

光电效应测普朗克常数 h

光电效应充分显示了光的粒子性，它对人们认识光的本性及量子理论的建立起着极为重要的作用。1887年赫兹(H.Hertz)在验证电磁波的存在时意外地发现了光电效应现象，它所反映的实是经典电磁理论无法圆满解释的。1905年爱因斯坦(A.Einstein)把普朗克(M.Planck)提出的辐射能量子化的观点引入光辐射，提出了光的量子论，成功地解释了光电效应现象。1916年密立根以精确的光电效应实验证实了爱因斯坦光电效应方程的正确性，并测定了普朗克常数。而光电效应已经广泛地应用于现代科学技术的各个领域。利用光电效应制成的光电器件如光电管、光电倍增管、光电声电等器件，它们已成为生产及科研中不可缺少的器件。

一、实验目的

- 1.了解光电效应的基本规律，加深对光量子理论的认识；
- 2.了解光电管的结构和性能，测定其基本特性曲线，为正确使用光电管提供依据；
- 3.验证爱因斯坦光电效应方程，测定普朗克常数；
- 4.学习用作图法和线性拟合法处理数据。

二、实验原理

1. 光电效应及其规律

金属物质(或金属化合物)受光照射而释放出电子的现象,称为光电效应。所释放出的电子称为光电子。实验表明光电效应有如下基本规律:

只有当照射光的频率大于某一定值时,才会有光电子产生,如果光的频率低于这个值,则不论光的强度多大,照射时间多长,都没有光电子产生。

光电子的能量与光的频率成正比，而与光的强度无关。

光电子数的多少与光的强度成正比。

光电效应的这些实验规律是经典电磁理论无法解释的。

2. 光量子论与爱因斯坦光电效应方程

(1) 光量子论

光是由运动速度为 c 、能量为 $h\nu$ 的粒子(光子)组成的, 它被发射和吸收时也是以能量为 $h\nu$ 的微粒形式出现的, 其中 h 为普朗克常数, ν 为光的频率。

(2) 爱因斯坦光电效应方程

按照光量子理论，当光子入射到金属表面，其能量一次被电子吸收，电子获得的能量，其中一部分用作逸出金属表面所需的逸出功 W ，另一部分

则成为逸出后的初动能 $\frac{1}{2}m\nu^2$ ，根据能量守恒定律有

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

式(1)即为著名的爱因斯坦光电效应方程。由此方程可圆满地解释光电效应的实验规律。由方程可见：只有当照射光的频率 ν 大到 $h\nu \geq W$ ，即 $\nu \geq W / h = \nu_0$ 时才能产生光电效应， ν_0 为实验规律中所指的一定值，称为金属的截止频率，与金属材料的性质有关。光的频率低于 ν_0 时，则不会产生光电效应。光电子的初动能与照射光的频率 ν 成正比。光的频率一定时，射向金属表面的光子数越多，从金属中逸出的光电子也就越多，光电子数与照射光的强度成正比。

3. 光电管

光电管是利用光电效应原理制成的能将光信号转化为电信号的光电器件。

GD-4型真空光电管的结构如[图1](#)所示。它的外形是一只球形真空玻璃泡，在约半个内壁上，涂以容易发射电子的铯、铷等金属材料，制成具有半透明感光薄层的阴极。阳极作成小圆盘状，位于管的中央。

