实验 32　光电效应法测普朗克常数

量子论是近代物理的基础之一，给予量子论以直观、鲜明物理图像的是光电效应。随着科学技术的发展，光电效应已广泛应用于工农业生产、国防和许多科技领域。普朗克常数（公认值$h=6.626075\times10^{-34}\,\mathrm{J\cdot s}$）是自然界中一个很重要的普适常数，它可以用光电效应法简单而又较准确地求出。所以，进行光电效应实验并通过实验求得普朗克常数有助于我们了解量子物理学的发展及对光的本性认识。

光电效应是在 19 世纪末，物理学家赫兹用实验验证电磁波的存在时，发现了这一现象。随后人们对它进行了大量的实验研究，总结出了一系列的实验规律。但是，这些实验规律都无法用当时人们所熟知的电磁波理论加以解释。

1905 年，爱因斯坦大胆地把普朗克在进行黑体辐射研究过程中提出的辐射能量不连续观点应用于光辐射，提出“光量子”概念，从而成功地解释了光电效应的各项基本规律，使人们对光的本性认识有了一个飞跃，建立了有名的爱因斯坦方程式。1916 年密立根通过光电效应对普朗克常数的精确测量，证实了爱因斯坦方程的正确性。

爱因斯坦与密立根都因光电效应等方面的杰出贡献，分别于 1921 年和 1923 年获得了诺贝尔奖。

【预习提要】

（1）什么是光电效应?它具有什么实验规律?光电效应的伏安特性含义是什么?
（2）什么是截止电压?如何用实验来测定?
（3）什么是截止频率?如何用实验来测定?
（4）本实验中如何测定普朗克常量?

【实验要求】

（1）学习测定普朗克常量的一种实验方法。
（2）学习用滤色片获得单色光的方法。
（3）学习用实验研究验证理论的方法，加深对光电效应和光量子理论的理解。

【实验目的】

用光电效应测定普朗克常量。

【实验器材】

普朗克常量测定仪及其配套器材（包括光电管、高压水银灯、不同频率的滤色片和微电流放大器等）。

【实验原理】

光照射在金属表面时释放出电子的现象称为光电效应，这种电子称为光电子，由它形成的电流称为光电流。

光电效应的实验原理如图 4-32-1 所示。在阳极 A 和阴极 K 之间加一可以改变极性的电压 U，电路还连接有电流计 G、伏特表 V 和电池组 E。实验有以下规律：

（1）饱和电流强度 I_M 与光强 P 成正比。

入射光频率一定时，光电流随两极电压的增加而增大，但当电压 U 增加到一定值时，光电流不再增加，达到一饱和值 I_M，I_M 与光强 P 成正比。当加速电压 U 减小到零并逐渐为负值时，光电流减小，但不为零，只有反向电压值等于 U_a，光电流才等于零。电压 U_a 称为截止电压，也称遏止电压。

入射光频率一定，光强不同时，两极电压 U 与光电流的关系图称为光电效应的伏安特性曲线，如图 4-32-2 所示。图 4-32-4 是不同频率，同一光强的伏安特性曲线。

光电子释放时的最大初动能与截止电压 U_a 的关系可由功能原理得知

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_a \qquad (4\text{-}32\text{-}1)$$

