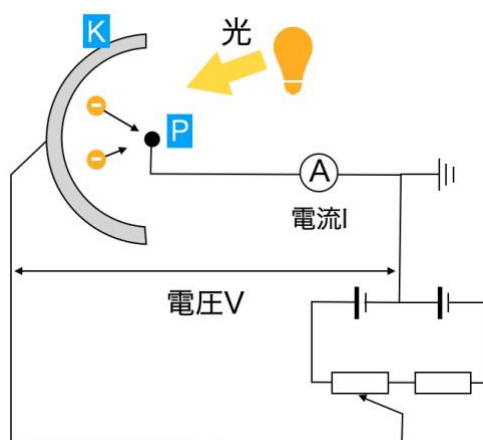


○ 光電効果

18 世紀中程まで、あらゆる物体の運動はニュートン力学（古典力学）で説明できると考えられていました。しかし熱や原子レベルのミクロな世界について、うまく説明できないことが次々と発見されました。

実験 1 光の振動数と光電子の関係

金属に光をあてると、金属表面から電子が飛び出してくる現象（**光電効果**）が発見されます。右の装置のお椀型の電極 K に光をあてたとき、K から飛び出した電子が電極 P に集まり、回路に電流が流れます（**光電流**）。当てる光をフィルターを通して、光の総量・光の振動数 ν



（ニュー）と飛び出した電子（光電子）の関係を調べると次のようなことがわかります。

結果

- ① 光の振動数がある値 ν_0 よりも小さいと、光の総量（光量＝明るさ）を増やしても、光電流は流れない。
- ② ν_0 を（**限界振動数**）といい、この振動数は金属の種類によって異なる。

※ 光の速さは v ではなく c を、光の振動数は f ではなく ν を使います。光の波の式($v=f\lambda$)は、

$$(c = \nu\lambda)$$

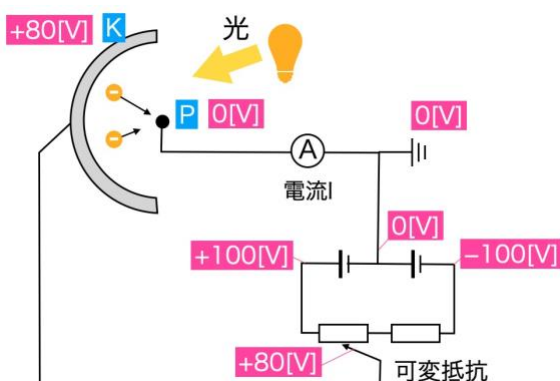
と表すことがあります。なお光の速さは真空中で常に一定 ($=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$) という性質があります。

光が波の性質を持っているのなら、結果①・②について光の振動数は小さくても、光の総量を増やせば、電子にエネルギーを多く与えることになるので、光電子が飛び出すだけのエネルギーが得られるはずですが、そうではないようです。

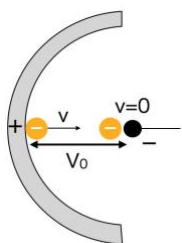
実験 2 光の総量と光電流の関係

回路の可変抵抗を変えて、電極 K の電圧を P よりも大きくして、飛び出してきた電子が P に届かない電圧 V_0 （**阻止電圧**）を測ることによって、電子の運動エネルギーを調べます。

例) 例えば電池がそれぞれ 100V だとすると、可変抵抗を中央よりも左に持つてくことで、K が P に対して +80[V] となる。右に持つてくれば、逆に P のほうが K に対して高電位になります。



なお、阻止電圧 V_0 を調べるということは、飛び出した電子の運動エネルギーを調べたことと同じ意味を持ちます。

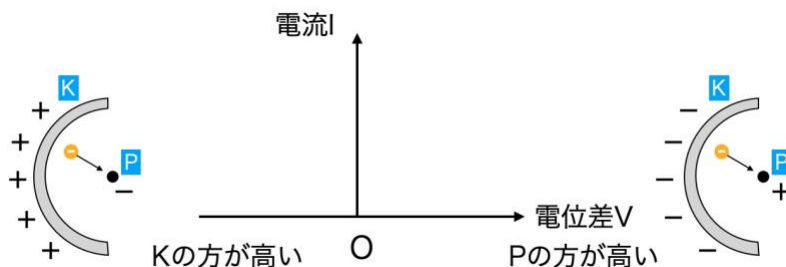


$$\frac{1}{2}mv^2 = eV_0$$

電子の運動エネルギー＝阻止電圧

このようにして、光の振動数を変えずに、光の総量と光電流の関係を調べると、次のようなことがわかります。

結果



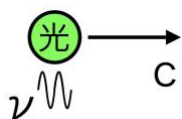
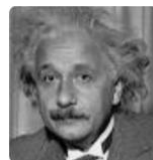
③ 電極 P の電圧を K よりも大きくすると、光電流の値（電子の数）は次第に一定値になり、その値は当てる光の総量によって変わる。

