

预习 操作记录		实验报告 总评成绩	

《大学物理实验》课程实验报告

专业：实验人姓名：学号：

参加人姓名：

日期： 年 月 日 室温：相对湿度：

实验 10 光电效应测定普朗克常数

[一、实验前思考题]

1. 光电效应是指什么？产生条件是什么？
2. 利用光电效应测量普朗克常量 h 的物理学原理是什么？
3. 什么是截止电压？如何测量截至电压？

[二、实验目的]

1. 了解光电效应的规律，加深对光的量子性的理解；
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，测量普朗克常数 h 。

[三、仪器用具]

编号	仪器名称	数量	主要参数（型号，测量范围，精度）
1	光电效应实验仪	1	
2	高压汞灯	1	
3	光电管	1	
4	滤光片	1	
5	光阑	1	
6	遮光盖	1	

[四、原理概述]

1. 前言

光电效应是指一定频率的光照射在金属表面时会有电子从金属表面逸出现象。光电效应实验对于认识光的本质及早期量子理论的发展，具有里程碑式的意义。自古以来，人们就试图解释光是什么，到 17 世纪，研究光的反射、折射、成像等规律的几何光学基本确立。牛顿等人在研究几何光学现象的同时，根据光的直线传播性，认为光是一种微粒流，微粒从光源飞出来，在均匀物质内以力学规律作匀速直线运动。微粒流学说很自然的解释了光的直线传播等性质，在 17、18 世纪的学术界占有主导地位，但在解释牛顿环等光的干涉现象时遇到了困难。

惠更斯等人在 17 世纪就提出了光的波动学说，认为光是以波的方式产生和传播的，但早期的波动理论缺乏数学基础，很不完善，没有得到重视。19 世纪初，托马斯·杨发展了惠更斯的波动理论，成功的解释了干涉现象，并提出了著名的杨氏双缝干涉实验，为波动学说提供了很好的证据。1818 年，年仅 30 岁的菲涅耳在法国科学院关于光的衍射问题的一次悬赏征文活动中，从光是横波的观点出发，圆满的解释了光的偏振，并以严密的数学推理，定量地计算了光通过圆孔、圆板等形状的障碍物所产生的衍射花纹，推出的结果与实验符合得很好，使评奖委员会大为叹服，荣获了这一届的科学奖，波动学说逐步为人们所接受。1856-1865 年，麦克斯韦建立了电磁场理论，指出光是一种电磁波，光的波动理论得到确立。

19 世纪末，物理学已经有了相当的发展，在力、热、电、光等领域，都已经建立了完整的理论体系，在应用上也取得巨大成果。就当物理学家普遍认为物理学发展已经到顶时，从实验上陆续出现了一系列重大发现，揭开了现代物理学革命的序幕，光电效应实验在其中起了重要的作用。

1887 年赫兹在用两套电极做电磁波的发射与接收的实验中，发现当紫外光照射到接收电极的负极时，接收电极间更易于产生放电，赫兹的发现吸引许多人去做这方面的研究工作。斯托列托夫发

现负电极在光的照射下会放出带负电的粒子，形成光电流，光电流的大小与入射光强度成正比，光电流实际是在照射开始时立即产生，无需时间上的积累。1899 年，汤姆逊测定了光电流的荷质比，证明光电流是阴极在光照射下发射出的电子流。赫兹的助手勒纳德从 1889 年就从事光电效应的研究工作，1900 年，他用在阴阳极间加反向电压的方法研究电子逸出金属表面的最大速度，发现光源和阴极材料都对截止电压有影响，但光的强度对截止电压无影响，电子逸出金属表面的最大速度与光强无关，这是勒纳德的新发现，勒纳德因在这方面的工作获得 1905 年的诺贝尔物理奖。

光电效应的实验规律与经典的电磁理论是矛盾的，按经典理论，电磁波的能量是连续的，电子接受光的能量获得动能，应该是光越强，能量越大，电子的初速度越大；实验结果是电子的初速与光强无关；按经典理论，只要有足够的光强和照射时间，电子就应该获得足够的能量逸出金属表面，与光波频率无关；实验事实是对于一定的金属，当光波频率高于某一值时，金属一经照射，立即有光电子产生；当光波频率低于该值时，无论光强多强，照射时间多长，都不会有光电子产生。光电效应使经典的电磁理论陷入困境，包括勒纳德在内的许多物理学家，提出了种种假设，企图在不违反经典理论的前提下，对上述实验事实作出解释，但都过于牵强附会，经不起推理和实践的检验。

