

1905年 ユダヤ系ドイツ人であるアルバート・アインシュタインは、振動数 ν の光（電磁波）は、エネルギー $h\nu$ の粒からなるという**光量子仮説**を提唱した（現在は、光の粒を**光子**（フォトン）と呼ばれる）。ここで h はプランク定数（ $6.62607015 \times 10^{-34} \text{ m}^2\text{kg/s}$ ）である。すなわち、光子1個のエネルギー ϵ は

$$\epsilon = h\nu \quad (1)$$

で与えられる。さらに、各光子は光の進行方向に向いた運動量 p をもち

$$p = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

を示した。ここで、 $c = 299792458 \text{ m/s}$ （光速）で、 $\lambda = c/\nu$ （光の波長）である。

1887年ドイツの物理学者ハインリヒ・ヘルツは、紫外線の照射により帯電した物体は電荷を容易に失う（電子が飛び出す）という**光電効果**を発見した。1905年アインシュタインは、光電効果に関する以下のような仮説を提唱した。

「金属内の電子は金属内に束縛されていて自力では脱出できない。しかし振動数 ν の光子を吸収すると、 $h\nu$ のエネルギーをもらい外に飛び出ることが可能になる（飛び出す電子は**光電子**と呼ばれる）。電子が外に脱出する仕事を W とすると、 $h\nu \geq W$ ならば電子は外に飛び出る。」

ここで、電子を飛びださせるのに必要最小の光のエネルギーを $h\nu_0 = W_0$ とすると、電子は脱出後に、運動エネルギー $E = \frac{1}{2}m_e v^2$ (m_e は電子の質量、 v は脱出後の電子の速度) を持つことができ、エネルギー保存の法則 $h\nu = W_0 + E$ より

$$E = h(\nu - \nu_0) \quad (3)$$

が成り立つ。

1923年アメリカの物理学者ロバート・アンドリュース・ミリカンは、光電子のエネルギーと光の波長からプランク定数を求める実験を行った。

ミリカンのプランク定数を求める方法は以下である。

1. 水銀灯の紫外域及び可視光のスペクトル線から単色光を取り出し、それを真空中に置かれたナトリウム、リチウムの切削直後の金属表面に照射する。
2. 光電子面に対して、電子を受ける電極に加える逆電位 $-V$ を変えていき、光電子の流れを測定する。
3. もし光電子の運動エネルギー E_k が $eV > E_k$ ならば光電子は電極に到達できないので

光電子は流れない。ここで、 e は素電荷（電電子1個がもつ電気量）といい、 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ [C]である。（* e の値を求めるものとして、「ミリカンの油滴実験」が有名である。）

4. 電流がちょうど流れなくなる逆電圧を V_0 （阻止電圧という）とすると、 $E_k = eV_0$ となる。
5. したがって、アインシュタインの光電効果に関する仮説から、

$$eV_0 = h\nu - W \quad \Rightarrow \quad V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e} \quad (4)$$

となる。

6. いろいろな ν とそれに対する V_0 のデータ(ν, V_0)から h が推定できる。

以下、光子と光電効果に関する演習を行う。

問1. 3種類の振動数 $\lambda_A, \lambda_B, \lambda_C$ の単色光 A, B, C を測定したところ $\nu_A = 4.95 \times 10^{14}$ Hz, $\nu_B = 7.03 \times 10^{14}$ Hz, $\nu_C = 6.14 \times 10^{14}$ Hzであった。これらの単色光を光子と考えた場合、光子 A, B, C の1個のエネルギー $\epsilon_A, \epsilon_B, \epsilon_C$ を比較せよ。

問2. 問1の振動数の光 A, B, C を、ナトリウムに入射する実験によって阻止電圧を測定したところ、単色光 A の阻止電圧は0.59V、単色光 B の阻止電圧は1.45V、単色光 C の阻止電圧は0.99Vであった。振動数と阻止電圧の相関係数 r を求めよ。

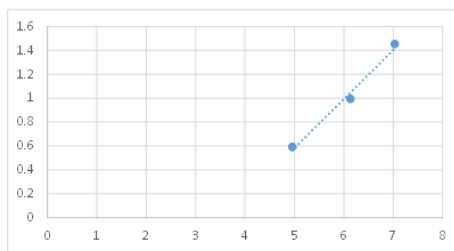
問3. 問2において、振動数に対する阻止電圧の回帰直線 $V_0 = a\lambda + b$ の方程式を求めよ。

問4. 問3とアインシュタインの光電効果に関する仮説を用いて、プランク定数の値 h を求めよ。ただし、 $e = 1.602 \times 10^{-19}$ [C]は既知する。

解答

問1. 光子1個のエネルギー ϵ は, $\epsilon = h\nu$ なので, 振動数が大きい方がエネルギーも大きい. したがって, $\epsilon_A < \epsilon_C < \epsilon_B$ である.

問2. $r = 0.9924$



問3. $V_0 = 0.409 \times 10^{-14}\nu - 1.462$

問4. アインシュタインの光電効果に関する仮説より, $V_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$ なので,

$$h = 0.409 \times 10^{-14}e = (0.409 \times 10^{-14}) \times (1.602 \times 10^{-19}) = 6.55 \times 10^{-34}[\text{J} \cdot \text{s}]$$