

物理 授業プリント⑬

<原子物理 第1章 電子と光>

○陰極線

ガラス管内の気圧を下げて高電圧をかけると、_____が起こる。



封入されている気体が発光する。



さらに気圧を下げると、ガラス管が蛍光を発するようになる。



陽極付近のガラス管は強い蛍光を発するようになるが、陽極の影になっている部分では蛍光を発しない。

- … 陰極から何かが飛び出し、それがガラスに当たって蛍光を発しているのだと考えられた。
- … 陰極から飛び出す何か = _____ と命名された。
- … 封入されている気体も、陰極から飛び出す何かがぶつかることで発光しているのだと考えられた。



さらに陰極線について研究が進み、性質が整理された。

- ・直進性がある。
- ・陰極から発生する（負の電荷を持つ）。
- ・電界や磁界をかけると、軌道が_____。
- ・エネルギーを持つ（当たった物体の温度が上がる）。



これらの性質から、

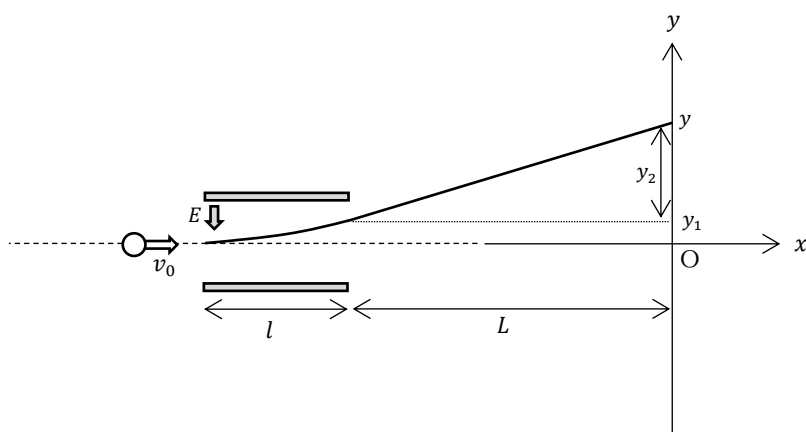
陰極線 = 負の電荷を持つ _____ の流れ

であると明らかになった。

○電子の電荷と質量

- ・(陰極線の正体である) 負電荷を持つ粒子は、_____と命名された。
(歴史上、初めて発見された素粒子)

… まずは、J.J.トムソンの次の実験によって比電荷 $\frac{e}{m}$ が求められた。



電子の電荷を $-e$ 、質量を m とすると、

電子が電界を出る瞬間の速度の y 成分 $v_y =$ _____

電子が電界を出る瞬間の y 座標 $y_1 =$ _____

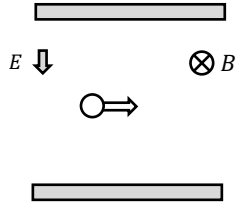
電界を出てからの y 方向への移動距離 $y_2 =$ _____



衝突面(蛍光板)に衝突するときの y 座標 = _____

ここから、電子の比電荷 $\frac{e}{m} =$ _____ と求められる。

※ v_0 の値は、電界に加えて磁界をかけて電子を直進させることで求められる。



電界の強さ E と磁束密度 B を使って、 $v_0 =$ _____ と求められる。

※ 求められた電子の比電荷 $\frac{e}{m} \doteq 1.76 \times 10^{11}$ C/kg

… この値は、当時知られていたどのイオンよりもずっと _____ 値であった。

・次に、ミリカンの実験によって電子の電荷 $-e$ が求められた。

まずは、帯電した油滴を（電界をかけずに）落下させる。

→ 終端速度 v_1 に達した。



○ M



力のつりあい： _____ が成り立つ。

次に、帯電した油滴を電界中で落下させる

→ 終端速度 v_2 で上昇した。



$E \downarrow$

○ $-q$



力のつりあい： _____ が成り立つ。



2つの式から、油滴の電気量の絶対値 $q =$ _____ と求められる。



何度も実験した結果、油滴の電気量の絶対値 q は必ず 1.6×10^{-19} C の整数倍になることが分かった。

… このことは、電気量には最小単位があることを示している。

… 電気の最小単位 = _____ = _____ の電気量の絶対値
ということが明らかになった。



これで、電子の電荷 $-e$ と比電荷 $\frac{e}{m}$ の値が分かったので、
電子の質量 m も明らかになった (約 9.1×10^{-31} kg)。