1900 年，普朗克在研究黑体辐射问题时，先提出了一个符合实验结果的经验公式，为了从理论上推导出这一公式，他采用了玻尔兹曼的统计方法，假定黑体内的能量是由不连续的能量子构成，能量子的能量为 $h\nu$ 。能量子的假说具有划时代的意义，但是无论是普朗克本人还是他的许多同时代人当时对这一点都没有充分认识。爱因斯坦以他惊人的洞察力，最先认识到量子假说的伟大意义并予以发展，1905 年，在其著名论文《关于光的产生和转化的一个试探性观点》中写道：“在我看来，如果假定光的能量在空间的分布是不连续的，就可以更好的理解黑体辐射、光致发光、光电效应以及其它有关光的产生和转化的现象的各种观察结果。根据这一假设，从光源发射出来的光能在传播中将不是连续分布在越来越大的空间之中，而是由一个数目有限的局限于空间各点的光量子组成，这些光量子在运动中不再分散，只能整个的被吸收或产生”。作为例证，爱因斯坦由光子假设得出了著名的光电效应方程，解释了光电效应的实验结果。

爱因斯坦的光子理论由于与经典电磁理论抵触，一开始受到怀疑和冷遇。一方面是因为人们受传统观念的束缚，另一方面是因为当时光电效应的实验精度不高，无法验证光电效应方程。密立根从 1904 年开始光电效应实验，历经十年，用实验证实了爱因斯坦的光量子理论。两位物理大师因在光电效应等方面的杰出贡献，分别于 1921 和 1923 年获得诺贝尔物理学奖。密立根在 1923 年的领奖演说中，这样谈到自己的工作：“经过十年之久的实验、改进和学习，有时甚至还遇到挫折，在这以后，我把一切努力针对光电子发射能量的精密测量，测量它随温度，波长，材料改变的函数关系。与我自己预料的相反，这项工作终于在 1914 年成了爱因斯坦方程在很小的实验误差范围内精确有效的第一次直接实验证据，并且第一次直接从光电效应测定普朗克常数 h ”。爱因斯坦这样评价密立根的工作：“我感激密立根关于光电效应的研究，它第一次判决性的证明了在光的影响下电子从固体发射与光的频率有关，这一量子论的结果是辐射的量子结构所特有的性质”。

光量子理论创立后，在固体比热、辐射理论、原子光谱等方面都获得成功，人们逐步认识到光

具有波动和粒子二象属性。光子的能量 $E=h\nu$ 与频率有关,当光传播时,显示出光的波动性,产生干涉、衍射、偏振等现象;当光和物体发生作用时,它的粒子性又突出了出来。后来科学家发现波粒二象性是一切微观物体的固有属性,并发展了量子力学来描述和解释微观物体的运动规律,使人们对客观世界的认识前进了一大步。

2. 光电效应

普朗克常数 h 是自然界中一个重要的普适常数,它可以由光电效应简单而又准确地求出。在光束的照射下,电子从金属表面逸出的现象称为光电效应。光电效应的基本规律是:

- (1)在光谱成份不变的情况下,光电流的大小 I 与入射光的强度 P 成正比,如图 1(a)和(b)所示;
- (2)光电子的动能与光强度无关,但与入射光的频率 ν 成正比,如图 1(c)和(d)所示;
- (3)光电效应是瞬时效应,一经光的照射,立即产生光电子。

