

PG—II 型普朗克常数测试仪

使用说明书

南京光大教学仪器厂

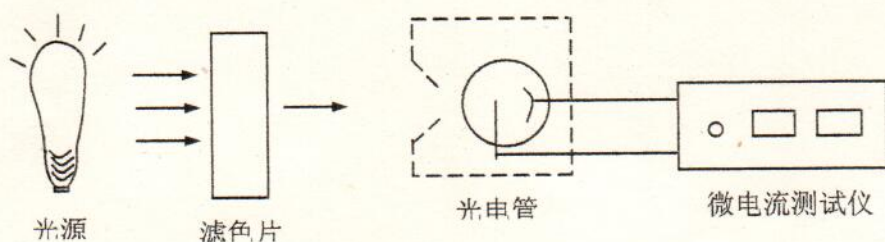
地址：南京市白下区友谊河路 16 号 邮编：210007
电话：025-84271017 84271003 传真：025-84271017
网址：www.njgdjy.com E-mail: njgd@njgdjy.com

PG—II 型普朗克常数测试仪使用说明书

PG—II 型普朗克常数测试仪是为验证爱因斯坦方程和求取普朗克常数而设计的一种物理实验教学仪器。本仪器设计新颖，结构牢固，操作简便，实验数据准确，可供高等院校，中等专业学校开设近代物理或普通物理实验，教学所用。本仪器采用数字电表，显示电压、电流，直观，数据准确度高。

一、 仪器结构和技术条件：

1、 结构原理示意图：



- 2、 GDh—1 型光电管，阳极为镍圈，阴极为银—氧—钾 (Ag-o-k)，光谱响应范围 3400\AA — 7000\AA ，阴极灵敏度约 $1\mu\text{A/Lm}$ ，暗电流约 10^{-12}A 。为避免散光和外界磁场对微弱电流的干扰，光电管安装在暗盒中，暗盒窗口可以安放 $\Phi 5\text{mm}$ 光栅孔和 $\Phi 36\text{mm}$ 各种带通滤色片，通过螺钉固定，可以左右高低调节。
- 3、 光源采用 GGQ—50wHg 使用高压汞灯。光源与光电盒暗盒安装在导轨上，根据实验需要，可调节两者之间的距离。
- 4、 滤色片是一组外径为 36mm 的带通型有色玻璃片，它具有滤选 3650 、 4047 、 4358 、 5461 、 5770\AA 等谱线的能力。
- 5、 PG—II 型微电流测试仪：电流测量范围在 10^{-7} — 10^{-13}A ，分七档十进制变换。电压量程 0 — $\pm 5\text{V}$ ，测试仪可连续工作 8 小时以上。

二、 注意事项：

- 1、 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。
- 2、 配套滤色片是精选加工的组合玻璃片，注意避免污染，保持良好的透光率。更换滤色片时先将光源出光孔遮住，而且实验完毕后，也要遮住光电管暗盒窗口，避免强光照射，缩短光电管寿命。
- 3、 汞灯电源关停之后，不能立即重新开启，否则灯会不亮，必须待几分钟之后，再开通电源。
- 4、 电流调节装置按装在一封闭盒内，盒内装有变色硅胶，用于调节盒内湿度。如仪器长期不用（半年以上，特别东南沿海地区）应检查硅胶是否由兰色变为粉红色（失效）；或查看仪器：在调零、满度校准后，不连接输入电流屏蔽线时，电流调节开关至 $\times 10^{-6}$ 档，如电流表指示远离零点，此时应更换硅胶。机箱底部有一圆盖，打开更换硅胶，换后请随即封好。

三、 仪器及附件：

- 1、 PG—II 型微电流测试仪一台。
- 2、 光源及光电管暗盒一套。

- 3、有色玻璃滤色片五组及 $\Phi 5\text{mm}$ 、 $\Phi 10\text{mm}$ 小孔光栅一套。
- 4、电源线及屏蔽线二根。

光电效应普朗克常数测定

量子论是近代物理的基础之一，而光电效应可以给量子论以直观、鲜明的物理图象。随着科学技术的发展，光电效应已广泛用于工农业生产、国防和许多科技领域。普朗克常数（公认值 $h=6.62619 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ ）自然科学中一个很重要的常数，它可以用光电效应法简单而又准确地求出。所以，进行光电效应实验并通过实验求取普朗克常数有助于学生理解量子理论和更好地认识 h 这个常数。

