

物 理

1 図のように、水平に支えられ、モーターによって中心のまわりに回転できる大きい円板の表面に、円板の中心を通る四角の小さな溝が掘られている。この溝の中で、一端を円板の中心に固定されたばね(ばね定数 k 、自然長 l_0) につなされた質量 M の小物体 A が、円板の中心から l_0 だけ離れた位置に置かれている。小物体 A の上には質量 m の小物体 B が乗っている。小物体 A と B の幅は、ともに溝の幅と同じであり、小物体 A と B は溝に沿って動くことができる。この状態から円板をまわし始め、その角速度 ω をゆるやかに増していった。以下の問いに答えよ。ただし、小物体 A と B の間の静止摩擦係数を μ 、重力加速度を g とする。ばねの質量は無視してよい。小物体 A と B の大きさは l_0 に比べて十分小さく、無視してよい。結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

- (1) 溝の側面はなめらかであるが、底面はなめらかではなく、底面と小物体 A の間の静止摩擦係数が μ_0 である場合を考える。円板の角速度が ω_1 になったとき小物体 A と B が一体となって溝の中をすべりだした。
- (a) ω_1 を、 l_0 、 g 、 μ_0 を用いて表せ。
- (b) 円板上に乗った観測者の立場で、すべりだす直前に小物体 A (下側の小物体) に働いているすべての力を、答案紙の図に書き込め。ただし、それぞれの力の向きを矢印で示し、大きさを l_0 、 M 、 m 、 g 、 μ_0 、 ω_1 の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 小物体が動きだすとき、小物体 A と B が一体のままである条件を、理由とともに、 μ と μ_0 を用いて表せ。

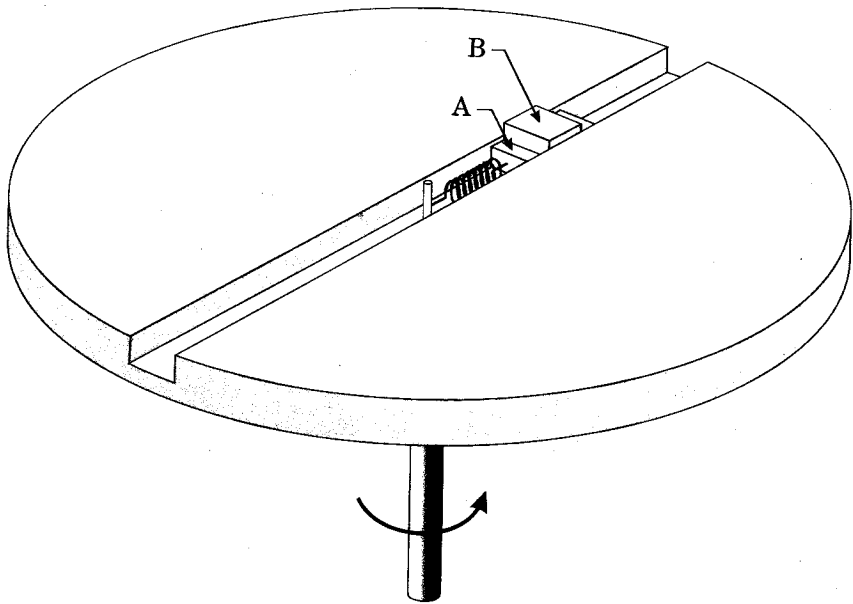
(2) 次に、溝の側面も底面もなめらかである場合を考える。円板の角速度が増すにつれてばねの伸びが増し、円板の角速度が ω_2 になったとき、小物体 B が小物体 A の上をすべりだして、飛び去り、小物体 A は溝の中で小さな振幅で振動を始めた。ただし、以下の問いでは、小物体 B がすべりだす直前は、小物体 A と B は溝の中で静止していたものとする。また、小物体 A が振動している間、角速度は ω_2 で変化しないものとする。

(a) 小物体 B が小物体 A の上をすべりだす直前のばねの伸びを、 k , M , m , μ , g を用いて表せ。

(b) ω_2 を、 k , l_0 , M , m , μ , g を用いて表せ。

(c) 小物体 A の振動の中心と円板の中心との距離を、 k , l_0 , M , ω_2 を用いて表せ。

(d) 小物体 A の振動の周期を、 k , M , ω_2 を用いて表せ。



2

電磁誘導の法則を自由電子に働くローレンツ力をもとに考えてみよう。図1のように、紙面に垂直に表から裏へ向かう磁束密度 B の一様な磁場中において、紙面に置かれた長さ d の直線状の導線 XY を考える。この導線を、紙面上で、導線 XY と直角の方向(図1の矢印の向き)に一定の速さ v で動かす。

