

## 光电效应测定普朗克常数（仿真实验）

在近代物理学中，光电效应在证实光的量子性方面有着重要的地位。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。

### 【实验目的】

1. 了解光电效应的基本规律。
2. 测量光电管的伏安特性曲线。
3. 验证爱因斯坦光电效应方程。
4. 测量普朗克常数。

### 【实验仪器】

本实验仿真软件为科大奥锐公司的“大学物理仿真实验 2010 版”，对应真实实验的仪器有：光电管，光源（汞灯）滤波片组（577.0nm,546.1nm,435.8nm,404.7nm,365nm 滤光片），50%、25%、10%的滤光片，直流电源、检流计（或微电流计）、直流电压计等。

### 【实验原理】

#### 1. 光电效应与爱因斯坦方程

以合适频率的光照射在金属表面上，有电子从表面逸出的现象称为光电效应。观察光电效应的实验示意图如图 28.1 所示。GD 为光电管，K 为光电管阴极，A 为光电管阳极，G 为微电流计，V 为数字电压表，R 为滑线变阻器。调节 R 可使 A、K 之间获得从  $-U$  到 0 到  $+U$  连续变化的电压。当光照射光电管阴极时，阴极释放出的光电子在电场的

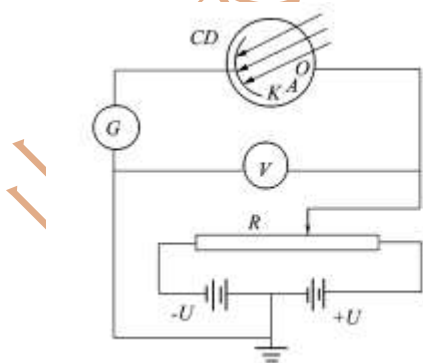


图 28.1 光电效应实验示意图

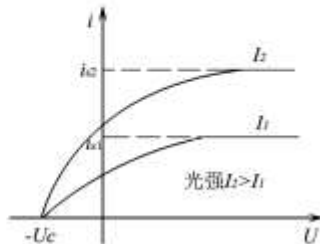


图 28.2 光电管的伏安特性

作用下向阳极迁移，并且在回路中形成光电流。光电效应有如下的实验规律：

(1) 光强一定时, 随着光电管两端电压的增大, 光电流趋于一个饱和值  $I_s$ , 对不同的光强, 饱和电流  $I_s$  与光强  $I$  成正比。

(2) 当光电管两端加反向电压时, 光电流迅速减小, 但不立即降到零, 直至反向电压达到  $U_c$  时, 光电流为零,  $U_c$  称为截止电压。这表明此时具有最大动能的光电子被反向电场所阻挡, 则有

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = eU_c \quad (28.1)$$

实验表明光电子的最大动能与入射光强无关, 只与入射光的频率有关。

(3) 改变入射光频率  $\nu$  时截止电压  $U_c$  随之改变,  $U_c$  与  $\nu$  成线性关系, 如图 3 所示。实验表明, 无论光多么强, 只有当入射光频率  $\nu$  大于  $\nu_c$  时才能发生光电效应,  $\nu_c$  称截止频率。对于不同金属的阴极  $\nu_c$  的值也不同。但这些直线的斜率都相同。

