

第十五章 量子物理

第2节 《光电效应 光的波粒二象性》

- 一 **了解**经典物理理论在说明光电效应的实验规律时所遇到的困难。
- 二 **理解**爱因斯坦光量子假设，掌握爱因斯坦方程。





一、实验历史背景及意义

在物理学史上，光电效应现象的发现，对光的本性一波粒二象性的认识，具有极为重要的意义，它给量子论以直观、明确的证明。

赫兹在研究紫外线对火花放电的影响时发现了光电效应。后来勒纳德等人制作了二极管研究了这一现象。当时无法用经典理论解释。

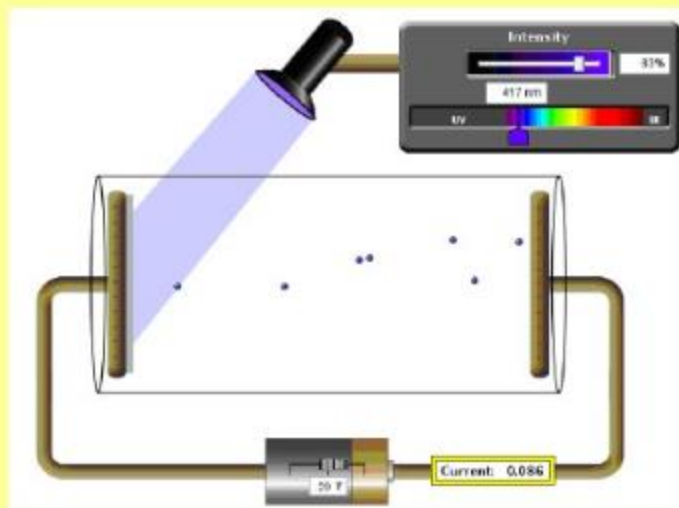
1900年，普朗克（Max Karl Ernst Ludwig Planck, 1858—1947）提出量子假设。

1905年，爱因斯坦提出光量子概念，解释了光电效应现象。



实验原理

光电效应：电子从受辐射作用的材料中释放出来的过程，叫做光电效应；发射出来的电子叫做光电子。



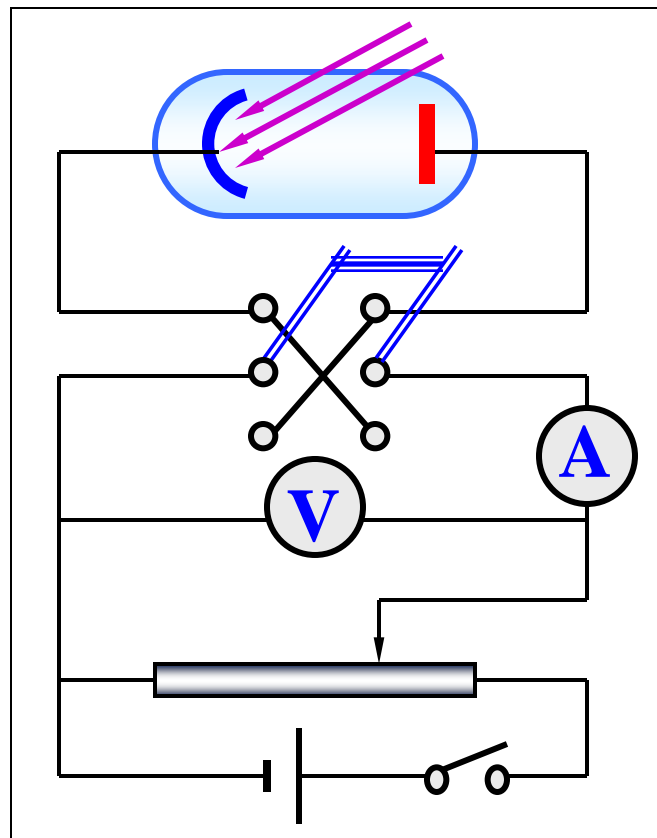
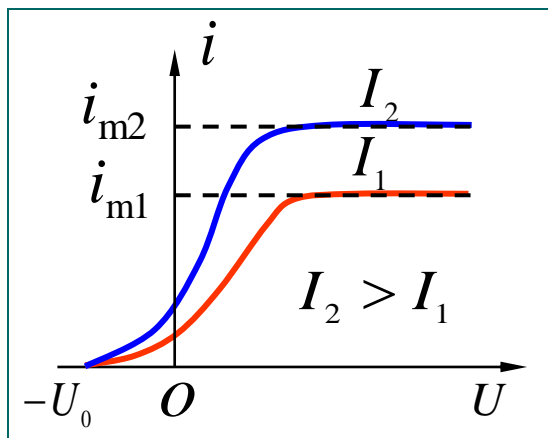
光电效应示意图