④ 阻止電圧の値（電子の運動エネルギー）は、光の総量を増やしても変わらない。

結果④について、光が波の性質を持っていると考えれば、光の総量を増やした分だけ、電子に与えられるエネルギーが増えるのだから、電子の運動エネルギーも大きくなり、阻止電圧も大きくする必要はあるはずですが、そうではないようです。

○ 光子（光量子）と光電効果

光電効果の実験結果は、光の波の性質だけでは説明することができません。アインシュタインは 1905 年、光が波としてだけではなく、粒子のように振る舞うと考えて、光電効果を説明しました。光の粒子を（ **光子** ）または光量子といいます。



光子の 1 個の持つエネルギー $E = (h\nu)$ 覚える

光子の 1 個の持つ運動量 $P = \frac{E}{c} = \left(\frac{h\nu}{c} \right) = \left(\frac{h}{\lambda} \right)$ 覚える

※ 光の波の式 ($c = \nu \lambda$) を使いました。

ここで、 c は光速で $3.0 \times 10^8 [\text{m/s}]$ 、 h は（ **プランク** ）定数という定数で $6.63 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$ です。なお振動数 ν の光に N 個の光子がある場合は、全エネルギーは（ **$Nh\nu$** ）[J] です。

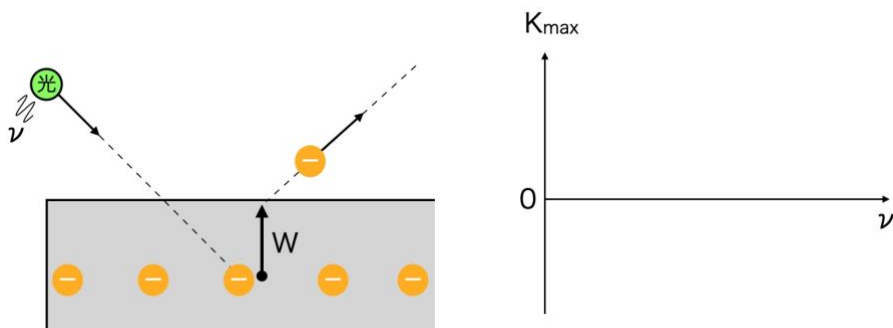


参考 光子のエネルギーと運動量

光子のエネルギー $E = h\nu$ については、高温の物体から出る光の振動数と強さの関係を説明するためにマックス・プランクが使ったものです。また運動量 $P = \frac{E}{c}$ については、アインシュタインの相対性理論から導かれた $E = mc^2$ 、光子の運動量 $P = mc$ より、

$$E = Pc \rightarrow P = \frac{E}{c}$$

金属内部の 1 個の自由電子は 1 個の光子と衝突してエネルギーを得ます。金属が電子を束縛するエネルギー W （ **仕事関数** ）よりも大きいと、電子は金属表面から飛び出して運動エネルギー K を得ます。飛び出した電子の運動エネルギーの最大値 K_{max} は、次の式で表せます。



$$h\nu = W + K_{\text{max}}$$

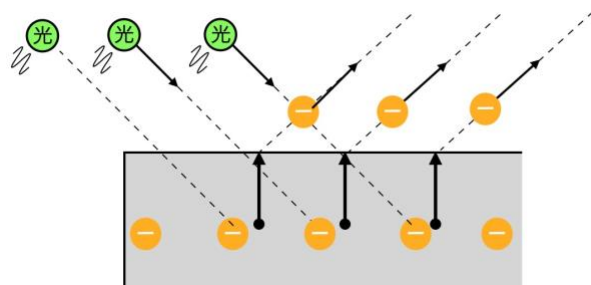
光子の 1 個エネルギー 仕事関数 電子の 1 個の運動エネルギー

この式から、電子が金属表面から飛び出せる最小の振動数 ν_0 は、

$$h\nu_0 = W + 0 \rightarrow \nu_0 = \frac{W}{h}$$

となります。この ν_0 が 結果 ①② で見られた限界振動数です。

また光の振動数 ν を変えないで、光の総量を増やすと（下図）、電子に衝突する光子が増えて、外に飛び出せる電子の数が増えますが（結果③）、1個あたりの電子の運動エネルギーの最大値 $K_{\max}$ は変わらないので、阻止電圧 V_0 も変わりません（結果④）。



このようにアインシュタインは光子を使って、光電効果をうまく説明しました。その後、ミリカンによる実験で、上の $K_{\max} - \nu$ グラフを示す結果が得られました。

○ 電子ボルト

この分野を扱うときには、光や電子など、小さなエネルギー量を扱うので、J（ジュール）よりも小さなエネルギーの単位が便利です。そこで（ **電子ボルト eV** ）という単位が使われることがあります。1[eV]は電子1個が1[V]の電圧で加速されたときに得る運動エネルギーです。

