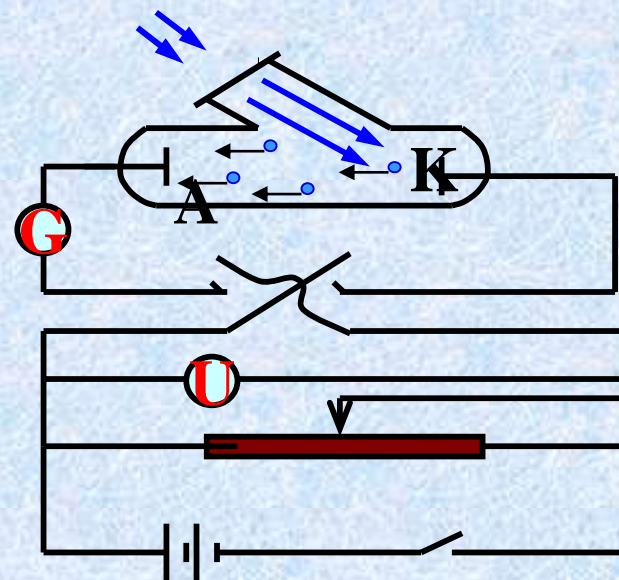


§ 14-2 光电效应

一、光电效应的实验规律

金属中的自由电子在光的照射下，吸收光能而逸出金属表面，这种现象称为**光电效应**。在光电效应中逸出金属表面的电子称为**光电子**。光电子在电场的作用下运动所提供的电流，称为**光电流**。

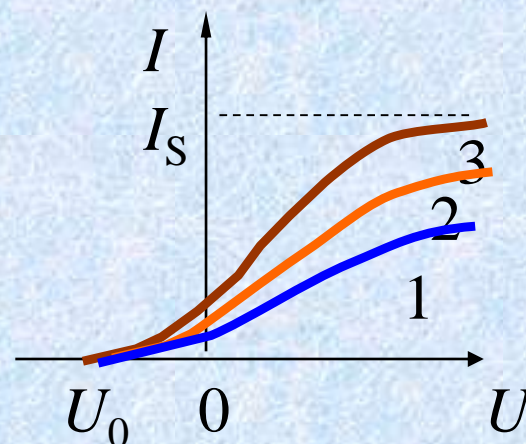


实验原理

光电效应有如下规律：

1. 光电流的强度

对于同一单色光，单位时间内逸出金属表面的光电子数，与入射光强成正比。



2. 光电子的初动能

光电子的初动能随入射光频率的上升而线性地增大，但与入射光强无关。

$$\frac{1}{2}mu^2 = eK\nu - eV_0$$

3. 引起光电效应的入射光的频率下限

如果入射光的频率低于该金属的红限，则无论入射光强多大，都不会使这种金属产生光电效应。

$$\nu_0 = \frac{V_0}{K} \quad (\text{金属的红限})$$

4. 引起光电效应的时间

只要入射光的频率大于该金属的红限，当光照射到这种金属的表面时，几乎立即产生光电子，而无论光强多大。

电子逸出的时间间隔不超过 10^{-9} s。

二、经典理论遇到的困难

- **光的波动理论认为**，光波的能量决定于光波的强度，而光波的强度与其振幅的平方成正比。所以，入射光的强度越高，金属内自由电子获得的能量就越大，光电子的初动能也应该越大。但实验表明，光电子的初动能与入射光强无关。
- **根据光的波动理论**，如果入射光的频率较低，总可以用增大振幅的方法使入射光达到足够的能量，以便使自由电子获得足以逸出金属表面的能量。所以，不应该存在入射光的频率限制。与实验结果相矛盾。
- **从光的波动理论观点看**，产生光电子应该有一定的时间间隔，而不应该是瞬时的。因为自由电子从入射光那里获得能量需要一个积累的过程，特别是当入射光的强度较弱时，积累能量需要的时间较长。实验结果光电子的产生是瞬时的。

