

实验十四 光电效应和普朗克常数的测定

光电效应是光的波动说不能解释的实验之一。1905 年爱因斯坦在普朗克量子假说的基础上圆满地解释了光电效应,约十年后密立根以精确的光电效应实验证实了爱因斯坦的光电效应方程,并测定了普朗克常数。而今光电效应已经广泛地应用于各科技领域。利用光电效应制成的光电器件如光电管、光电池、光电倍增管等已成为生产和科研中不可缺少的器件。

一 实验目的

- 1 加深对光电效应和光的量子性的理解;
- 2 学习验证爱因斯坦光电效应方程的实验方法。

二 实验原理

1 光电效应与爱因斯坦方程

在合适频率的光照射在某些金属表面上时,会有电子从金属表面逸出,这种现象叫做光电效应,其基本实验事实如下:

- (1) 光电效应存在一个截止频率 ν_0 , 仅当入射光频率 $\nu \geq \nu_0$ 时,才能从金属表面打出光电子;
- (2) 单个光电子的动能随入射光频率提高而增大,与入射光强无关;
- (3) 单位时间内产生光电子的数目仅与入射光强有关,与入射光频率无关;
- (4) 光电效应是瞬时完成的,电子吸收光能几乎不需要积累时间。

为了解释光电效应现象,爱因斯坦提出了“光量子”的概念,认为对于频率为 ν 的光波,每个光子的能量为

$$E = h\nu$$

式中 h 为普朗克常数,它的公认值是 $6.6260755 \times 10^{-34} J \cdot s$ 。

按照爱因斯坦的理论,光电效应的实质是当光子和电子相碰撞时,光子把全部能量传递给电子,电子所获得的能量,一部分用来克服金属表面对它的约束,其余的能量则成为该光电子逸出金属表面后的动能。爱因斯坦提出了著名的光电方程:

$$h\nu = \frac{1}{2}mV^2 + W \quad (1)$$

式中, ν 为入射光的频率, m 为电子的质量, V 为光电子逸出金属表面的初速度, W 为受光线照射的金属材料的逸出功, $\frac{1}{2}mV^2$ 为从金属逸出的光电子的最大初动能。

由(1)式可见,入射到金属表面的光频率越高,逸出的电子动能必然也越大,所以即使阴极不加电压也会有光电子落入阳极而形成光电流,甚至阳极电位比阴极电位低时也会

有光电子落到阳极，直至阳极电位低于某一数值时，所有光电子都不能到达阳极，光电流才为零. 这个相对于阴极为负值的阳极电位 U_0 被称为光电效应的截止电压，且有

$$eU_0 = \frac{1}{2}mV^2 \quad (2)$$

代入 (1) 式，即有

$$h\nu = eU_0 + W \quad (3)$$

产生光电效应的最低频率是 $\nu_0 = W/h$ ，通常称为光电效应的截止频率. 不同材料有不同的逸出功，因而 ν_0 也不同. 由于光的强弱决定于光量子的数量，所以光电流与入射光的强度成正比. 又因为一个电子只能吸收一个光子的能量，所以光电子获得的能量与光强无关，只与光的频率 ν 成正比，将 (3) 式改写为

$$U_0 = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e} = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0) \quad (4)$$

上式表明，截止电压 U_0 是入射光频率 ν 的线性函数，如图 14-1，图中的直线的斜率 k 是一个正的常数，且有

$$h = ek \quad (5)$$

由此可见，只要用实验方法作出 $U_0 - \nu$ 曲线，并求出此曲线的斜率，就可以通过式 (5) 求出普朗克常数 h . 其中 $e = 1.60 \times 10^{-19} C$ 是电子的电量.

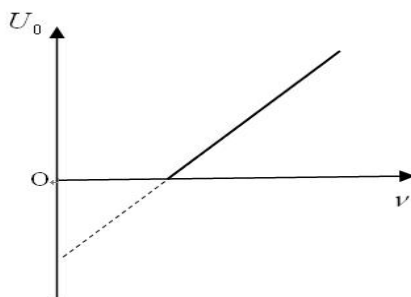


图 14-1 $U_0 - \nu$ 关系图

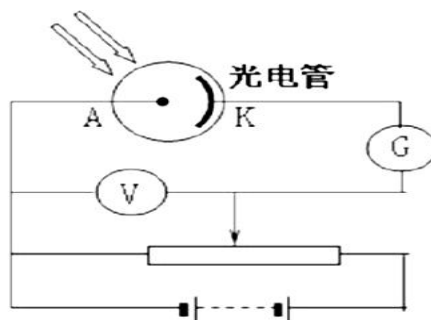


图 14-2 光电效应实验原理图

2 光电效应的伏安特性曲线

图 14-2 是利用光电管进行光电效应实验的原理图. 频率为 ν 、强度为 P 的光线照射到光电管阴极 K 上, 即有光电子从阴极 K 逸出. 如在阴极 K 和阳极 A 之间加正向电压 U_{AK} , 它使 K 、 A 之间建立起的电场对从光电管阴极逸出的光电子起加速作用, 随着电压 U_{AK} 的增加, 到达阳极的光电子将逐渐增多. 当正向电压 U_{AK} 增加到一定值时, 光电流达到最大, 不再增加, 此时即称为饱和状态, 对应的光电流 I_H 即称为饱和光电流 (如图 14-3).

由于光电子从阴极表面逸出时具有一定的初速度, 所以当两极间电位差为零时, 仍有光电流 I 存在, 若在两极间施加一反向电压, 光电流随之减少; 当反向电压达到截止电压 U_0 时, 光电流为零.