- (1) このとき、導線内の自由電子にはローレンツ力が働く。その結果、 X 端と Y 端は帯電する。自由電子が多く集まり負に帯電するのは X 端と Y 端のどちらであるか答えよ。
- (2) 十分な時間がたつと、自由電子に働く力として、この帯電によって発生する電場からの力と、ローレンツ力が釣り合う。この二つの力のつり合いの式を書き、導線の XY 間に生じる起電力の大きさ V を求めよ。

ここで、紙面の上に静止している導体のレール WW' と ZZ' を考える。このレール WW' と ZZ' は平行で、距離 d だけ離れている。図2のように、上記の導線 XY をこのレールと直角に接するように置く。磁束密度 B の一様な磁場が、影の付いた部分だけにかかっているものとする。磁場のかかっている領域の外側にあるレールの端 WZ には、 R の抵抗と電気容量 C のコンデンサーが直列に接続されている。はじめコンデンサーには電荷が蓄えられていないものとする。この状態から、磁場中にある導線 XY を、レールと平行な矢印の向きに一定の速さ v で動かし始めた。この時、回路 $WXYZ$ には時間とともに変化する電流が流れる。レールと導線の抵抗、その間の接触抵抗、回路 $WXYZ$ の自己インダクタンス、導線 XY の質量は無視できるものとする。また、レールおよび磁場がかかっている領域は紙面の右側に十分に長くのびているものとする。

- (3) 回路 $WXYZ$ に生じる誘導起電力を、電磁誘導の法則から導き、問(2)で求めた導線 XY に生じる起電力と等しくなることを、導出の過程も省略しないで示せ。また、この起電力により回路 $WXYZ$ に流れる電流の向きを、 $X \rightarrow Y$ または、 $Y \rightarrow X$ の記号を用いて答えよ。

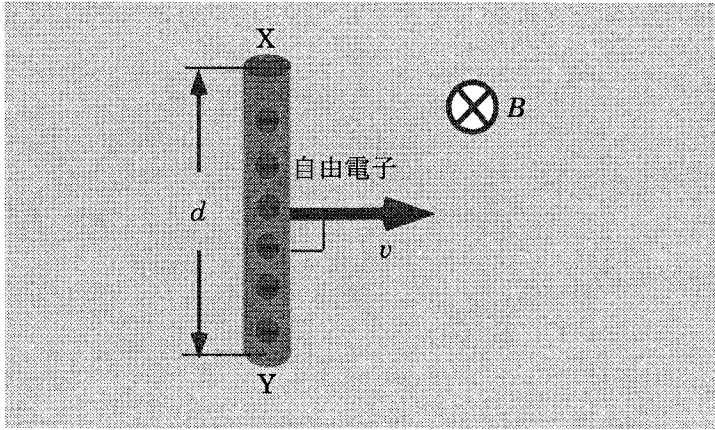


図 1

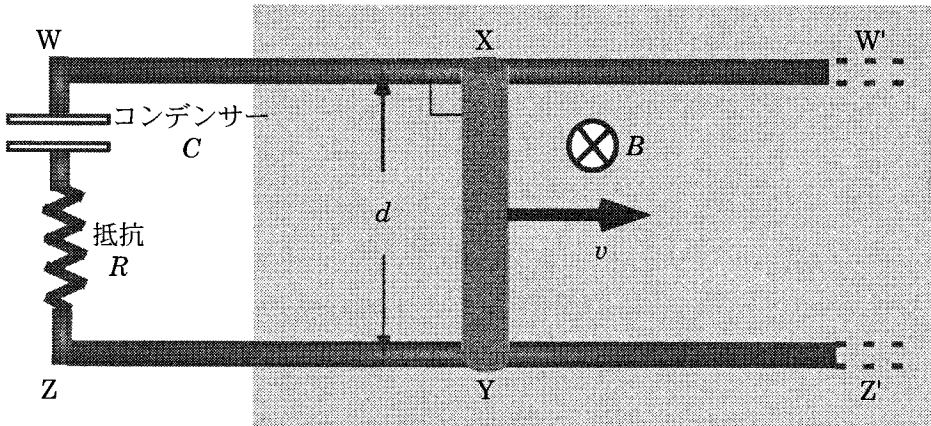


図 2

次に、回路 WXYZ の中にあるコンデンサーの充電過程について考えてみよう。

(4) 十分な時間がたち、回路 WXYZ には電流が流れなくなった。このとき、コンデンサーに蓄えられている電荷 Q を、 B 、 d 、 v 、 R 、 C の中から必要なものを用いて表せ。