光电效应实验的规律

1 实验装置及现象

2 实验规律

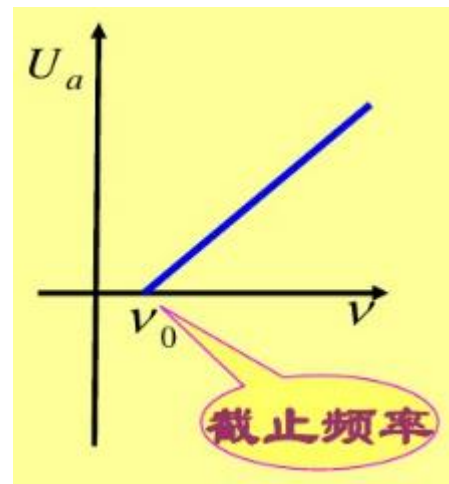
(1) 饱和光电流强度与入射光强成正比.



(2) 存在截止频率（红限） ν_0

对某种金属来说，只有入射光的频率大于某一频率 ν_0 时，电子才会从金属表面逸出。 ν_0 称为**截止频率或红限频率**。

截止频率与**材料有关**与**光强无关**。

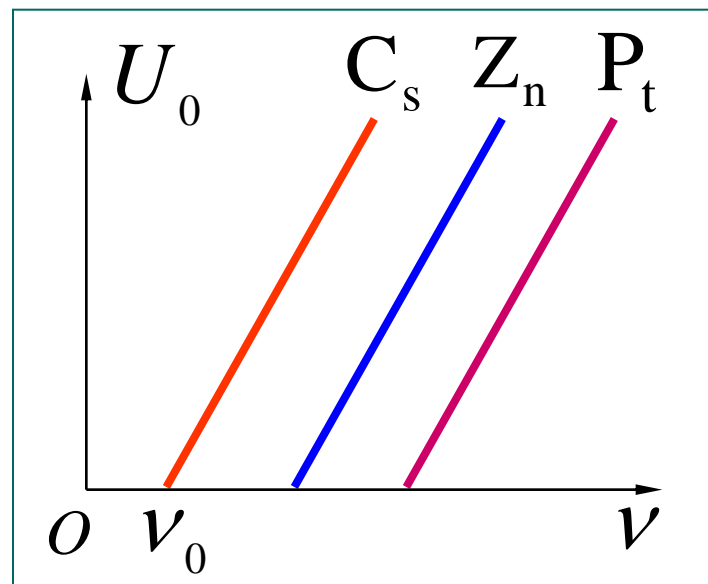


每一个光电子的动能随入射光频率的增加而增加，与入射光强无光



(3) 遏止电势差 U_0

使光电流降为零
所外加的反向电势差
称为**遏止电势差** U_0 ，
对不同的金属， U_0 的
量值不同。



遏止电势差与入射光频率具有线性关系。

(4) 瞬时性：光电效应是瞬时效应



3 经典理论遇到的困难

◆ 红限问题

按经典理论, 无论何种频率的入射光, 只要强度足够大, 就能使电子逸出金属. 与实验结果不符.

◆ 瞬时性问题

按经典理论, 电子逸出金属所需的能量, 需要有一定的时间来积累, 与实验结果不符.