1887 年 H·赫兹在验证电磁波存在时意外发现，一束光照射到金属表面，会有电子从金属表面逸出。这个物理现象被称为光电效应。

1888 年以后，W·哈耳瓦克斯、A·T 斯托列托夫、P·勒纳德等人对光电效应作了长时间地研究，并总结出了光电效应的基本实验事实：（1）、光电发射率（光电流大小）与光强成正比，（图 1、a、b）；（2）、光电效应存在一个阈频率（或称截止频率），当入射光的频率 ν 低于某一阈值 ν_0 时，不论光的强度如何，都没有光电子产生，（图 1、c）；（3）、光电子的动能与光强无关，但与入射光的频率成正比（图 1、d）；（4）、光电效应是瞬时效应，一经光线照射，立刻产生光电子，停止光照，即无光电子产生。然而用麦克斯韦的经典电磁理论无法对上述实验事实作出完满的解释。

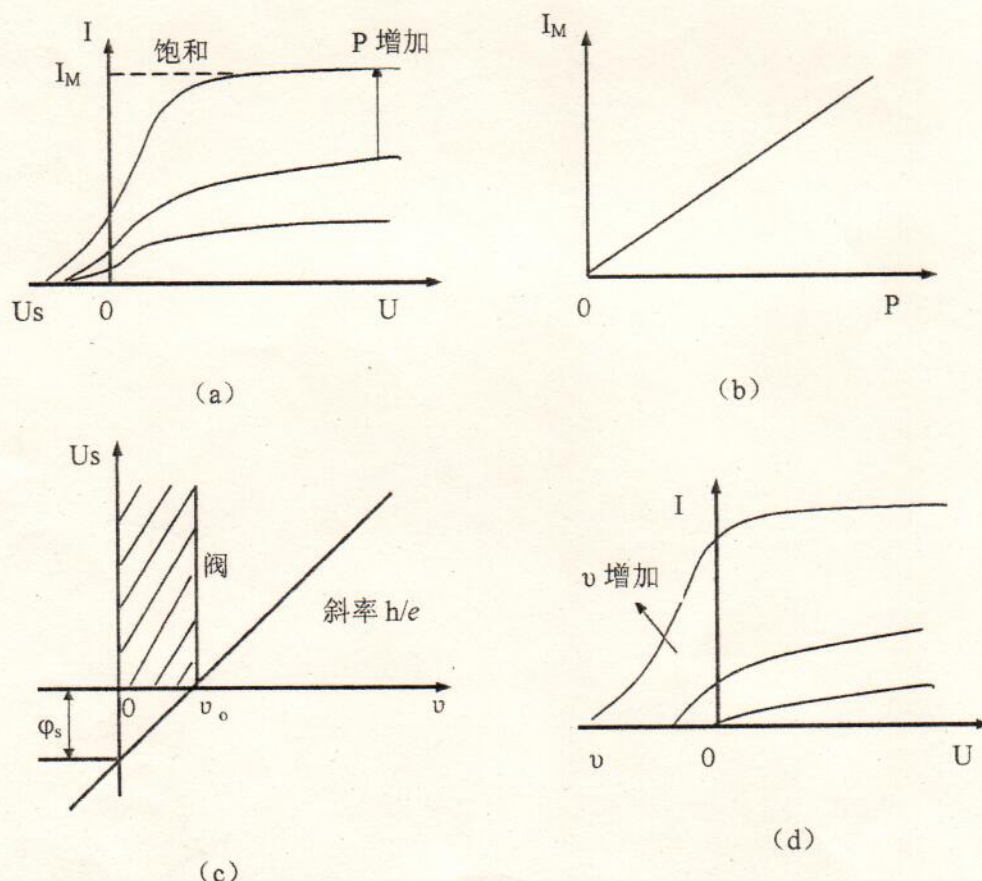


图 1 关于光电效应的几个特性

1905 年 A·爱因斯坦大胆地把 1900 年 M·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，从而给光电效应以正确的理论解释。

