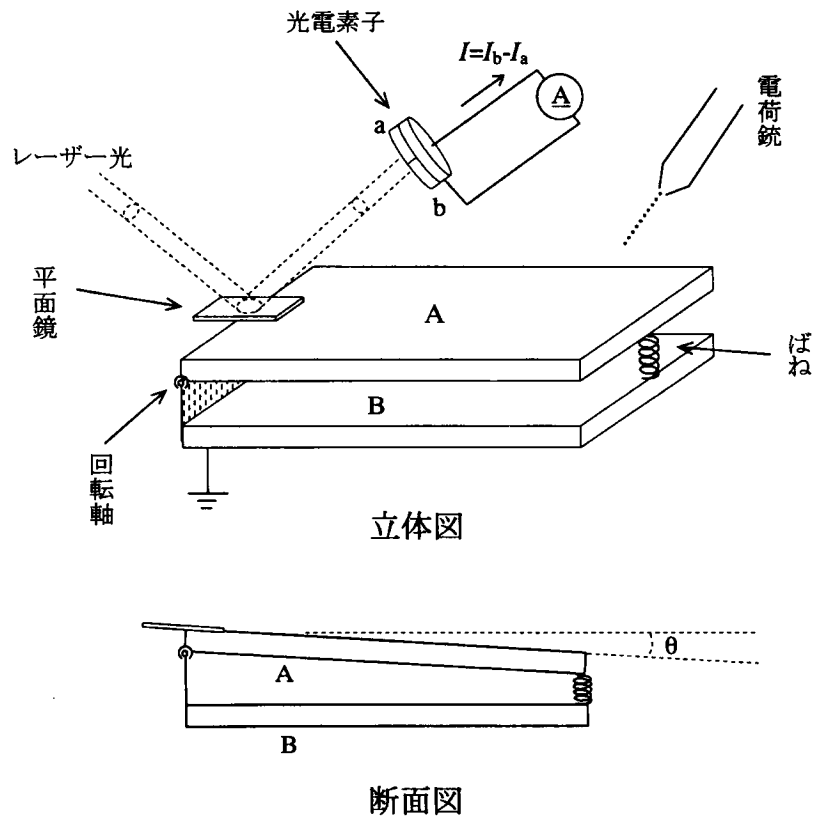


図 1

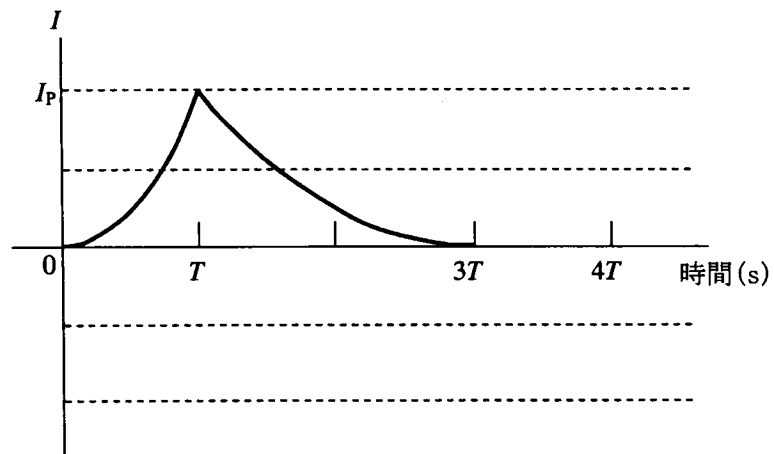


図 2

Ⅲ 次の文章の 1 から 3 に適切な数式を入れ、問1から問4に答えよ。

電場もしくは磁場中における帯電した油滴の運動から、油滴の電荷を求める実験について考えよう。

まずはじめに、電場  $\vec{E}$  中での運動を考えよう。重力加速度を  $\vec{g}$ 、油滴の質量を  $m$ 、速度を  $\vec{v}$ 、加速度を  $\vec{a}$ 、電荷を  $q$  とすれば、真空中における油滴の運動方程式は、

$$m\vec{a} = \boxed{1} \quad (1)$$

となる。

問1 式(1)は、時間・空間的に変化する電場や重力中での油滴の運動を記述する方程式である。

しかしながら、油滴の質量が未知の場合、電場や重力の大きさを工夫して式(1)に従う油滴の運動を詳しく調べても油滴の電荷を求めることができない。この理由を説明せよ。

したがって、油滴の質量は別の方法で求める必要がある。油の密度  $\rho$  は簡単に測定できるので、油滴の質量は体積がわかれば求められる。油滴を球形と仮定すれば、体積は半径  $r$  から求められる。

空気抵抗をとまなう油滴の運動の観測により半径は求まる。 $\vec{E} = 0$  として、質量  $m$  の油滴が空气中で運動する場合の運動方程式は、空気抵抗を  $\vec{F}$ 、重力加速度を  $\vec{g}$ 、加速度を  $\vec{a}$  とすれば、

$$m\vec{a} = \boxed{2} \quad (2)$$

となる。油滴の速度が  $\vec{v}$  のとき、 $k$  は正の比例係数で、 $\vec{F} = -kr\vec{v}$  となることが知られている。式(2)をもとに油滴の運動を調べれば、油滴の半径を求めることができる。

重力  $\vec{g}$  の中で、半径  $r$ 、密度  $\rho$  の油滴が空気抵抗を受けたときの終端速度を  $\vec{v}_0$  とすれば、油滴の半径  $r$  は 3 である。ミリカンの油滴実験では、空気抵抗、電場および重力が油滴に作用する場合の運動を、同一油滴について条件を変えて2回計測することで、半径と電荷を連立方程式から求めている。

次に、磁場中での油滴の運動を解析しよう。右図のように、重力  $\vec{g} = (0, 0, -g)$  と磁場  $\vec{B} = (-B, 0, 0)$  中で油滴を落下させた。油滴は空気抵抗を受けて短時間で終端速度  $\vec{v}_T$  に達し、 $yz$  面内で  $-z$  軸と角度  $\theta$  をなす方向へ等速直線運動で落下した。

問2  $q$  および  $r$  を  $\theta, v_T, g, B, \rho, k$  を使って表せ。ただし、 $v_T = |\vec{v}_T|$  である。

問3 実験室で長時間安定に発生できる磁場の上限は 10T である。油滴の半径  $0.4\mu\text{m}$ 、密度  $0.92\text{g/cm}^3$ 、電荷  $1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ 、磁場 10T、重力加速度  $9.8\text{m/s}^2$  として、 $\theta$  をラジアン単位で求めよ。ただし、空気抵抗を表す比例係数を  $k = 3.4 \times 10^{-4}\text{N}\cdot\text{s/m}^2$  とする。

問4 磁場中で空気抵抗を伴う運動から油滴の電荷を求める実験の利点は、1回の計測で電荷が求まることである。しかしながら、この実験方法には重大な欠点がある。欠点について述べよ。