二 光子 爱因斯坦方程

1 “光量子”假设

光可看成是由光子组成的粒子流，单个光子的能量为 $\varepsilon = h\nu$.

2 爱因斯坦光电效应方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

逸出功与
材料有关



几种金属逸出功的近似值 (eV)

钠	铝	锌	铜	银	铂
2.46	4.08	4.31	4.70	4.73	6.35

理论解释:

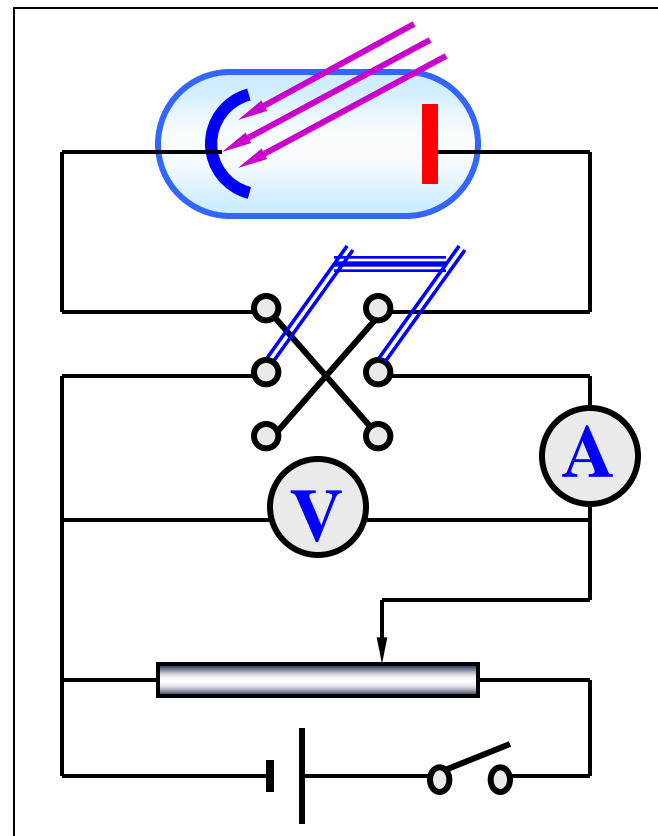
◆ 光强越大, 光子数越多, 单位时间内产生光电子数目越多, 光电流越大. ($\nu > \nu_0$ 时)



◆ 遏止电势差

外加**反向**的遏止电势差 U_0 恰能阻碍光电子到达阳极, 即

$$eU_0 = \frac{1}{2}mv^2$$



◆ **频率限制**: 只有 $\nu \geq \nu_0$ 时才会发生

$$W = h\nu_0 \quad \nu_0 = W/h \text{ (截止频率)}$$

◆ **瞬时性**: 光子射至金属表面, 一个光子的能量 $h\nu$ 将一次性被一个电子吸收, 若 $\nu > \nu_0$, 电子立即逸出, 无需时间积累.

爱因斯坦的光子理论圆满地解释了光电效应现象, 并因此获得**1921年诺贝尔物理学奖**.