(4) 射到光阴极上的光无论怎么弱, 几乎在开始照射的同时就有光电子产生, 延迟时间最多不超过  $10^{-9}$  秒。

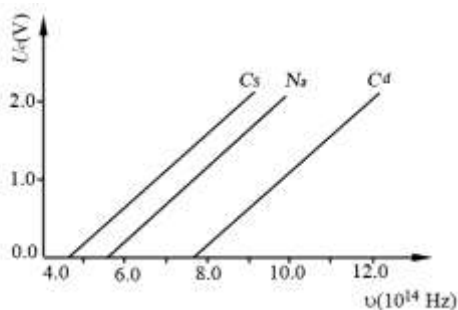


图 28.3 截止电压  $U_c$  与入射光频率  $\nu$  的关系曲线

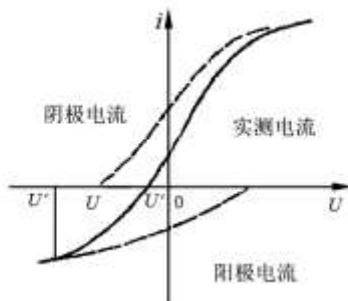


图 28.4 实际测量的光电管的  $i-U$  曲线

上述光电效应的实验规律是光的波动理论所不能解释的。光电效应实验现象与经典理论的矛盾: (1) 红限频率的存在 (2) 光电子的最初动能与光强无关 (3) 瞬时性。爱因斯坦提出了光量子假说, 解决了以上矛盾。他假设光束是由能量为  $h\nu$  的粒子(称光子)组成的, 其中  $h$  为普朗克常数, 当光束照射金属时, 以光粒子的形式射在表面上, 金属中的电子要么不吸收能量, 要么就吸收一个光子的全部能量  $h\nu$ 。只有当这能量大于电子摆脱金属表面约束所需要的逸出功  $W$  时, 电子才会以一定的初动能逸出金属表面。根据能量守恒有

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 + W \quad (28.2)$$

(28.2)式称为爱因斯坦光电效应方程。将(28.1)式代入爱因斯坦光电效应方程可改写为

$$h\nu = eU_c + h\nu_c$$

$$U_c = \frac{h}{e}(\nu - \nu_c)$$

即

$$U_c = k\nu - b \quad (28.3)$$

(28.3)式表明了  $U_c$  与  $\nu$  成一直线关系，由直线斜率可求  $h$ ，由截距可求  $\nu_c$ 。这正是密立根验证爱因斯坦方程的实验思想。

## 2. 实际测量中截止电压的确定

实际测量的光电管伏安特性如图 28.4 所示，它要比图 28.2 复杂。这是由于：

(1) 存在暗电流和本底电流。在完全没有光照射光电管的情形下，由于阴极本身的热电子发射等原因所产生的电流称为暗电流。本底电流则是由于外界各种漫反射光入射到光电管上所致。这两种电流属于实验中的系统误差。

(2) 存在反向电流。在制造光电管的过程中，阳极不可避免地被阴极材料所沾染，而且这种沾染在光电管使用过程中会日趋严重。在光的照射下，被沾染的阳极也会发射电子，形成阳极电流即反向电流。

因此，实测电流是阴极电流与阳极电流的叠加结果。这就给确定截止电压  $U_c$  带来一定麻烦，此时电流降为零处所对应的电压已经不是遏制电压了，遏制电压是拐点所对应的电压，拐点是指在反向伏安特性曲线中电流下降和电流保持不变之间的分界点。因此本实验应该用拐点法来确定遏制电压。

本实验要求用最小二乘法计算直线的斜率  $k$ ，然后再计算出普朗克常数  $h$ 。

### 【实验步骤】

#### 1. 启动实验

双击桌面“大学物理仿真实验 2010 实验大厅”启动仿真实验软件，单击“近代物理实验”按钮，双击“光电效应和普朗克常量的测定”项，启动实验（图 28.5）



图 28.5 仪器以及连线

#### 2. 调节仪器：



图 28.6 电源及测试系统窗口

(1) 单击电源图标显示“电源及测试系统”窗口，观察电流输入、电压输出正、负极接线柱的位置（图 28.6）。

(2) 连接电路。拖动鼠标，最上面的线（黑线）连接“电流输入”接线柱，中间的线（黄线）连接“电压输出负极”接线柱，最下面的线（红线）连接“电压输出正极”接线柱（图 28.5）。

### 3 系统初始化设置

(1) 鼠标拖动光电管镜头盖和光源镜头盖至桌面，单击“滤波片盒”图标打开滤波片盒，拖动波长 365nm 的滤波片至光源镜头处。单击“光源”图标打开光源显示窗口，单击开关接通光源电源，然后关闭光源显示窗口。

(2) 在“电源及测试系统”窗口（图 28.6），将电压波段置于 3V，电压极性置于负极，单击电源开关打开电源，在“电压调节”旋钮处单击或按下鼠标右键调节输出电压，使电压表示数为最大值 3V，此时电压输出为-3V。

(3) 双击“光电管”图标打开光电管调节窗，鼠标单击四个绿色箭头调整光电管位置，使得电流计示数为 $-0.24 \mu\text{A}$ ，至此系统初始化完成。

### 4 光电管伏安特性测量

更换滤波片产生不同波长的入射光，在 $[-3\text{V}-14\text{V}]$ 范围内改变电压，记录电压和电流的数值，测量不同波长的光照射时光电管的伏安特性。建议反向电压时每隔 0.5V 记录