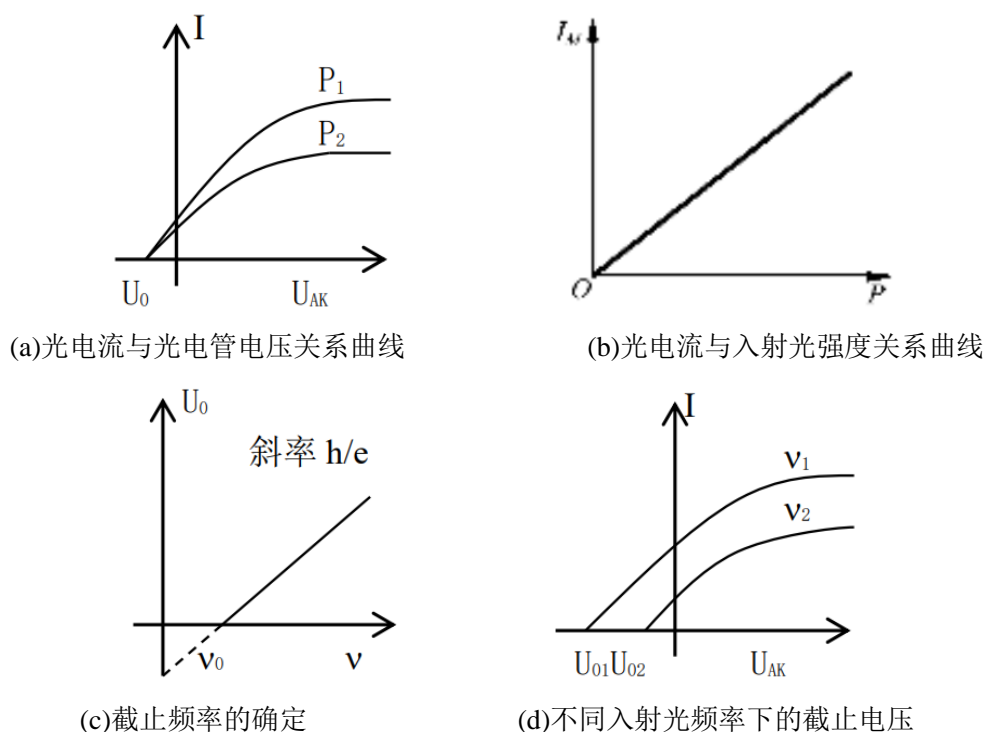


图 1 关于光电效应的几个特性曲线

爱因斯坦指出,光束是由一些能量为 $h\nu$ 的粒子组成的粒子束,这些粒子称为光子。光束的强弱,表现为粒子的多少,故光电流与入射光的强度成正比。而且不管光子流的密度如何,产生光电效应时,每个电子都只吸收一个光子的能量,所以电子获得的能量与光强无关,而只与频率 ν 成正比。爱因斯坦方程为

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + W_s \quad (1)$$

其中, h 为普朗克常数,公认值是 $6.62916 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{sec}$ 。 m 是电子质量, v 是逸出金属表面的光电子的初速度, $\frac{1}{2}mv^2$ 是光电子的最大初动能。 W_s 是一个电子从金属表面逸出所需克服的势垒,称为逸出功。 ν 为入射光的频率,它与波长 λ 的关系是

$$\nu = c/\lambda \quad (2)$$

其中, c 为光速。从式(1)可知,当 $h\nu$ 小于 W_s 时,没有光电流,即存在一截止频率 ν_0 ,当入射光频率低于 ν_0 时,不论光强多大,都没有光电子产生,如图 1(c),不同的金属材料所对应的响应不同。

由于光电子具有初动能,所以光电管阴极受光照射时即使阳极不加电压也会有光电子从阴极逸出而落入阳极形成光电流,甚至阳极相对于阴极的电位低时也会有光电子落入阳极,直到阳极电位低于某一数值时,所有光电子都不能达到阳极,光电流才为零。这个使光电流为零的相对于阴极为负的反向电压 U_s 称为光电效应的截止电压。有

$$eU_s - \frac{1}{2}mv^2 = 0 \quad (3)$$

其中 $e=1.6021892 \times 10^{-19}$ 为电子的电荷量。

代入式(1),有

$$eU_s = h\nu - W_s \quad (4)$$

由于金属材料的逸出功是金属的固有属性,对于给定的金属材料, W_s 是一个定值,与入射光的频率无关。令 $W_s = h\nu_0$, ν_0 为截止频率,即具有截止频率 ν_0 的光子的能量等于逸出功 W_s 。由式(1)-(4)得