式中，m 和 e 分别是电子的质量和电量；v 是电子释放时的速度。

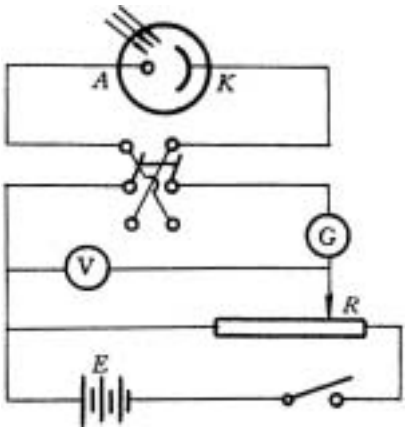

图 4-32-1　光电效应实验原理图

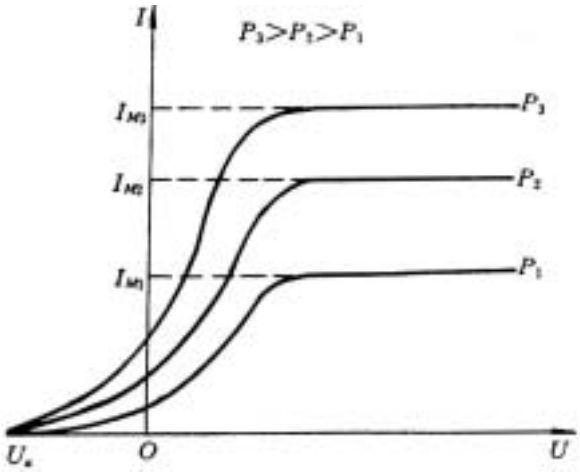

图 4-32-2　光电管的伏安特性曲线

（2）光电子的初动能与入射光的频率 ν 成正比，与光强无关。

不同有入射光频率有不同的初动能，即不同的入射光频率对应着不同的截止电压 U_a。而且存在一个阀频率 ν_0，当入射光频率 $\nu < \nu_0$ 时，无论光强多大，都不能释放出光电子，

故ν_0又称为截止频率。图 4-32-3 是截止电压与光频率的关系图。

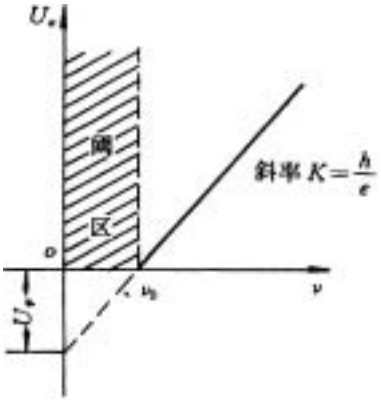

图 4-32-3　截止电压与光频率关系曲线

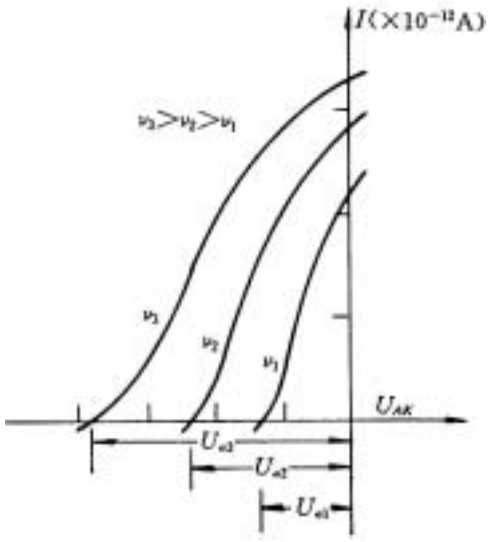

图 4-32-4　不同ν的伏安特性曲线

（3）光电效应是瞬时效应，当$\nu\geq\nu_0$时，一旦有光照射，立即产生光电子。按爱因斯坦方程有

$$\frac{1}{2}mv^2=h\nu-A \qquad (4\text{-}32\text{-}2)$$

式中，h 是普朗克常量，公认值为6.626×10^{-34} J·s；ν为入射光频率；A 为受光照射金属表面的逸出功。

由式（4-32-1）与式（4-32-2）有

$$eU_a=\frac{1}{2}mv^2=h\nu-A$$

即

$$U_a=\frac{h}{e}\nu-\frac{A}{2} \qquad (4\text{-}32\text{-}3)$$

由式（4-32-3）可知，对于不同频率的单色光照射同一光电管（h、e 和 A 一定）可得不同的遏止电压。这从对应的伏安特性曲线亦可看出，如图 4-32-4 所示。更确切地说，遏止电压U_a是入射单色光频率ν的线性函数。在直角坐标中作$\nu\sim U_a$关系曲线，若它是一条直线，通过$\nu\sim U_a$曲线求取斜率：$K=\dfrac{\Delta U_a}{\Delta\nu}$