(練習) ミリカンの実験で、油滴の電気量を調べたところ次の5つの値が得られた。単位は 10^{-19} C である。これらの結果から、電気素量 e を求めよ。

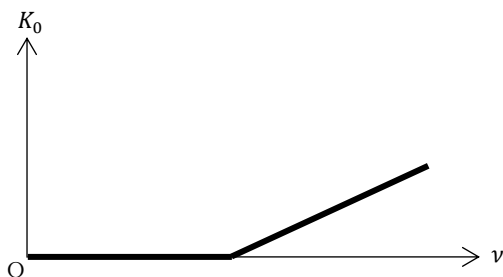
8.1 11.3 3.3 4.9 12.9

○光電効果

光電効果 = 物質に光を当てると、物質から _____ が飛び出す現象
(飛び出す電子 = 光電子)

光電効果には、次のような特徴がある。

- ①
- 照射する光の振動数 $\nu < \text{限界振動数 } \nu_0$
⇒ 光がどんなに強くても、光電効果は _____。
 - 照射する光の振動数 $\nu \geq \text{限界振動数 } \nu_0$
⇒ 光が非常に弱くても、光電効果が _____。
- ② 照射する光の振動数 ν が大きくなるほど、飛び出す電子の運動エネルギーの最大値 K_0 が _____。