$$U_s = h(\nu - \nu_0)/e \quad (5)$$

式(5)表明截止电压是入射光频率的线性函数,当 $\nu = \nu_0$ 时截止电压 $U_s = 0$,没有光电子逸出。

式(5)所示的线性函数的斜率 $K = h/e$ 是一正的常数,由此得 h 的实验公式

$$h = eK \quad (6)$$

可见,只要用实验方法作出 $U_s \sim \nu$ 关系曲线并求出此曲线的斜率 K ,就可以通过式(6)求出普朗克常数 h 的值,其中 e 为电子的电荷量。

3. 光电效应测普朗克常数实验原理

用光电效应测普朗克常数的实验原理如图 2 所示。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。在阴极 K 和阳极 A 之间加反向电压,它使电极 K 、 A 之间建立的电场对从阴极逸出的光电子起到减速作用。随着 U_{KA} 的增加,到达阳极的光电子(光电流)将逐渐减少,当 $U_{KA} = U_s$ 时,光电流为零。

图 3 所示为某一频率的光照射光电管所得到的 $I-U$ 特性曲线。用不同频率的光照射光电管可得到与之相应的 $I-U$ 特性曲线和 U_s 值。在直角坐标系中作出如图 1(c)所示的 $U_s \sim \nu$ 关系曲线,如果它是一条直线,就证明了爱因斯坦光电效应方程的正确性。求出该直线的斜率 K ,可按式(6)计算普朗克常数。由该直线与横轴的交点可求出该光电管阴极的截止频率 ν_0 ,由该直线的延长线与纵轴的交点可求出光电管阴极的逸出功 W_s 。

影响截止电压的因素主要是反向电流的存在。由于阳极上也往往溅有少量阴极材料,受光照射时也发射光电子,此外,阴极电子也可能被阳极反射。这样,在反向电压作用下,使从阳极来的电子受到加速作用形成反向电流。由于它的存在抵消了一部分反向电流,使得 $I-U$ 关系曲线不像图 3 那样,而变成图 4 的样子。图上的电流零点不是阴极电流为零,而是阴极电流与阳极电流的代数和为零,则该点对应

的电压值不是截止电压。又由于阳极反向电流很小,在反向电压不大时就已达到饱和,所以曲线下部变成平直的。我们只要确定出曲线开始变成直线时的转变点 b ,就确定了阴极电流为零的点,其所对应的反向电压就是阴极电流的截止电压。如果入射光强太弱,光电管发出的阴极光电流太小,这一转变点不易找出,会影响测量的精度,故实验中需采用出射光强度较大的光源及带通滤光片。