(5) この充電過程で、導線 XY を動かす外力は、

$$W = C(vBd)^2$$

だけの仕事をしたことを、考え方とともに示せ。

(6) またこの過程において、抵抗 R で発生したジュール熱 W_J を、 B 、 d 、 v 、 R 、 C の中から必要なものを用いて表せ。考え方を示しながら答えを導け。

次に、図 2 と同じ回路を考えるが、こんどは導線 XY を、磁束密度 B の一様な磁場中でレールと平行に(紙面上左右に)、速さが時間 t とともに $v = v_0 \sin \omega t$ で変化するように振動させる。ただし、 $R \ll \frac{1}{\omega C}$ として、抵抗による電圧降下は無視できるものとする。

(7) 回路に流れる電流 I の実効値を、 B 、 d 、 C 、 v_0 、 ω を用いて表せ。

(8) 図 3 中の破線(-----)はコンデンサー両端の電圧 V を示している。このときコンデンサーに流れる電流 I の時間変化を答案紙のグラフの中に書き込め。縦軸には電流 I の最大値・最小値を書き入れること。また、この電流 I と電圧 V の位相の関係を述べよ。

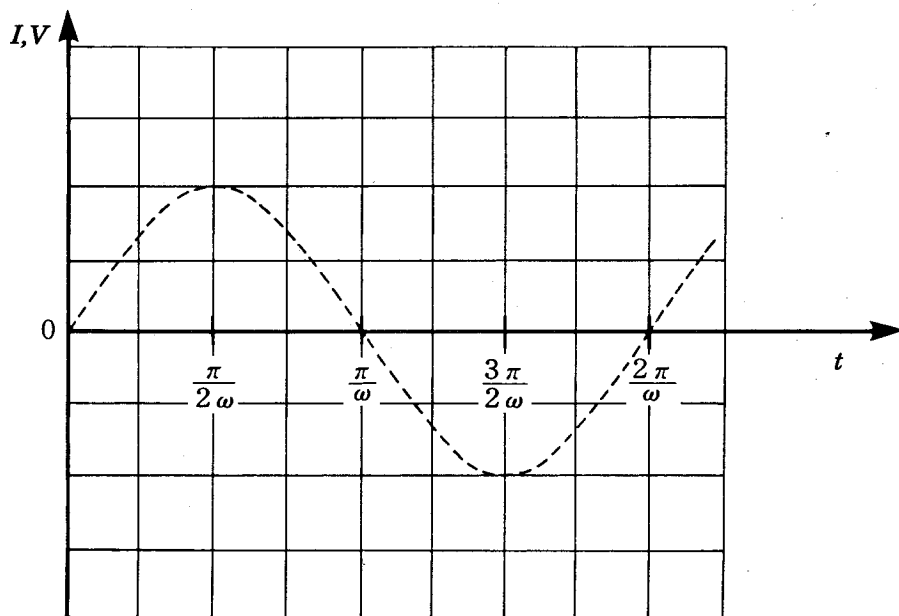


图 3

3

図1は、真空中で金属単結晶試料に $10 \sim 100 \text{ eV}$ 程度のエネルギーを持つ電子線を照射して、試料から反射される電子または放射される光を測定する実験装置である。装置には、試料に対して一定のエネルギーを持った電子線を照射する電子銃、反射された電子を検出する電子検出器、および放射された光の強さと波長を測定する分光器が取り付けられている。金属単結晶試料は任意の方向に回転できる。以下の問いに答えよ。結果だけでなく考え方や計算の過程も記せ。プランク定数を h 、真空中の光速を c 、電子の質量を m 、電気素量を $e (> 0)$ とする。

図2に示すように、金属単結晶では原子は規則正しく配列し、その原子面間隔が d であるとする。この原子面に対して、図に示すように角度 θ で入射した電子線の回折を考える。

- (1) 入射した電子線を波と考え、その波長を λ とする。エネルギーを失わずに図2のように反射した電子線が干渉して強め合う条件を、 λ 、 h 、 c 、 m 、 e 、 θ 、 d の中から必要なものを用いて表せ。ただし、電子線が金属単結晶中に入る時に受ける屈折の効果は無視せよ。