- ③ 照射する光の振動数 ν が一定なら、飛び出す電子の数は光の強さに _____ する。

○光量子仮説による光電効果の説明

アインシュタインは、光量子仮説によって光電効果を説明した。

光量子仮説

・光は粒子（= _____）の集まりである。

・光子1個のエネルギー $E =$ _____

h : プランク定数 ν : 光の振動数



①の説明

・電子が金属から飛び出すのに必要なエネルギーの大きさ（=仕事関数 W ）は、金属の種類によって決まっている。

・1個の電子は、1個の光子からエネルギー $h\nu$ を受け取る（2個の光子から同時にエネルギーを受け取ることはない）。

→ $h\nu$ _____ W ⇒ 光電効果は起こらない。

$h\nu$ _____ W ⇒ 光電効果が起こる。

→ 限界振動数 $\nu_0 =$ _____ と求められる。

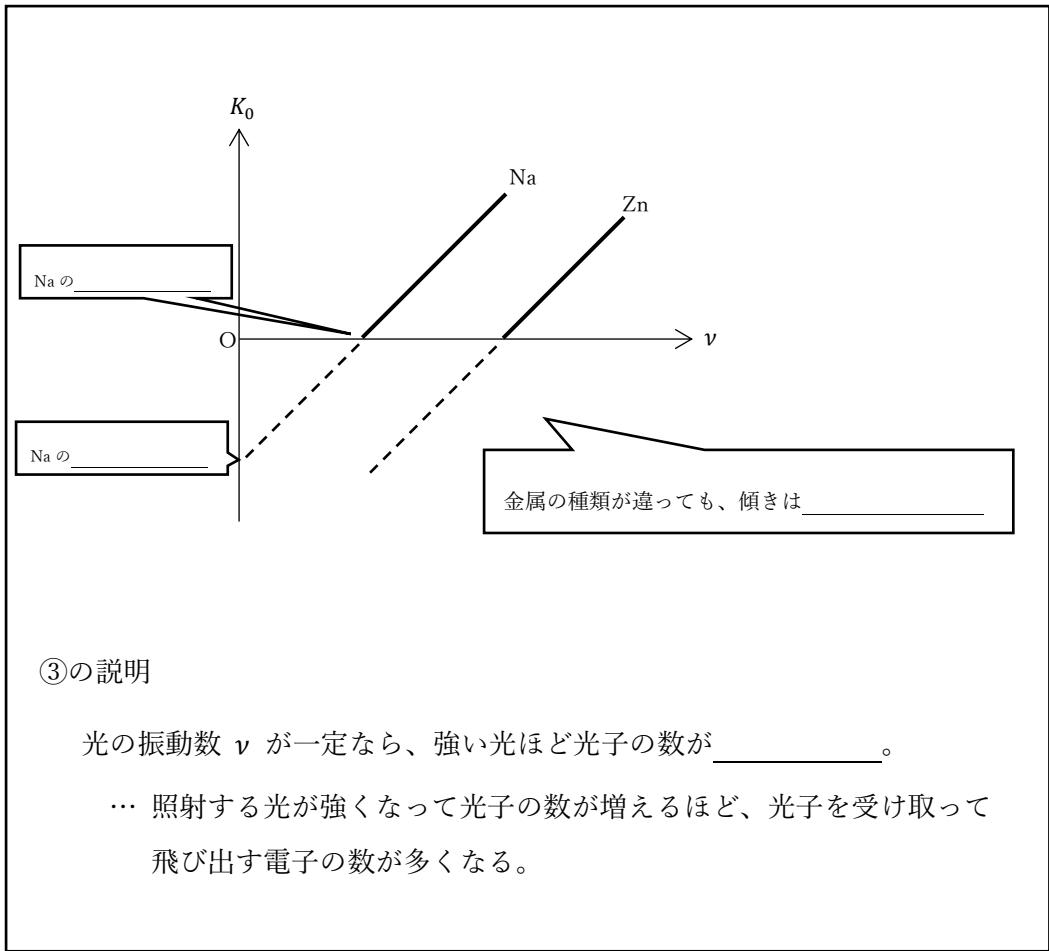
（ ν_0 は金属の種類によって決まっていることが分かる。）

この光の波長（=限界波長） $\lambda_0 =$ _____

②の説明

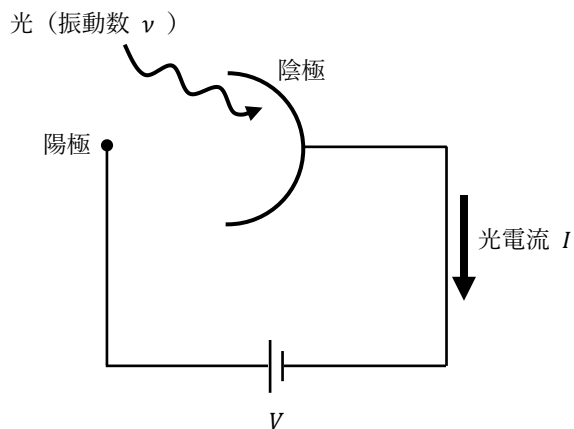
飛び出す電子の運動エネルギーの最大値 $K_0 =$ _____

… 照射する光の振動数 ν が大きいほど、 K_0 は大きくなる。



○光電効果を調べる実験

次のような実験によって、光電効果について調べることができる。



①の調べ方

光電効果が起これば、光電流 I が流れる。

… 照射する光の振動数 ν を変えて、光電流 I が流れるかどうかを調べれば、 ν によって光電効果が起こったり起こらなかったりすることを調べられる。

②の調べ方

$V < 0$ の電圧をかけると、陰極を飛び出した電子が陽極にたどり着かない (\rightarrow 光電流 $I = 0$ となる) ことがある。

… 電圧 $-V_0$ をかけると、電子 (電荷 $-e$) は電界から _____ の仕事をされ、それだけ運動エネルギーが変化する。

… 運動エネルギー K_0 で陰極を飛び出した電子が陽極に達するときの運動エネルギーは _____ となり、

$$\text{_____} \cong 0$$

となると電子は陽極にたどり着かなくなる。

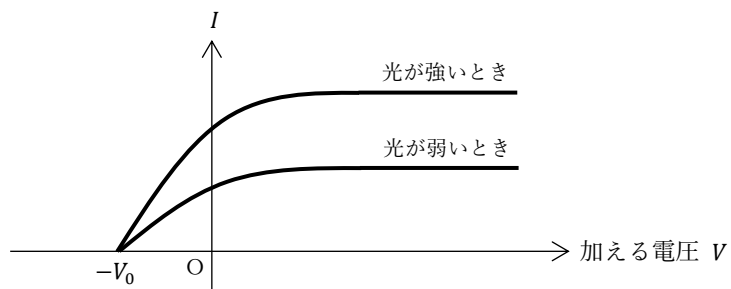
ここから、電子の運動エネルギーの最大値 $K_0 = \text{_____}$ と

求められる (このときの $V_0 = \text{_____}$)。

③の調べ方