对于爱因斯坦的假设,许多学者(诸如剑桥大学的 A·休斯,普林斯顿大学的 O·W·理查逊、K·T 康普顿等)都做了许多工作,企图验证爱因斯坦方程的正确性。然而卓有成效的工作应该属于芝加哥大学莱尔逊实验室的 R·A 密立根,他从 1905 年爱因斯坦的论文问世后立即对光电效应开展全面的详尽的实验研究,经过十年左右艰苦卓绝的工作,1916 年密立根发表了详细的实验论文,证实了爱因斯坦方程的正确,并精确测出了普朗克常数 $h=6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$,它与 M·普朗克按绝对黑体辐射律中的常数计算的值完全一致。

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

一、实验目的

- 1、通过光电效应实验了解光的量子性。
- 2、测量光电管的弱电流特性,找出不同光频率下的截止电压。
- 3、验证爱因斯坦方程,并由此求出普朗克常数。

二、实验原理

A·爱因斯坦认为从一点发出的光,不是按麦克斯韦电磁学说指出的那样以连续分布的形式把能量传播到空间,而是以频率为 ν 的光,以 $h\nu$ 为能量单位(光量子)的形式一份一份地向外辐射,至于光电效应,是具有能量 $h\nu$ 的一个光子作用于金属中的一个自由电子,并把它的全部能量都交给这个电子而产生的。如果电子脱离金属表面耗费的能量为 W_s 的话,则由光电效应中被光子打出来的电子的动能为:

$$E=h\nu-W_s \quad \text{或} \quad \frac{1}{2}m\nu^2=h\nu-W_s \quad (1)$$

式中: h —普朗克常数: 公认值为 $6.62619 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$

ν —入射光的频率

m —电子的质量

ν —光电子逸出金属表面时的初速度

W_s —受光线照射的金属材料的逸出功(或功函数)

在(1)式中, $\frac{1}{2}m\nu^2$ 是没有受到空间电荷阻止,从金属中逸出的电子的最大初动能。由(1)式可见,入射到金属表面的光频率越高,逸出来的电子最大初动能必然也越大,(如图 1、d)。正因为光电子具有最大初动能,所以即使阳极不加电压也会有光电子落入而形成光电流,甚至阳极相对于阴极的电位低时,也会有光电子落到阳极,直到阳极电位低于某一数值时,所以光电子都不能到达阳极,光电流才为零。(如图 1、a)。这个相对于阴极为负值的阳极电位 U_s 被称为光电效应的截止电位(或称做截止电压)。

$$\text{显然,此时有} \quad eU_s - \frac{1}{2}m\nu^2 = 0 \quad (2)$$

$$\text{代入(1)式即有} \quad eU_s = h\nu - W_s \quad (3)$$

由于金属材料的逸出功 W_s 是金属的固有属性,对于给定的金属材料 W_s 是一个定值,它与入射光的频率无关。令 $W_s = h\nu_0$, ν_0 —阈频率;即具有阈频率 ν_0 的光子恰恰具有逸出功 W_s 而没有多余的动能。

$$\text{将(3)式改写为} \quad U_s = h/e \nu - W_s/e = h/e (\nu - \nu_0) \quad (4)$$

(4)式表明,截止电位 U_s 是入射光频率 ν 的线性函数。当入射光的频率 $\nu = \nu_0$ 时,截止电压 $U_s = 0$ 时,没有光电子析出。(图 1、c)所示的 $U_s - \nu$ 的斜率 $K = h/e$ 是一个正常数。

$$\text{于是可写成:} \quad h = eK \quad (5)$$

可见,只要用实验方法作出不同频率下的 $U_s - \nu$ 曲线,并求出此曲线的斜率 K ,就可以通过(5)求出普朗克常数 h 的数值。其中 $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{C}$ 是电子电荷量。