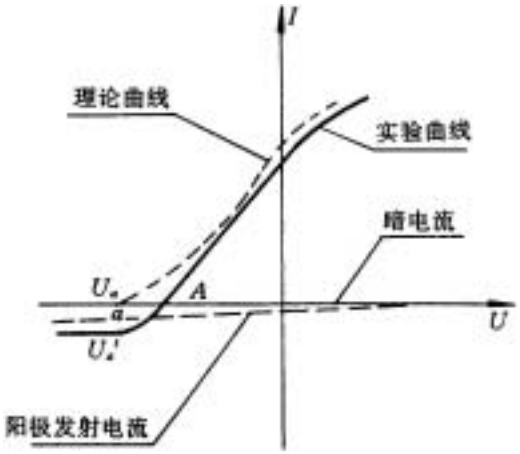

图 4-32-5　伏安特性曲线分析示意图

由式（4-32-3）知 $K=\frac{h}{e}$，则

$$h=Ke=\frac{\Delta U_e}{\Delta \nu}e$$

另外，找出 $\nu \sim U_a$ 曲线与横轴 ν 的交点，即可从图中测得该光电管的频率极限 ν_0。

下面谈一下，光电管实验伏安特性测绘法。

在实际的光电管实验中存在着附加的两个反向电流。其一，阳极（收集极）A 的反向光电子发射电流；当入射光照射到光阴极 K 上时，一般都会使阳极受到漫反射光的照射，致使阳极亦有光电子发射，而外加电压 U_{AK} 对此光电子成为加速电压，使之很容易抵达光阴极，形成反向阳极光电流，如图 4-32-5 所示；其二，当光电管不受任何光照时，由于阳极与光阴极间绝缘电阻不够高，以及常温下阳极 A 的热电子发射等因素，在外电压 U_{AK} 作用下形成微弱的反向电流，通常叫做光电管的暗电流，其伏安曲线近于线性，如图 4-32-5 所示。

由此可见实测光电流是实际阴极正向光电流、阳极反向光电流和反向暗电流的叠加结果，如图 4-32-5 中的实线所示。在实线与横轴相交的 A 点处，实测光电流确已为零，但真正阴极光电流并未遏止。故 $U_A \neq U_a$。随着反向外加电压绝对值的增加，伏安曲线并未终止而是继续向反向电流方向延伸，并逐渐趋向饱和。

如何准确地测出各频率入射光所对应的外加遏止电压 U_a 是本实验的关键。下面谈一下本实验所使用的交点法。

如果光电管阳极是采用逸出功 A 较大的材料，生产中又尽力防止阴极材料蒸发沾污阳极，实验时又注意防止入射光直射或强烈反射到阳极上以减小阳极反向光电流；另外在制造中提高光电管阳极与阴极间的绝缘性能以减小反向暗电流。这样光电管的实测伏安特性

曲线（实线）较贴近阴极的光电流曲线（上面一条虚线）如图 4-32-5 所示。因而 A 点亦靠近 a 点，对于这样的光电管我们可用实测的伏安特性曲线与横轴的交点值 U_A 来代表阴极光电流的真正遏止电压 U_a，这种用实测截止光电流的外加电压 U_A 作理论遏止电压 U_a 的方法即为交点法。