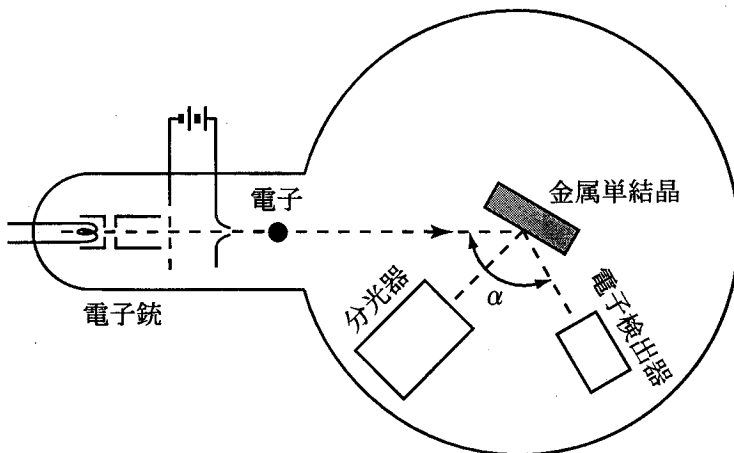


図1

- (2) 運動エネルギー E を持つ電子の波長 λ を、 E 、 h 、 c 、 m 、 e の中から必要なものを用いて表せ。
- (3) 図1の実験装置で、電子銃から試料に対して電圧 V_1 で加速した電子線を照射したところ、電子線と電子検出器のなす角度が α の時、強い電子線の反射が観測された。この電子線の回折に参与している最も小さな原子面間隔を d_α とする時、 d_α を V_1 、 h 、 c 、 m 、 e 、 α の中から必要なものを用いて表せ。
- (4) 問(3)で、 $\alpha = 120^\circ$ 、 $d_\alpha = 0.22 \text{ nm}$ の場合の入射電子の運動エネルギー E_e を、eV 単位で具体的に求めよ。ただし、プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 、光速 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電子の質量 $m = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ 、電気素量 $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ として、有効数字2桁^{けた}で答えよ。
ただし、 $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$ である。
- (5) 問(3)と同様な回折現象は、電子線の代わりにX線を用いても観測できる。問(4)の回折条件 ($\alpha = 120^\circ$ 、 $d_\alpha = 0.22 \text{ nm}$) を満たすX線のエネルギー E_p を、eV 単位で有効数字2桁まで求めよ。必要ならば問(4)で与えた定数を使うこと。

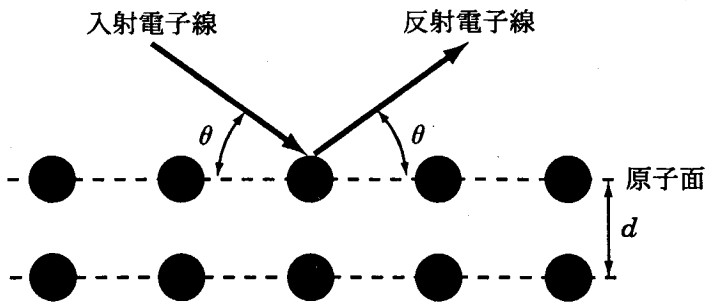


図2

次に、問(3)の実験条件のまま、分光器のスイッチを入れて試料からの発光を調べたところ、図3に示すような連続的なスペクトルが観測され、その最短波長は λ_1 であった。図中、たて軸の発光強度は、一定時間あたり検出される光子の数である。この発光現象を光電効果の逆過程と考え、以下の間に答えよ。

- (6) 同じ加速電圧を保ちながら、一定時間あたり電子銃から照射される電子の数を2倍にした、この時の発光の強度と波長の関係を、答案紙に与えた図中に実線(——)で書き込め。この時、発光の最短波長 λ_1^* を図中に示すこと。次に、電子銃からの電子の数を元に戻し、加速電圧を V_1 より大きな V_2 に変えた場合、検出された発光の最短波長は λ_2 であった。この時の発光の強度と波長の関係を、答案紙に与えた図中に破線(-----)で書き込め。この時、 λ_2 の大まかな位置も示すこと。また、解答にあたって留意したことを図中に書き込むこと。

- (7) この金属の仕事関数 W およびプランク定数 h を、 V_1 、 V_2 、 λ_1 、 λ_2 、 c 、 e の中から必要なものを用いて表せ。

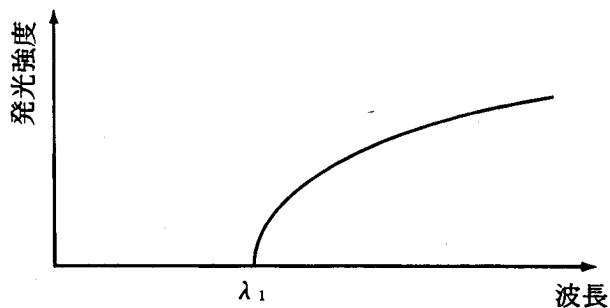


図3