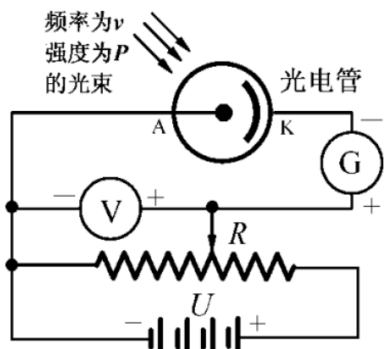


图2 实验原理图

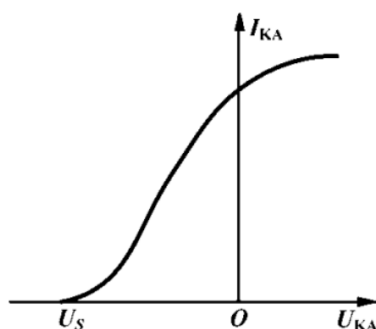


图3 光电管理想 I-V 特性曲线

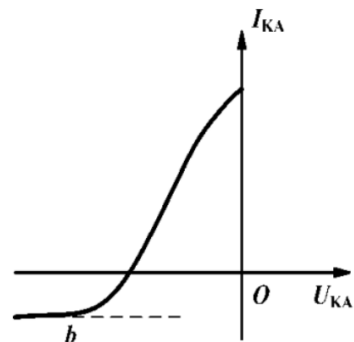


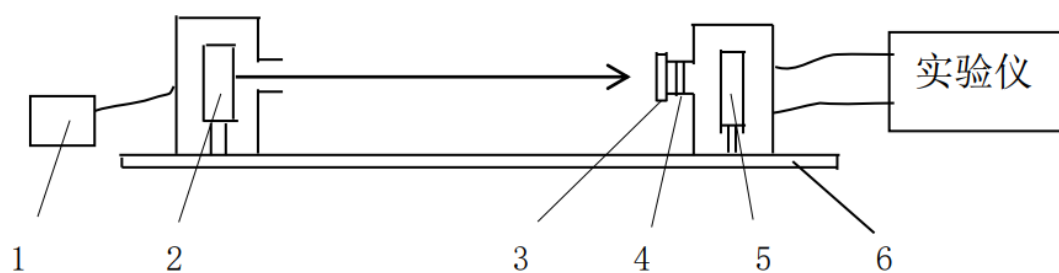
图4 光电管实测 I-V 特性曲线

[五、实验装置]

本实验所用光电效应实验仪的结构如图5所示,高压汞灯发出高亮度的连续谱。在光电管暗盒的入光口处可安装滤光片,以选择照射到光电管的光线的波长;同时可安装不同孔径的小孔光阑,以控制进入光电暗盒的光线强弱。汞灯与光电管暗盒之间的距离连续可调。

实验仪用于给光电管提供工作电源并测量光电管输出的光电流,其前面板如图6所示。实验仪有手动和自动两种工作模式,手动模式下可通过电压调节按钮逐点改变光电管工作电压的大小;自动模式下电压则从设定的“起始电压”至“终止电压”连续扫描,测量的电压和光电流数据被自动保存在实验仪的内存中,以便后续显示和处理。

如果不需要利用实验仪的自动扫描和波形显示功能,也可利用一台 50 V 的直流稳压电源和一台微电流计组合完成相关的实验内容,若直流稳压电源和微电流计有程控功能,则可完全替代实验仪。



1 汞灯电源 2 汞灯 3 滤色片 4 光阑 5 光电管 6 基座

图5 仪器结构图

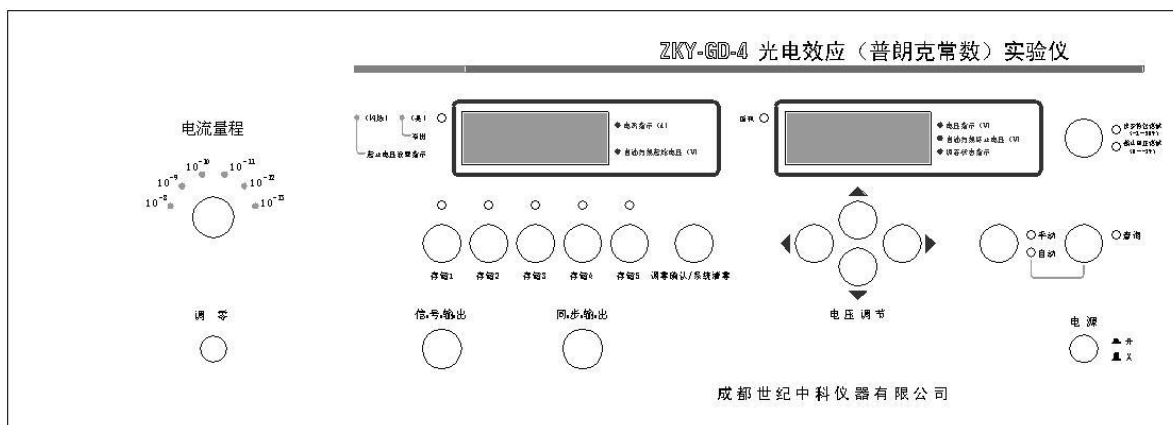


图 6 实验仪面板图

[六、安全注意事项]

1. 实验过程中,禁止汞灯光线直接照射光电管,更换滤光片之前必须先将汞灯暗盒的遮光盖盖上。也不宜长时间连续照射加有光阑和滤光片的光电管。
2. 仪器暂不使用时,须将汞灯暗盒和光电管暗盒的遮光盖盖上,使光电暗盒处于完全遮光状态。
3. 实验完成后,需将光电管暗盒的遮光盖盖上,以保护光电管。

[七、实验内容及步骤]