照射する光の強さを変えて、光電流 I の大きさの変化を調べる。

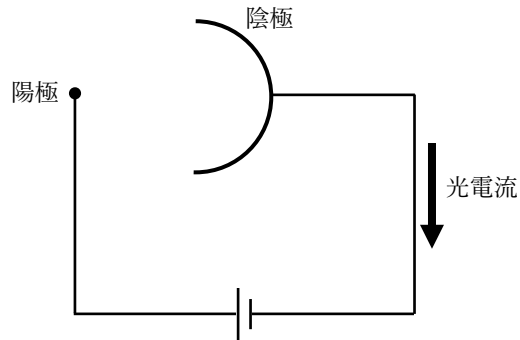
… 光電流 I が大きい = 飛び出す電子の数が _____。



(練習) 振動数が 5.0×10^{14} Hz の光の光子 1 個が持っているエネルギーはいくらか。
また、この振動数の単色光を出す光源の強さが 1.0 W のとき、毎秒何個の光子が光源から出ているか。ただし、プランク定数を 6.6×10^{-34} J·s とする。

(練習) ナトリウムの限界振動数を 5.5×10^{14} Hz とすると、仕事関数は何 J か。ただし、プランク定数を 6.6×10^{-34} J·s とする。

(練習) 図のような装置で、陰極に波長 2.2×10^{-7} m の紫外線を当てながら、陽極と陰極の間の電圧を次第に変えたところ、陽極の電位が陰極より 1.5 V だけ低くなったときに、光電流が 0 になった。陰極の仕事関数と限界波長を求めよ。ただし、プランク定数を 6.6×10^{-34} J·s、電子の電気量を -1.6×10^{-19} C、真空中の光の速さを 3.0×10^8 m/s とする。



(練習) 上の練習で、陰極に波長 2.5×10^{-7} m の光を当てたとき、陽極の電位を陰極よりも何 V だけ低くすると、光電流は 0 になるか。

○ミクロの粒子が持つエネルギーの単位

光子や電子など、目に見えない小さな粒子 1 個が持つエネルギーは非常に小さい。



1 eV = 1 個の電子が 1 V の電圧を加えられたときに得るエネルギーと決めて、「eV」を単位として粒子のエネルギーを表す。



$$1 \text{ eV} = \text{_____ C} \times \text{_____ V} = \text{_____ J}$$

(練習) 可視光線の真空中での波長はおよそ $3.8 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7.7 \times 10^{-7} \text{ m}$ の範囲である。可視光線の光子 1 個のエネルギーは何 eV から何 eV の範囲か。ただし、真空中の光の速さを $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 、電気素量を $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ 、プランク定数を $6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ とする。