值得注意的是, 爱因斯坦光电方程是在同种金属做阴极和阳极, 且阳极很小的理想状态下导出的, 实际光电流的曲线与理论曲线有偏差, 引起偏差的原因主要有:

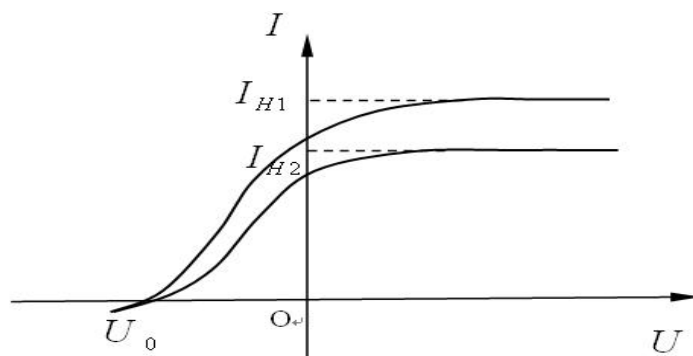


图 14-3 同一频率, 不同光强时光电管的伏安特性曲线

(1) 暗电流和本底电流: 当光电管阴极没有受到光线照射时也会产生电子流, 称为暗电流. 它是由电子的热运动和光电管管壳漏电等原因造成的. 室内各种反射光射入光电管造成的光电流称为本底电流. 暗电流和本底电流随着 K 、 A 之间电压大小变化而变化.

(2) 阳极电流: 制作光电管阴极时, 阳极上也会被溅射有阴极材料, 所以光入射到阳极上或由阴极反射到阳极上, 阳极上也有光电子发射, 就形成阳极电流. 由于它们的存在, 使得 $I \sim U$ 曲线较理论曲线下移, 如图 14-3 所示.

三 主要仪器及试材

光电效应实验仪主要由高压汞灯及电源、滤光片、光阑、光电管和测试仪组成。

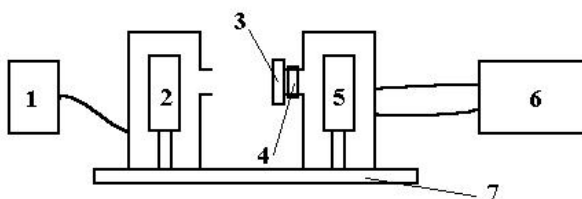


图 14-4 实验装置图

1 汞灯电源；2 汞灯；3 滤光片；4 光阑；5 光电管；6 光电效应测试仪；7 基座

其中，滤光片：5 片，透射波长 365.0nm、404.7nm、435.8nm、546.1nm、577.0nm

光阑：3 片，直径 2mm，4mm，8mm.



四 实验方法与步骤

1 调整仪器

(1)用专用电缆将微电流测量仪的输入接口与暗盒的输出接口连接起来；将微电流测量仪的电压输出端插座与暗盒的电压输入插座连接起来；将汞灯下侧的电线与限流器连接起来；接好电源，打开电源开关，充分预热（不少于 20 分钟）。

(2)调节暗盒与汞灯距离 $r = 40\text{cm}$ 。

2 测量普朗克常数 h

(1) 将电压选择按键开关置于 -1.998V 档，将“电流量程”选择开关置于 10^{-13}A 档。将测试仪电流输入电缆断开，调零后重新接上。

(2) 将直径为 2mm 的光阑和 365.0nm 的滤色片装在光电管暗盒进光窗口上。

(3) 取下汞灯出光窗口的遮光罩，从高到低调节电压，用“零电流法”测量该波长对应的 U_0 ，并将数据记录于表 14-1 中（ U_0 取绝对值）。

(4) 依次换上 404.7nm、435.8nm、546.1nm、577.0nm 的滤色片，重复步骤（2）、（3）。

(5) 利用所得数据，绘出 $U_0 - \nu$ 关系曲线，若图线为一条直线，则爱因斯坦方程得以验证，（为什么？）并利用直线斜率求出普朗克常数，与公认值比较。

3 测量光电管的伏安特性曲线.

(1) 将“电流量程”选择开关置于 10^{-10} A 档, 将测试仪电流输入电缆断开, 调零后重新接上, 在暗盒进光窗口装 546.1nm 滤光片和 2mm 光阑, 缓慢调节电压旋钮, 令电压输出值缓慢由 -1V 增加到 +38V, -1V 到 0V 之间每隔 0.5V 记录一个电流值, 0V 到 38V 之间每隔 2V 记录一个电流值, 将数据记入表 14-2.

(2) 将暗盒与汞灯距离 r 调整为 30cm, 仍用 2mm 的光阑, 重复步骤 (1).

(3) 将暗盒与汞灯距离 r 调整为 40cm, 换用 4mm 的光阑, 重复步骤 (1).

(4) 选择合适的坐标, 分别绘出不同光阑、不同距离下光电管的伏安特性曲线 $I \sim U$.

五 注意事项

1 微电流测量仪和汞灯的预热时间必须长于 20 分钟. 实验中, 汞灯不可关闭. 如果关闭, 必须经过 5 分钟后才可重新启动, 且须重新预热.

2 微电流测量仪与暗盒之间的距离在整个实验过程中应当一致.

3 注意保护滤光片, 防止污染.

4 更换滤光片时注意遮挡住汞灯光源, **严禁让汞光不经过滤光片直接入射光电管窗口.**

5 微电流测量仪每改变一次量程, 必须重新调零.

思考题

1 什么是截止频率? 什么是截止电压? 什么是光电管伏安特性曲线?

2 如何由光电效应测量普朗克常量?

3 光电管为什么要装在暗盒中? 为什么在非测量时, 用遮光罩罩住光电管窗口?