3 普朗克常数的测定

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W$$

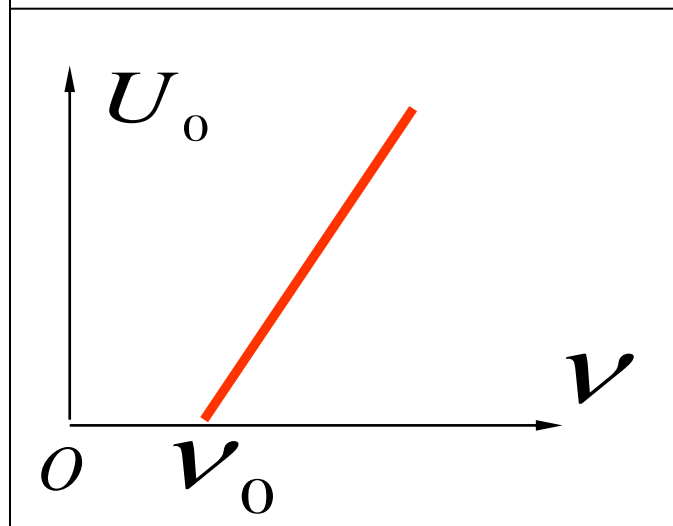
$$h\nu = eU_0 + W$$

$$U_0 = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$$

$$\Delta U_0 / \Delta \nu = h/e$$

$$h = \frac{\Delta U_0}{\Delta \nu} e$$

遏止电势差和入射
光频率的关系



例1 一半径为 $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ 的薄圆片，距光源 1.0 m . 光源的功率为 1 W ，发射波长 589 nm 的单色光 . 假定光源向各个方向发射的能量是相同的，试计算在单位时间内落在薄圆片上的光子数 .

解 $S = \pi \times (1.0 \times 10^{-3} \text{ m})^2 = \pi \times 10^{-6} \text{ m}^2$

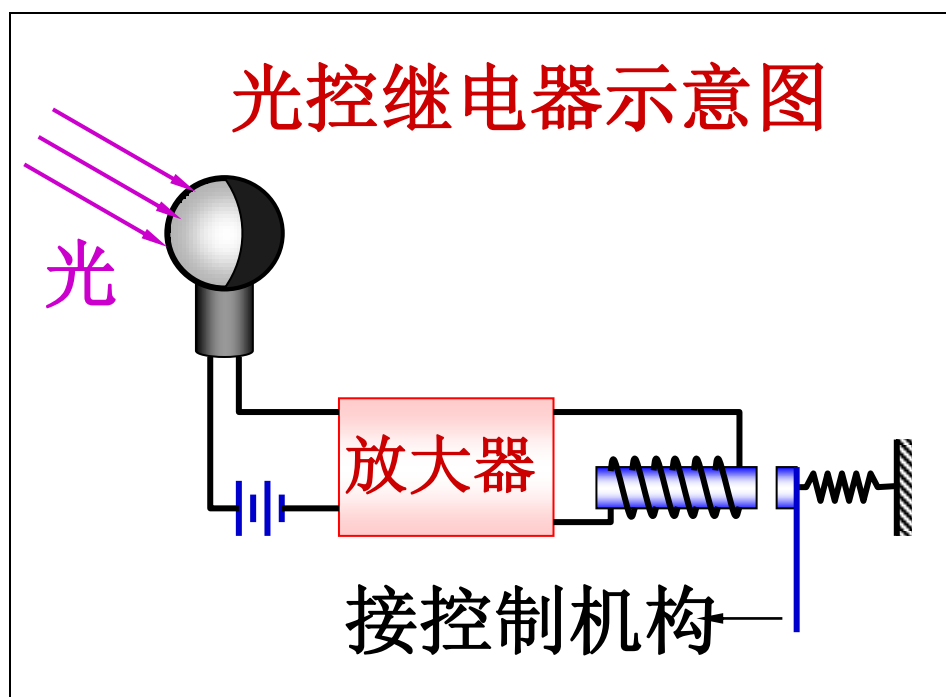
$$E = P \frac{S}{4\pi r^2} = 2.5 \times 10^{-7} \text{ J} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$N = \frac{E}{h\nu} = \frac{E\lambda}{hc} = 7.4 \times 10^{11} \text{ s}^{-1}$$



三 光电效应在近代技术中的应用

光控继电器、自动控制、
自动计数、自动报警等。



光电倍增管





四 光的波粒二象性

(1) 波动性：光的干涉和衍射

(2) 粒子性： $E = h\nu$ （光电效应等）

◆ 相对论能量和动量关系 $E^2 = p^2 c^2 + E_0^2$

◆ 光子 $E_0 = 0, \quad E = pc$



◆ 光子

$$E_0 = 0, \quad E = pc$$

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

描述光的
粒子性

$$\left\{ \begin{array}{l} E = h\nu \\ p = \frac{h}{\lambda} \end{array} \right\}$$

描述光的
波动性