图 2 是用光电管进行光电效应实验、测量普朗克常数的实验原理图。

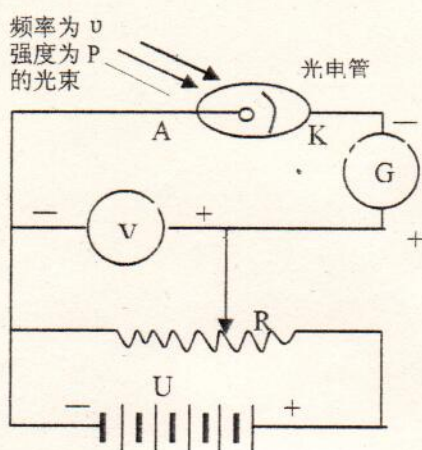


图2 实验原理图

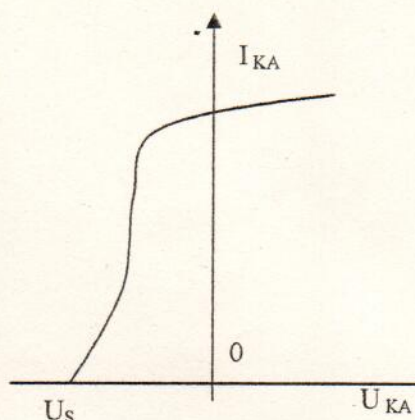


图3 光电管起始 I—U 特性

频率为 ν 、强度为 P 的光线照射到光电管阴极上, 即有光电子从阴极逸出, 如图所示。在阳极 A 加正电位, 阴极 K 加负电位时, 光电子被加速, 形成光电流。加速电位差 U_{AK} 越大, 光电流越大, 当 U_{AK} 达到一定值时, 光电流达到饱和值, 而饱和值与光电强度成正比。当阴极 K 和阳极 A 之间加有反向电位 U_{KA} , K 加正电位, A 加负电位, 它使电极 K 、 A 之间建立起的电场, 对逸出的光电子起减速作用, 光电流迅速减小, 随着电位 U_{KA} 负到一定量值, 光电流为零, 此时的 U_{KA} 称为截止电位差, 用 U_s 表示。

当 $U_{KA}=U_s$ 时, 光电流降为零。见图3光电管的起始 $I-U$ 特性曲线。不同频率光的照射, 可以得到与之相对应的 $I-U$ 特性曲线和对应的 U_s 电压值。在直角坐标中作出 $U_s-\nu$ 关系曲线, 如果它是一根直线, 就证明了爱因斯坦光电效应方程式 (1) 的正确。而由该直线的斜率 K 则可求出普朗克常数 ($h=eK$)。另外, 由该直线与坐标横轴的交点, 又可求出该光阴极的截止频率 (阈频率) ν_0 , 该直线的延线与坐标纵轴的交点又可求出光阴极的逸出电位 ϕ_s , (见图1、c)

必须指出: 爱因斯坦方程是在同种金属做发射体 (阴极) 和接收体 (阳极) 的情况下导出的。在用光电管进行光电效应实验、测量普朗克常数时, 应该考虑接触电位差带来的影响。

我们知道, 两种金属接触的地方存在“接触电位差”。接触电位差的大小与这些金属的逸出功 W_s 有关。光电管大都用逸出功大的金属做阳极, 用逸出功小的金属做阴极 (例如阳极为镍 $W_n=4.96\text{eV}$, 阴极为钾 $W_K=1.6\text{eV}$ 小于镍的 W_n 或逸出电位 $\phi_A > \phi_K$)。光电管两电极间的电位 U_{KA} 跟两电极的逸出电位 ϕ_A 、 ϕ_K 及外加电压 U'_{KA} 之间有下列关系:

$$U_{KA}=U'_{KA}+\phi_A-\phi_K \quad (6)$$

在截止电压情况下

$$U_s=U'_s+\phi_A-\phi_K$$

代入(3)式得

$$eU'_s+e\phi_A-e\phi_K=h\nu-e\phi_K \quad (7)$$

$$U'_s=h/e\nu-\phi_A$$

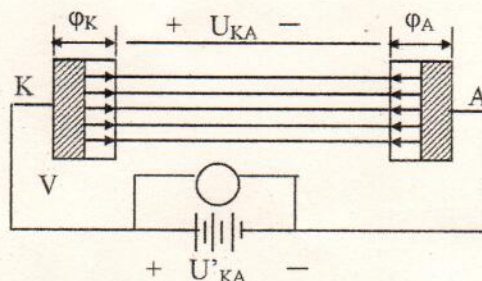


图4 光电管电极间的电位分布

反映到 $I-U$ 特性曲线上, 是电流轴 I_{KA} 作了 ϕ_{AK} 平移 (图5、a), 而在 $U_s-\nu$ 关系曲

线中则是频率轴作了 φ_{Ak} 的平移 (图 5、b)。 $U_s - \nu$ 特性曲线与 U_s 轴的交点 φ_s 代表的不是阴极逸出电位 φ_{sk} , 而是阳极逸出的电位 φ_{sA} 。曲线与 ν 轴的交点 ν_0 代表也只是阳极截止频率 ν_{0A} 。所以, 欲知阴极逸出电位 φ_{sk} 和截止频率 ν_{0K} , 必须先清楚两极之间的接触电位差 φ_{Ak} 。