1. 测试前准备

- (1) 将实验仪及汞灯电源接通（汞灯及光电管暗盒遮光盖盖上），预热 20 分钟。
- (2) 调整光电管与汞灯距离为约 40 cm 并保持不变。
- (3) 用专用连接线将光电管暗箱电压输入端与实验仪电压输出端（后面板上）连接起来。
- (4) 将“电流量程”选择开关置于所选档位，进行测试前调零。实验仪在开机或改变电流量程后，都会自动进入调零状态。调零时应将光电管暗盒电流输出端 K 与实验仪微电流输入端（后面板上）断开，旋转“调零”旋钮使电流指示为“+”、“-”零转换点处。调节好后，用高频匹配电缆将电流输入连接起来，按“调零确认/系统清零”键，系统进入测试状态。

(5) 若要动态显示采集曲线，需将实验仪的“信号输出”端口接至示波器的“Y”输入端，“同步输出”端口接至示波器的“外触发”输入端。示波器“触发源”开关拨至“外”，“Y 衰减”旋钮拨至约“1 V/格”，“扫描时间”旋钮拨至约“20 μ s/格”。此时示波器将用轮流扫描的方式显示 5 个存储区中存储的曲线，横轴代表电压，纵轴代表电流。

2. 测普朗克常数 h

(1) 零电流法

理论上，测出各频率的光照射下光电管阴极电流为零时对应的 U_{AK} ，其绝对值即该频率对应的截止电压 U_0 ，该方法称为零电流法。但实际上由于光电管的阳极反向电流、暗电流、本底电流及极间接触电位差的影响,实测电流并非阴极电流,实测电流为零时对应的 U_{AK} 也并非截止电压。

若光电管的阳极反向电流、暗电流和本底电流都比较小,仍可采用零电流法。且不同频率光照 对

应的截止电压都与非零电流法测量的结果相差 ΔU , 对 $U_0 - \nu$ 曲线的斜率影响不大, 因此对 h 的测量也影响不大。

(2) 测量截止电压

实验仪工作状态选择“截止电压测试”状态, 相应的 LED 指示灯点亮。

“电流量程”选择开关 选 10^{-13} A 档。

手动测量方法:

工作模式选“手动”模式, 相应指示灯点亮。

将直径 4 mm 的光阑及 365 nm 的滤色片装在光电管暗盒的入光口上, 打开汞灯暗盒遮光盖。此时电压表显示 U_{AK} 的值, 单位为 V; 电流表显示 I 与对应的光电流值 I , 单位为所选择的“电流量程”。用电压调节键改变 U_{KA} 值, 使 U_{KA} 从低到高变化 (即 U_{KA} 的绝对值减小), 观察电流值的变化, 记录电流为零时对应的 U_{KA} , 以其绝对值作为该波长对应的截止电压 U_0 值。

依次换上中心波长为 405 nm、436 nm、546 nm、577 nm 的滤光片, 重复以上测量。

由截止电压和频率的数据作 $U_0 \sim \nu$ 直线并求斜率 K , 再根据式 (6) 计算普朗克常数 h , 与公认值 h_0 对比, 求出相对误差 $E = (h - h_0)/h_0$

3. 测光电管的伏安特性曲线

实验仪工作状态选择“伏安特性测试”状态, 相应的 LED 指示灯点亮。“电流量程”选 10^{-10} 档 并重新调零。将直径 4 mm 的光阑及所选谱线的滤光片装在光电管暗盒入光口上。测伏安特性曲线可选用“手动/自动”两种模式之一, 测量的大范围为 -1~+50V, 自动测量时步长为 1V, 仪器功能及使用方法如前所述。仪器与示波器连接。

(1) 可同时观察不同谱线在同一光阑、同一距离下伏安饱和特性曲线。(由于各谱线的特性曲线数据跨度较大, 为使得在示波器上取得佳显示效果, 建议只测量 436 nm, 546 nm 和 577 nm 三种波长光线对应的特性曲线并加以比较)