三、爱因斯坦的光子论及其对光电效应的解释

光子假说：光是一粒一粒以光速运动的粒子流，这种粒子流称为光子，或光量子。每一个光子的能量由光的频率所决定。

频率为 ν 的光子的能量为 $\varepsilon = h\nu$

光子在运动时具有的质量、能量和动量为

$$m = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2} \quad p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad \text{其中} \quad \lambda = \frac{c}{\nu}$$

电子从入射光中吸收一个光子后，能量变为 $h\nu$ ，能量一部分消耗于逸出金属表面时所必须的逸出功 A ，另一部分转变为光电子的初动能，由能量守恒得：

光电效应的爱因斯坦方程 $h\nu = \frac{1}{2}mu^2 + A$

- **光子的频率为截止频率 ν_0 时**，光电子刚好逸出金属表面，电子初动能为零，由爱因斯坦方程有：

$$\because E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0 \quad \therefore \nu_0 = \frac{W}{h}$$

- **光子的频率小于截止频率 ν_0 时**，光电子不能逸出金属表面。只要光子的频率满足 $\nu > \nu_0$ ，电子就会立即逸出金属表面，是“瞬时的”。
- **当入射光强度大时**，单位时间内电子吸收的光子数就多，光电流就大，光电流与入射光强度成正比。
- **光电效应显示了光的微粒特性**，光子与电子相互作用时，电子吸收了光子的全部能量，光子也是构成物质的一种微观粒子。

爱因斯坦方程不仅圆满地解释了光电效应的实验规律，而且还给出了常量 K 和 V_0 的数值。

由 $\frac{1}{2}mu^2 = eK\nu - eV_0$ 和 $h\nu = \frac{1}{2}mu^2 + A$ 比较，得

$$K = \frac{h}{e}, \quad V_0 = \frac{A}{e}$$

例1：分别计算波长为400 nm的紫光 and 波长为10.0 pm的X射线的光子的质量。

解：紫光光子的质量为

$$m_1 = \frac{h}{c\lambda_1} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{3.00 \times 10^8 \times 4.00 \times 10^{-7}} \text{kg} = 5.53 \times 10^{-36} \text{kg}$$

X射线光子的质量为

$$m_2 = \frac{h}{c\lambda_2} = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{3.00 \times 10^8 \times 1.00 \times 10^{-11}} \text{kg} = 2.21 \times 10^{-31} \text{kg}$$

例2：用波长为400 nm的紫光去照射某种金属，观察到光电效应，同时测得遏止电势差为1.24 V，试求该金属的红限和逸出功。

解：由爱因斯坦方程，得 $A = h\nu - \frac{1}{2}mu^2$

等号两边同除以普朗克常量 h ，得

$$\frac{A}{h} = \nu - \frac{mu^2}{2h}$$

等号左边等于红限 ν_0 ，所以

$$\nu_0 = \frac{c}{\lambda} - \frac{mu^2}{2h}$$

因为 $eV_a = \frac{1}{2}mu^2$

所以 $\nu_0 = \frac{c}{\lambda} - \frac{eV_a}{h}$

代入数值，得

$$\begin{aligned}\nu_0 &= \frac{3.00 \times 10^8}{4.00 \times 10^{-7}} \text{Hz} - \frac{1.60 \times 10^{-19} \times 1.24}{6.63 \times 10^{-34}} \text{Hz} \\ &= 7.50 \times 10^{14} \text{Hz} - 2.99 \times 10^{14} \text{Hz} \\ &= 4.51 \times 10^{14} \text{Hz}.\end{aligned}$$

根据逸出功 A 与红限 ν_0 的关系，可求得逸出功

$$\begin{aligned}A &= \nu_0 h = 4.51 \times 10^{14} \times 6.63 \times 10^{-34} \text{J} \\ &= 2.99 \times 10^{-19} \text{J} = 1.87 \text{eV}\end{aligned}$$