一组数据，正向电压时每隔 1.0V 记录一组数据。每个同学至少测量三种不同的波长的曲线。

### 【实验要求】

1. 根据测量数据绘制伏安特性曲线，用交点法求出每种频率（波长）入射光的遏止电压  $U_c$ 。
2. 作出  $U_c \sim \nu$  曲线，验证爱因斯坦光量子假说。
3. 据（3）式，用最小二乘法可求出  $k$ ，进而求出  $h$ ，并计算误差。

### 【注意事项】

- 1 电流接近 0 时，可适当减小电压间隔，以尽准确地确定遏制电压。
- 2 电压不能超出[-3V-14V]范围，更换滤镜时需关闭光源电源开关，以免烧坏光电管。

### 【应用提示】

#### 研究光电效应的重大意义

继密立根之后，爱因斯坦的光电方程得到了许多物理学家的实验验证，从可见光直至 x 射线，在宽广的波长范围内，实验结果都与理论严格相符。光量子理论成功地解释了光电效应，而光电效应的事实又有力地支持了光量子理论。

光电效应实验及其光量子理论的解释在物理学的发展中具有深远的意义。其一，证明普朗克提出的量子现象并非是辐射现象所特有，而在一般物理过程中都有表现。其二，爱因斯坦的研究揭示了光的两重性或“光的波粒二象性”，原来光既是微粒，又是波动。爱因斯坦关于光的新理论是具有革命性和划时代意义的。光量子假说又重新引起了持续多年的关于光的本性的争论，加深了对光的本性的认识。在其后的二十多年中，爱因斯坦和许多科学家不断试图了解光的这种“双重性格”，促进了光学和原子物理学的进一步发展。后来德布罗意关于粒子具有波动性的假说以及戴维森和革末的电子衍射实验证明不仅光有二象性，实物也有二象性，二象性是普通的。其三，利用光电效应制成了光电管等许多光电器件，并在科学技术中得到广泛应用，目前还在开辟新的应用领域，其发展前景也是广阔的。（郭奕玲 沙振舜等，《著名物理实验及其在物理学发展中的作用》）

本实验开头曾提到利用光电效应制成的光电器件已得到广泛应用，下面仅举几个光电开关的例子。

光电开关是通过把光强度的变化转换成电信号的变化来实现控制的。根据工作方式不同分为：漫反射光电开关，背景抑制型光电开关，反射板式光电开关，对射式光电开关和光纤放大器。

#### 1. 漫反射光电开关

发光二极管发出的光落在任意形状、颜色的物体上，光被漫反射，一部分返回同一仪器上的接收器表面。光强足够，触动开关。工作距离取决于物体尺寸、颜色和表面纹理。内置灵敏度调整电位计可使感光度有很大调制幅度。

#### 2. 背景抑制型光电开关

与漫反射光电开关工作方式类似，但利用反射光的入射角度，而不是光量：因此，工作距离不易受物体的尺寸、颜色或表面纹理的影响。即使在强光背景下也可准确辨认对象。

### 3. 反射板式光电开关

发光二极管发出的波动光经过透镜聚焦，通过偏振滤光镜射向反射板。部分反射光再次经过偏振滤光镜到达接收器。滤光镜只让反射器的反射光能到达接收器。表面光亮的物体因反射光强烈不易被看见，但这种装置却能探测到这些对象。传感范围因此大幅度增加。在反射器到接收器的路途用障碍物截断光束，就触动了开关。

### 4. 对射式光电开关

接收器和发射器各有独立外壳。发射器相对安装以使调制。尽可能为接收器接收。接收器把调制光从周围的其他光源中分离出来，任意对从反射器到接收器光束的阻截都会触动开关。为达到良好的工作效果，被测对象尺寸不应小于接收器的直径。

### 5. 光纤放大器

发射器和接收器前端装上光纤(玻璃、塑料光纤的基本操作相同)。光纤是光电传感器的“眼”的延伸。由于光纤导线体积小又具伸缩性，解决厂不易进入部位的传感问题。由于没有电流在光纤中，因此没有安全措施也能在易爆或强电磁场(高压设备，电焊设备)存在的区域正常工作。光纤足够细可探测到最微小的物体。光纤导线可用作漫反射光电开关和对射式光电开关。



图 28.7



图 28.8

图 28.7 和图 28.8 分别为对射式和漫反射式光电开关实物图。