【实验内容】

（1）测量光电管的暗电流。

（2）测量某一入射光频率下光电管的伏安特性。

（3）改变入射光频率，测多个（如 5 个）频率下的伏安特性，找出不同频率下的截止电压 U_a。

（4）作出 $\nu \sim U_a$ 图，求出普朗克常量 h、截止频率 ν_0 和逸出电势 U_φ。

（5）确定一频率，改变入射光的强度（比如三个不同强度）测量光电管的伏安特性。

【数据处理】

（1）在坐标纸上绘制不同频率入射光照射下光电管的伏安特性曲线，准确找出不同频率对应的截止电压。

（2）作出不同频率下截止电压 U_a 和频率 ν 的关系曲线，求出普朗克常量、截止频率 ν_0 和逸出电势 U_φ。

（3）作出不同光强下的伏安特性曲线。

【注意事项】

（1）由于暗电流等的存在，截止电压不在光电流 $I=0$ 处而较难准确确定，故在电流开始变化的“抬头点”附近细心地多测几个点以保证较准确地确定截止电压。

（2）保护滤色片。更换滤色片时注意避免污染，不能用手触摸，如发现灰尘等可用镜头纸擦净，保证良好透光。

（3）保护光电管。实验前或实验完毕后用遮光罩盖住光电管暗盒进光窗，更换滤色片要先将汞灯光源出光孔遮盖住，避免强光直接照射阴极，缩短光电管寿命。

（4）保护光源。高压汞灯的功率较大，温度很高，实验完毕应及时关闭电源，以免影响使用寿命。

（5）光源与光电管暗盒之间距离宜取 30~50cm，从光源出光孔射出的光必须直照光电管阴极面，暗盒可作左右及高低调节。为避免光线直射阳极带来反向光电流增大，测试时光窗口需加合适孔径的光阑。

（6）光电管人射窗口不要面对其他强光源（如窗户等）以减少杂散光干扰。

（7）仪器不宜在强磁场、强电场、高湿度及温度变化率大的场合下工作。

（8）测量放大器和汞灯光源必须充分预热（30 分钟以上），对于测量放大器应特别注意，插上其电源插头，但不能打开电源开关，才是预热状态。

（9）连线时务必请先接好地线，后接信号线。特别注意不要让电压输出端 A 与地线短路以免烧毁电源。

【思考题】

（1）测量到的光电流是否完全是光电效应概念中的光电流?它还受到哪些因素的影响?

（2）你是如何减小截止电压的测量误差的?

（3）光电效应是如何验证光量子理论的?

【附　录】　普朗克常量测定仪

普朗克常量测定仪由四部分组成：带有暗盒的光电管、光源、滤色片和微电流测量放大器。

（1）GDH-1 型光电管：阳极为镍圈，阴极为银一氧一钾（Ag-O-K），光谱响应范围为 340.0~700.0nm，光窗为无铅多硼硅玻璃，最高灵敏波长为（410.0±10.0）nm，阴极光灵敏度约 $1\mu A/Lm$，暗电流约为 10^{-12}A。

为了避免杂散光和外界电磁场对微弱光电流的干扰，光电管安装在铝质暗盒中。暗盒窗口可以安放光阑和各种滤色片。此外还装有单色仪匹配头，方便操作者从单色仪中取得单色光来进行实验。

（2）光源采用 NJ-50WHg 仪器用高压汞灯。在 303.2-872.0nm 的谱线范围内有 365.0，404.7，435.8，491.6，546.1，577.0nm 等谱线可供实验使用。

（3）NG 型滤色片是一组外径为 Φ 36mm 的宽带通型有色玻璃组合滤色片。它具有滤选 365.0，404.7，435.8，546.1，577.0nm 等谱线的能力。

滤色片是产生单色光的一种装置，NG 型滤色片的参数如表 4-32-1。

表 4-32-1　滤色片参数表

型　号	NG365	NG405	NG436	NG546	NG577
选用波长（nm）	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
透过率（%）	48	40	20	30	25

（4）GY—III 微电流测量放大器：电流测量范围在 10^{-6}~10^{-13}A，分六档十进制变换，机内设有稳定度小于 1%、精密连续可调的光电管工作电源，电压量程分-2~0V 和 0~+20V 两档，读数精度为 0.001V。测量放大器可以连续工作 8 小时以上。