(2) 可同时观察某条谱线在同一光阑、不同距离 (即不同光强) 下的伏安饱和特性曲线。

(3) 可同时观察某条谱线在同一距离 (即相同光强)、不同光阑下的伏安饱和特性曲线

(4) 将 U_{AK} 设置为 50 V, 仪器工作模式设置为手动, 测量并记录对同一波长光线、同一入射距离下, 光阑分别为 2 mm、4 mm、8 mm 时对应的电流值, 验证光电管的饱和光电流与入射光强成正比。

(5) 测量并记录对同一波长光线、同一光阑下, 光电管电流随光电管与光源之间距离的变化关系, 验证光电管饱和电流与入射光强成正比。(提示: 入射光强与距离的平方成反比)。

[八、实验数据记录与处理]

1. 测量普朗克常量 h (手动测量截止电压)

表一: 手动测量不同波长的截止电压

波长 λ/nm					
频率 $\nu/\times 10^{14} \text{ Hz}$					
截止电压 U_0/V					
电压 U_{AK}/V					

2. 测光电管的伏安特性曲线

(1) 不同谱线在同一光阑，同一距离下的伏安饱和特性曲线

表二：不同谱线在同一光阑，同一距离下的伏安关系

电压/V		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电流/ $\times 10^{-10}$ A	$\lambda=436$													
	$\lambda=546$													
	$\lambda=577$													
电压/V		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
电流/ $\times 10^{-10}$ A	$\lambda=436$													
	$\lambda=546$													
	$\lambda=577$													
电压/V		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
电流/ $\times 10^{-10}$ A	$\lambda=436$													
	$\lambda=546$													
	$\lambda=577$													
电压/V		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
电流/ $\times 10^{-10}$ A	$\lambda=436$													
	$\lambda=546$													
	$\lambda=577$													

(2) 同一谱线在同一光阑，不同距离下的伏安饱和特性曲线

表三：波长 $\lambda =$ ____nm，光阑 $\phi =$ ____mm，不同距离（ $s = 40、35、30\text{cm}$ ）下的伏安关系

电压/V		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电流/ $\times 10^{-10}$ A	40													
	35													
	30													
电压/V		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	40													
	35													
	30													
电压/V		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
电流/ $\times 10^{-10}$ A	40													
	35													
	30													
电压/V		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
电流/ $\times 10^{-10}$ A	40													
	35													
	30													

(3) 同一谱线在同一距离, 不同光阑下的伏安饱和特性曲

表四: 波长 $\lambda =$ _____ nm, 距离 $s =$ _____ cm 不同光阑 (2 mm、4 mm、8 mm) 下的伏安关系

电压/V		-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
电流/ $\times 10^{-10}$ A	2													
	4													
	8													
电压/V		12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
25	2													
	4													
	8													
电压/V		25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
电流/ $\times 10^{-10}$ A	2													
	4													
	8													
电压/V		38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
电流/ $\times 10^{-10}$ A	2													
	4													
	8													

(4) 同一谱线在同一距离, 不同光阑下的光电管的饱和电流值

表五: 波长 $\lambda =$ _____ nm, 距离 $s =$ _____ cm 不同光阑 (2mm、4mm、8mm) 下的饱和电流值

波长 λ /nm	光阑直径 ϕ /mm	光阑直径 ϕ^2 /mm ²	饱和光电流 / $\times 10^{-10}$ A
436	2	4	
	4	16	
	8	64	
546	2	4	
	4	16	
	8	64	
577	2	4	
	4	16	
	8	64	

(5) 同一波长光线、同一光阑下，光电管电流随光电管与光源之间距离的变化关系表六：波长 $\lambda = \underline{\hspace{1cm}}$ nm，光阑 $\phi = \underline{\hspace{1cm}}$ mm， $U_{AK} = \underline{\hspace{1cm}}$ V 下光电流随光电管与光源间距离的变化关系

距离 s/cm	30	31	32	33	34	35
电流 $I / \times 10^{-10} \text{A}$						
距离 s/cm	36	37	38	39	40	
电流 $I / \times 10^{-10} \text{A}$						

[九、实验后思考题]

1. 截止电压的物理意义是什么？
2. 实验仪选择不同电流灵敏度(即选择不同的电流测量档)是否会影响普朗克常量的测量结果？
3. 光电管和光电池有什么区别？
4. 本实验最大的误差来源是什么？试提出一些减少实验误差的建议