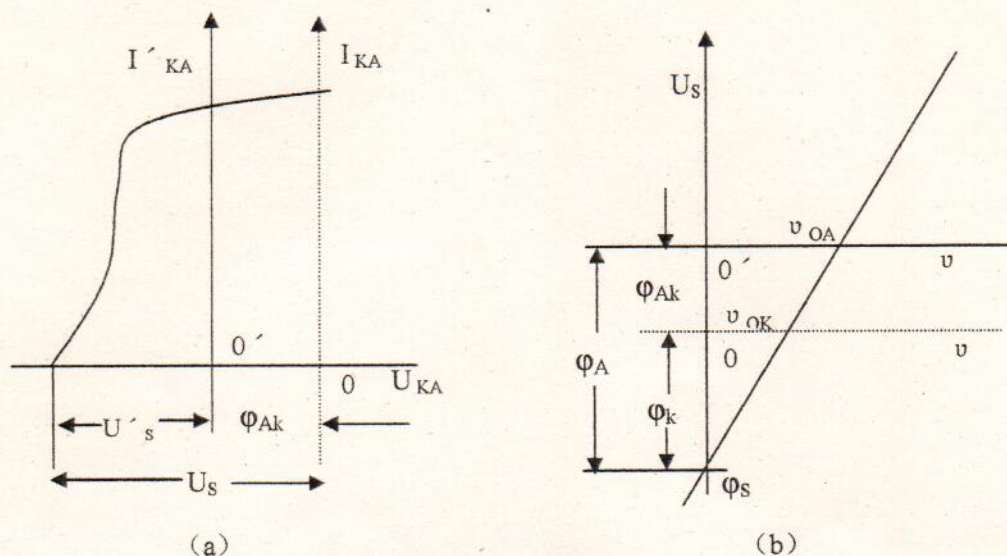


图 5 光电管极间接触电位差的影响

在用工业光电管进行此项实验时, 由于制作工艺等原因, 阳极均溅射上了阴极材料, 并且无法去除。此时, 可认为 $\varphi_A = \varphi_K$, 并有 $U_s = U'_s$ 。 $U_s - \nu$ 曲线与纵、横坐标轴的交点可认为是阴极材料的逸出电位 φ_{sk} 和截止频率 ν_{0K} 。

三、实验误差来源及消除方法

实验测出的电流包括暗电流、本底电流和反向电流。

(1) 暗电流。主要是由室温下的热电子发射形成的。

(2) 本底电流。由室内杂散光射入光电管造成。

(3) 反向电流。制造光电管时, 阳极 A 往往也溅射有阴极材料, 所以当光照射到 A 上或由 K 漫反射到 A 上时, A 也有光电子发射。当 A 加负电位, K 加正电位时, 对 K 发射的光电子起了减速作用, 对 A 发射的光电子起加速作用, 形成反向电流。所以 $I-U$ 关系就如图 6 所示。

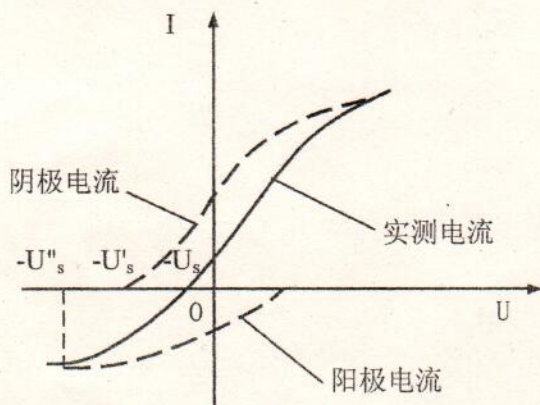


图 6 光电管的伏安特性曲线

以上三种电流给实验带来误差, 所以实验时要加以消除。消除方法如下。

(1) 对暗电流: 盖上遮光盖, 加反向电压可测出暗电流曲线, 用此曲线修正数据。

(2) 对本底电流: 用较长的筒罩遮光, 即可消除绝大部分杂散光的影响, 有条件暗室内做实验更佳。

(3) 对反向电流: 加足够大的反向电压 ($-2V$), 看电流表指示是否为零, 若不为零, 可适当调节光栏或光电管位置 (光射入 K 面的位置), 使电流表指示为零。