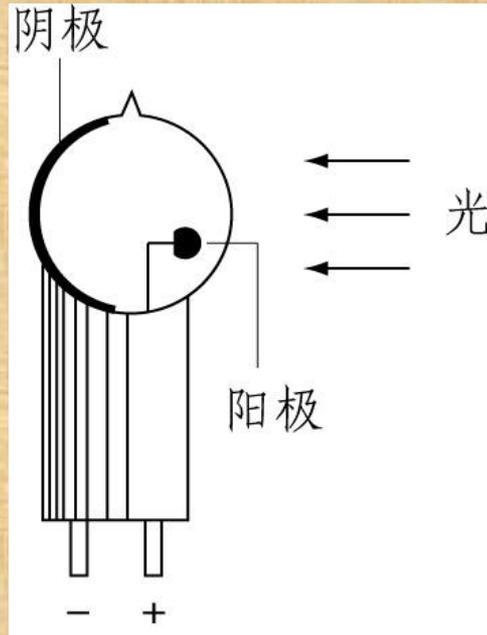


图1 GD-4型真空光电管结构简图

当阳极接正电势，阴极接负电势，且阴极受到适当频率的光照射时，阴极表面就发射光电子，这些电子在电场作用下，飞向阳极，形成电路中的光电流 I ，这个电流可用串联在电路中的电流计来测量。

从光电效应的基本规律可以看出，光电流 I 的大小与光电管本身的性质——阴极材料的性能以及外界条件——照射光的频率、强度和两极间电压 U (极间电压的高低反映了阳极收集光电子能力的大小)有关。在选用光电管时，必须知道光电流与这些条件之间的关系，也就是要了解光电管的一些特性。其主要特性有：

(1) 伏安特性

当照射光的频率和强度一定时，光电流随两极间电压变化的特性称为伏安特性，其曲线如图2所示。

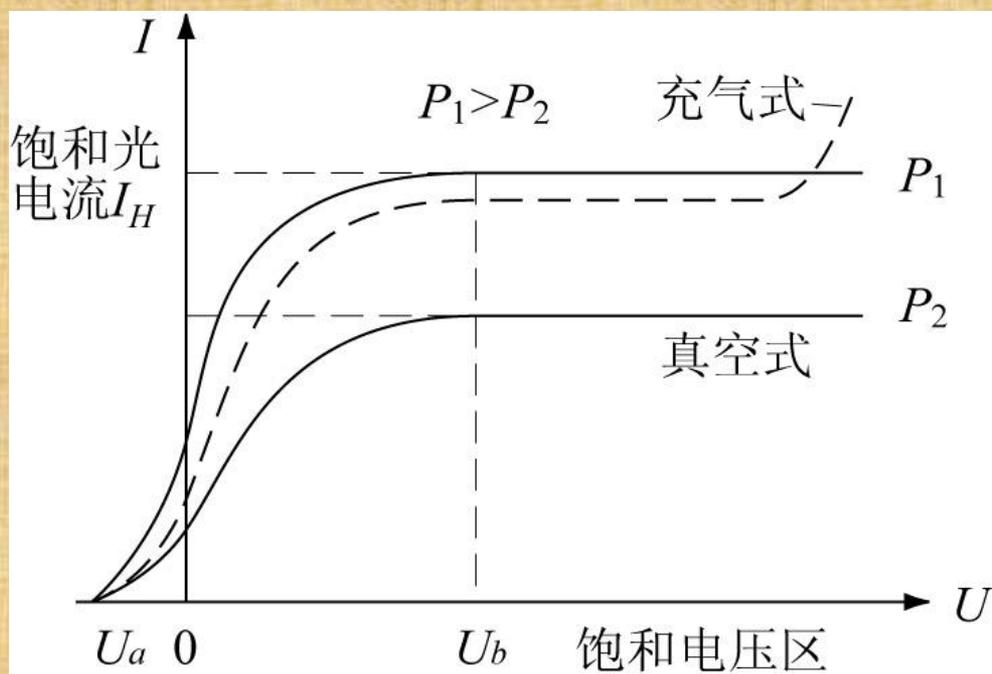


图2 光电管的伏安特性曲线

从图中可以看出，正向电压开始增加时，光电流也增加，当电压增加到某一数值后，光电流不再增加或增加很少，达到饱和，称为饱和光电流，使光电流达到饱和的最小正向电压 U_b 称为饱和电压。另外，饱和光电流 I_H 与光强 P 成正比。从图2可知，极间电压为零时光电流并不为零，这是因为有些光电子具有一定的初动能，即使没有电场作用，也能到达阳极形成较小的光电流。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，直至反向电压达到时 U_a ，光电流才为零， U_a 称为截止电压。这表明此时具有最大动能的光电子也被反向电场所阻挡，应有

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

(2) 光电特性

当照射光的频率和极间电压一定时，饱和光电流随照射光强度 P 变化的特性称为光电特性，对真空光电管成线性关系，如图3所示。

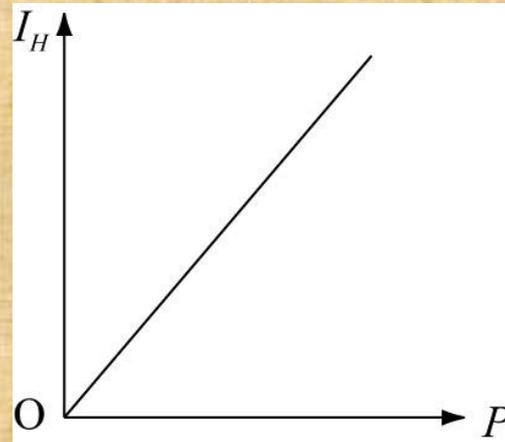


图3 光电管的光电特性曲线

(3) 积分灵敏度

不同类型的光电管，在规定工作电压下，对于同样的照射光强度，光电流的大小是不同的，描述光电管这一特性的参量称为积分灵敏度。即在一定强度的光照射下，每单位光通量所能产生的饱和光电流，其单位为 $\mu\text{A} / \text{lm}$ 。一般在光电管说明书上都给出了这个参量，根据该参量可以确定光电管适用的光强度范围。

(4) 光谱灵敏度

同一光电管，对于强度相同而频率不同的照射光，所产生的饱和光电流是不同的，描述光电管这一特性的参量称为光谱灵敏度。光电管饱和光电流随照射光频率变化的曲线称为光电管的光谱特性曲线，如图4所示。图中横坐标为照射光的波长，纵坐标为光电流的相对强度（即光电流相对于最大光电流的百分数）。光谱特性曲线中光电流不为零所对应的波长范围称为光电管的光谱响应范围，光电流最大处所对应的波长称为峰值波长。光电管所使用的阴极材料不同，光谱灵敏度也不同，根据光谱特性曲线可确定各种光电管适用的光谱范围。

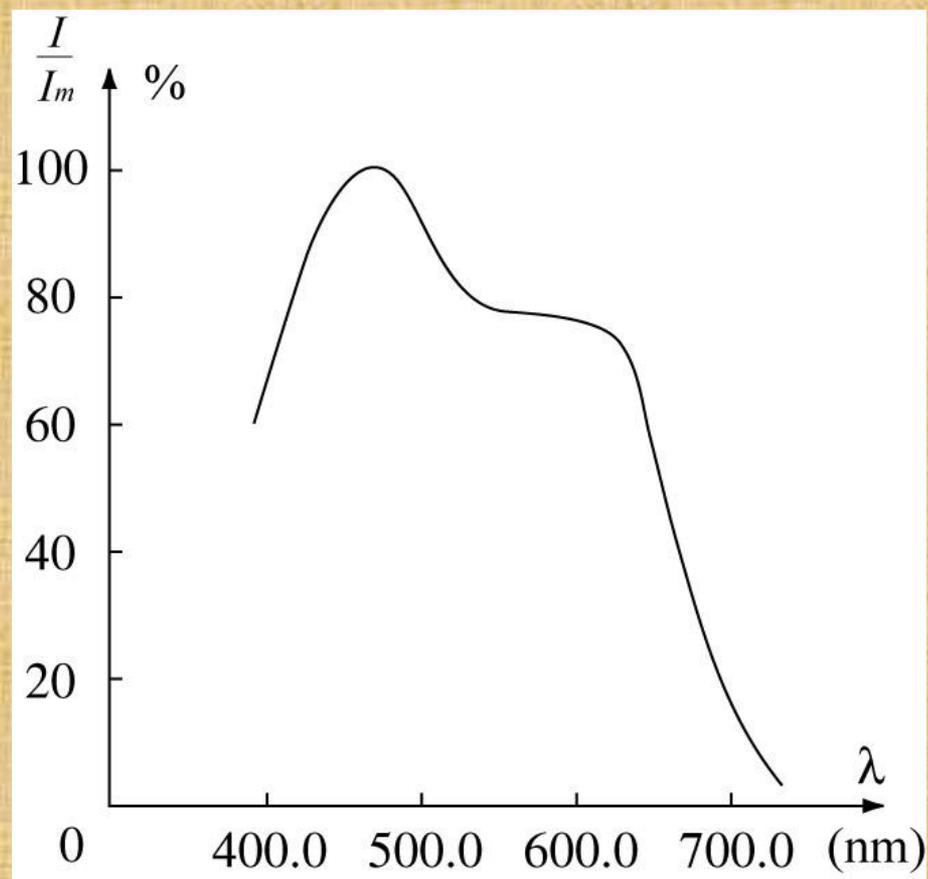


图4 光电管的光谱特性曲线

4. 用光电效应测定普朗克常数

(1) 测量原理

由原理3中的伏安特性知，当光电管上的电压达到截止电压时，有 $\frac{1}{2}mv^2 = eU_a$ ，而由截止频率的定义有 $W = hv_0$ 。将这些关系代入爱因斯坦光电效应方程则有

$$hv = eU_a + hv_0 \quad (2)$$

$$U_a = \frac{h}{e}(v - v_0)$$

式(2)表明，截止电压 U_a 是入射光频率 ν 的线性函数，即 U_a 与 ν 成直线关系。因此，只要用实验测出不同频率光照射下光电管的截止电压与照射光频率的关系曲线——直线，如图5所示。则由直线的斜率就可求出普朗克常数 h ，由直线的截距可求得截止频率 ν_0 。

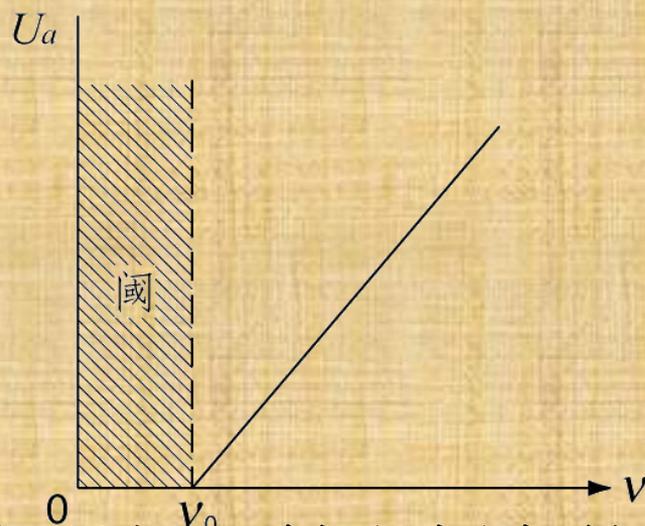


图5 截止电压与入射光频率的关系图线

(2)实际测量中截止电压的确定

实际测量所得的光电管伏安特性要比图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，由于阴极材料本身的热电子发射及光电管管壳漏电等原因所产生的光电流称为暗电流。各种杂散光入射到光电管上所产生的光电流称为本底电流。这两种电流均随极间电压的大小而变化，它们属于实验中的系统误差，实验时可将它们测出，并在作图时消除其影响。

②存在阳极反向光电流。在制作光电管阴极时，阳极也会溅射上阴极材料，故光射到阳极上亦会发射光电子，形成阳极反向光电流。

因此，实际的光电流是以上三种电流及阴极电流的叠加结果。为了准确找出截止电压，必须设法消除暗电流、本底电流及阳极反向电流的影响。暗电流和本底电流可通过从实际光电流中减去无光照时的光电流来消除。消除了暗电流和本底电流后的伏安特性如[图6](#)中的实线所示。阳极反向电流通常根据所使用的光电管的具体特性的不同采用以下两种方法来处理。

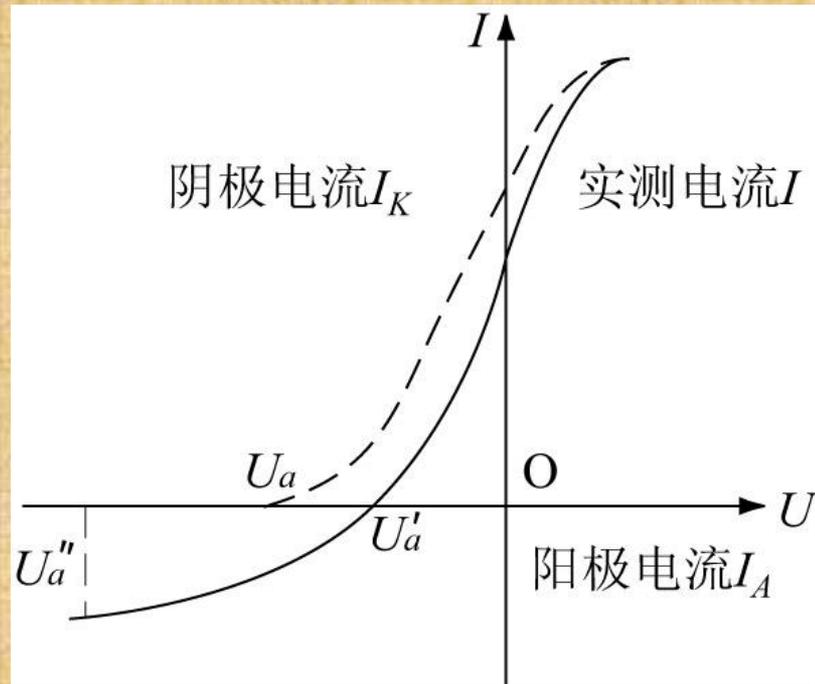


图6 消除暗电流和本底电流后
光电管的实际伏安特性曲线

交点法：如果光电管阳极用逸出功较大的材料制作，制作过程中尽量防止阴极材料蒸发，实验前对光电管阳极通电，减少其上溅射的阴极材料，实验中避免入射光直接照射到阳极上。这样可使阳极反向电流大大减小，其伏安特性曲线与图2十分接近，故实验所测得的伏安特性曲线与电压轴的交点即可近似等于截止电压 U_a 。

拐点法：如果光电管的阳极反向电流虽然较大，但在光电管的结构设计上，使伏安特性曲线具有陡直的形状，反向阳极电流又能较快饱和，则伏安特性曲线反向电流进入饱和段有着明显的拐点，如图6所示。显然此拐点的电压 U_a'' 即为截止电压 U_a 。实验中应根据伏安特性曲线的形状，选用适当的处理方法。

三、实验方法及内容

1. 光电效应实验装置原理

光电效应实验装置原理如图7所示。其中， T 为滤光片或中性减光片，用于从光源中选出所需频率的照射光或改变照射光的强度； CD 为光电管， K 、 A 分别为光电管的阴极和阳极； G 为微电流测试仪， V 为直流电压表，分别用于测量光电管所产生的光电流及两端的电压； E 为直流电源， R 为滑线式变阻器， E 、 R 组成的电路为光电管提供所需的电压。

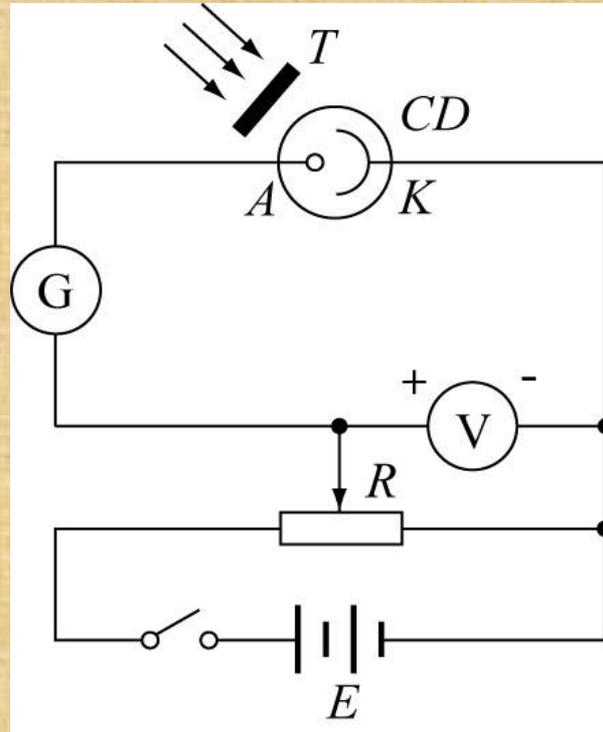


图7 光电效应实验装置原理图

2. 光电效应测试仪简介

基于上述装置原理所制成的光电效应测试仪的结构如图8所示，它包括五部分。

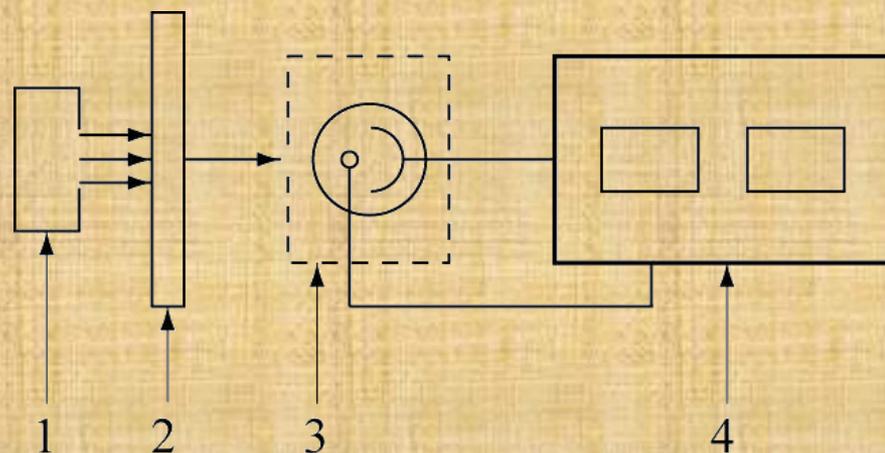


图8 GD-1型光电效应测试仪结构简图

1-光源；2-滤光片或减光片；

3-带暗盒的光电管；4-微电流测试仪

汞灯光源：谱线范围为302.3~872.0nm。

滤光片：滤光片是一组通用有色玻璃滤色片，它具有从光源中滤选出不同谱线的能力。本实验所用滤光片能选出365.0nm，404.7nm，435.8nm，546.1nm，577.0nm等谱线。

减光片：中性减光片是一组具有不同灰度的玻璃片，它具有衰减光强的能力，用于从同一光源获得不同的光强。本实验所用的3块减光片对波长为577.0nm的单色光的透过率分别为：25%，50%，75%。

带暗盒的光电效应专用光电管：本实验所用光电管为GDh-45型光电管，光谱响应范围190.0~700.0nm，峰值波长 400.0 ± 20.0 nm；积分灵敏度 10^{-11} A / lm；工作电压30V。为了避免杂散光和外界电磁场对弱光电信号的干扰，光电管被放置在铝质的暗盒中。

微电流测试仪：用于测量光电管所产生的光电流，并且在机内设有精密可调的供光电管工作的电源。

五、思考题

- 1. 了解光电管的伏安特性及光电特性有何实用意义？
- 2. 从截止电压 U_a 与入射光频率 ν 的关系图线，你能确定阴极材料的逸出功吗？
- 3. 测普朗克常数的实验中有哪些误差来源？实验中是如何减小这些误差的？你有何建议？