四、 实验步骤

1、 测试前的准备:

(1)、认真阅读:“使用说明书”,安放好仪器,用遮光罩盖住光电管暗盒窗口,接通电源,让微电流测试仪预热 20—30 分钟,汞灯预热 5 分钟以上。

(2)、充分预热后,先调整零点,使微电流表数字为零,后校正满度(即-100 μ A),旋动“电流调节”至倍率各档,电流指示应处于零位附近,如不符应检查电流调节盒内干燥剂是否失效。

(3)、光源与暗盒距离选取 35—45cm 并选用 ϕ 5mm 或 ϕ 10mm 孔光栅。

(4)、用随机附带的屏蔽线将测试仪的“电流输入”端连接至光电盒上的“K”端;“电压输出”端红线连接至光电管暗盒上的“A”端,黑线至“ \perp ”端。

2、 测量光电管的暗电流:

(1)、将测试仪的“倍率”旋扭置($\times 10^{-5}$) (此时暗盒盖上遮光罩)

(2)、顺时针缓慢旋转“电压调节”旋扭、从 0—2V,每隔 0.2V 测一个点,仔细记录不同电压下的相应电流值(电流值=倍率 \times 电表读数 $\times \mu$ A)此时所读得的即为光电管的暗电流。做出暗电流 I—U 曲线。

3、 测量光电管的 I—U 特性:

(1)、将测量放大器“电流调节”倍率旋扭置($\times 10^{-5}$)。除去遮光罩,换上滤色片。并选用 ϕ 5mm 或 ϕ 10mm 孔光栅一道罩在暗盒进光窗口上,“电压调节”从-2 调起,缓慢增加,先观察一遍不同滤色片下的电流变化情况,记下电流明显变化的电压值以便精测。

(2)、用上述方法,从短波长起逐次换入滤色片,每换一次滤色片,电压每隔 0.2V 测一组 I—U 数据并记入表一。(在电流开始变化较大的地方,如 U_s 附近,多测几个值,以便作图,同时能较准确测定 U_s 值)。

表一 距离 L= cm 光阑孔 Φ = mm

365nm	$U_{KA}(V)$								
	$I_{KA}(\times 10^{-11}A)$								
405nm	$U_{KA}(V)$								
	$I_{KA}(\times 10^{-11}A)$								
436nm	$U_{KA}(V)$								
	$I_{KA}(\times 10^{-11}A)$								
546nm	$U_{KA}(V)$								
	$I_{KA}(\times 10^{-11}A)$								
577nm	$U_{KA}(V)$								
	$I_{KA}(\times 10^{-11}A)$								

(3)、在精度合适的方格坐标纸(例如 25 \times 20 公分)上,仔细作出不同波长(频率)的 I—U 曲线,从曲线中认真找出电流开始变化的“抬头点”,确定 I_{AK} 的截止电压 U_s ,并记入表二。

表二 距离 L= cm 光阑孔 Φ = mm

波长 (nm)	365	405	436	546	577	$h \times 10^{-34} J \cdot s$	$\sigma(\%)$
频率 ($\times 10^{14} Hz$)	8.22	7.41	6.88	5.49	5.20		
$U_s (V)$							

(4)、不同频率下的截止电压 U_s 描绘在方格纸上,即作出 U_s — ν 曲线。如果光电效应

遵从爱因斯坦方程, 则 $U_s = F(\nu)$ 关系曲线应该是一根直线。求出直线的斜率: $K = \Delta U_s / \Delta \nu$ 代入 (5) 求出普朗克常数 $h = eK$ 。并算出所测值与公认值之间的误差。

(5)、改变光源与暗盒的距离 L 或光栅孔 Φ , 重做上述实验。实验作图范例如下:

