

班级  学号  姓名  教师签字 
实验日期 2024.10.31 T5801 预习成绩  总成绩 _____

实验名称 光电效应法测定普朗克常量

一. 实验预习

1. 请简单推导一下本实验中光频率 ν 与对应截止电压 U_0 的关系。
2. 实验中光电流的实测值与理论值有所区别, 产生原因是什么? 在测量截止电压时如何消除此影响。

答: 1. 由爱因斯坦光电效应方程, 有

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$$

其中, A 为金属的逸出功, $\frac{1}{2}mv_0^2$ 为光电子的最大初动能。又有

$$eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$$

即阳极电位与阴极电位低 U_0 , 全部光电子都不能到达阳极时, 光电流为 0。以及

$$h\nu_0 = A$$

其中, ν_0 为金属的截止频率。由以上三式, 可知

$$eU_0 = h(\nu - \nu_0)$$

2. 误差原因可能有:

- ① 暗电流的存在: 光电管即使在没有受到光照时, 也会产生电流, 称为暗电流。
- ② 本底电流的存在: 各种漫反射光照在光电管极板上, 从而产生了电流, 称为本底电流。
- ③ 阳极反向电流的存在: 在制作光电管时阳极上往往会溅有阴极材料, 所以当光照射到阳极上或杂散光漫射到阳极上时, 阳极上往往也会有少量光电子发射。此外, 阴极发射的光电子也可能被阳极表面所反射。当阳极加负电势, 阴极加正电势时, 对阴极上发射的光电子起减速作用, 而对阳极发射的或反射的光电子起加速作用, 从而使一些光电子从阳极到达阴极, 形成了阳极反向电流。

可以通过补偿法: ① 开灯, 调节工作电压使实测电流为 0; ② 遮灯, 记录对应实测电流; ③ 开灯, 调节工作电压使实测电流等于相应的暗/本底电流, 记录工作电压, 即可消除此影响。

二. 实验现象及原始数据记录

表 2-1 截止电压测量（光阑孔直径 = 2 mm）

光波长 λ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu(\times 10^{14}\text{Hz})$	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-2.058	-1.553	-1.349	-0.887	-0.811

表 2-2 截止电压测量（光阑孔直径 = 4 mm）

光波长 λ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu(\times 10^{14}\text{Hz})$	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-2.069	-1.634	-1.410	-0.904	-0.824

表 2-3 截止电压测量（光阑孔直径 = 8 mm）

光波长 λ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu(\times 10^{14}\text{Hz})$	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-2.032	-1.624	-1.406	-0.904	-0.823

教师	姓名
签字	

三. 数据处理

(在三个不同直径的光阑孔下分别测量对应各个光频率 ν 的截止电压 U_0 , 找出两者的线性关系。用最小二乘法与作图法求出普朗克常数 h 的实验值, 以及与普朗克常数标准值 $h_0 = 6.626 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$ 的相对误差。)

答: 1. 用最小二乘法:

用最小二乘法处理本实验数据有以下公式:

$$y = kx + b$$

$$k = \frac{\overline{\nu \cdot U_c} - \overline{\nu} \cdot \overline{U_c}}{\overline{\nu^2} - \overline{\nu}^2}$$

其中, 频率单位为 10^{14}Hz , 截止电压单位为 V , 则 k 的单位为 10^{-14}Hz/V 。按照此式计算, 有下表:

光阑孔直径 (mm)	$\overline{\nu} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i$	$\overline{\nu^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i^2$	$\overline{U_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_{ci}$	$\overline{\nu \cdot U_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \nu_i \cdot U_{ci}$	k
2	6.6392	45.3866	-1.3316	-9.3571	-0.39485
4			-1.3682	-9.6113	-0.40347
8			-1.3578	-9.5292	-0.39344

而普朗克常数实验值与斜率的关系及相对误差为:

$$h = |k|e$$

$$E = \frac{h - h_0}{h_0} \times 100\%$$

则可根据斜率求出普朗克常数实验值及相对误差为:

光阑孔直径 (mm)	普朗克常量实验值 h ($\text{J}\cdot\text{s}$)	相对误差
2	6.325497×10^{-34}	-4.535%
4	$6.4635894 \times 10^{-34}$	-2.451%
8	$6.3029088 \times 10^{-34}$	-4.876%
平均值	$6.3639984 \times 10^{-34}$	-3.954%

2. 用作图法:

分别作出图像如下所示。可以看出, 对于每组数据, 数据点大致呈一条直线分布。

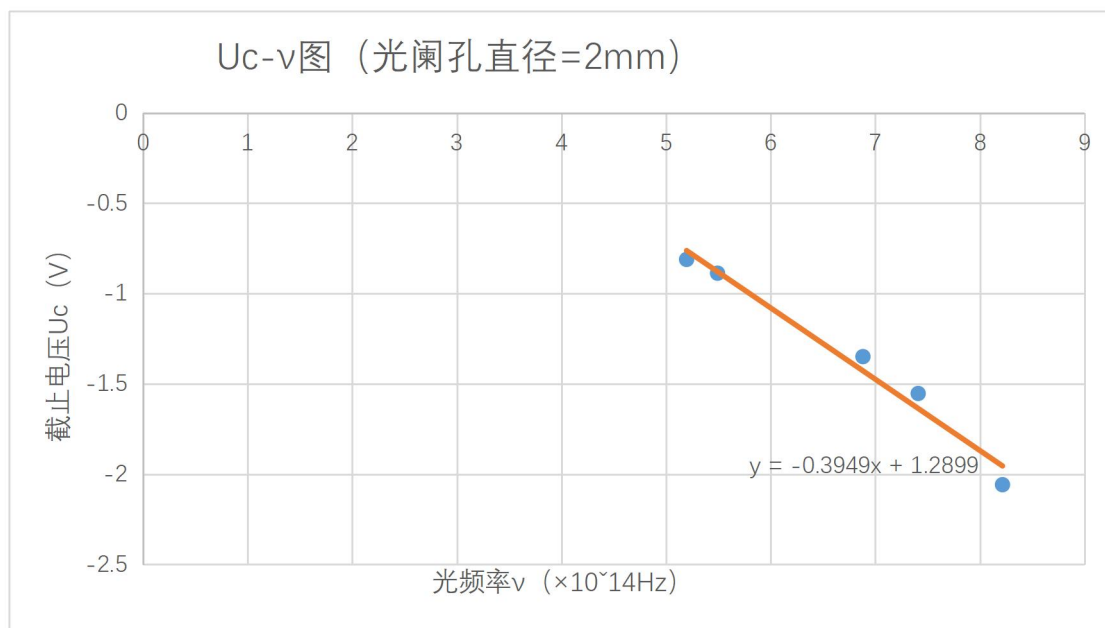


图1 光阑孔直径为 2mm 的截止电压-光频率图

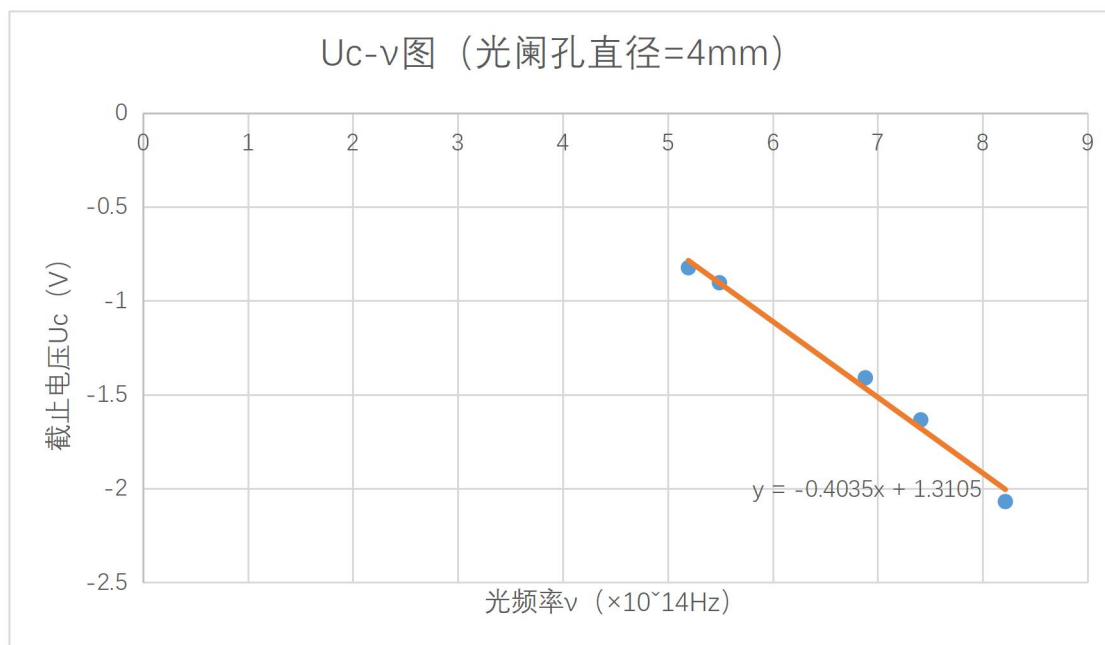


图2 光阑孔直径为 4mm 的截止电压-光频率图

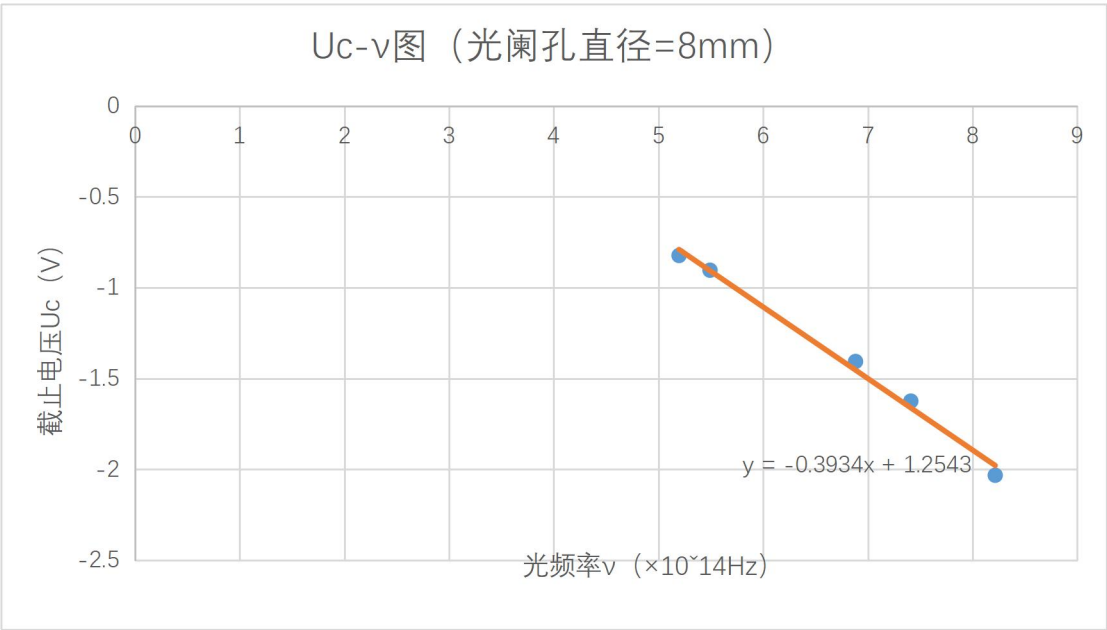


图 3 光阑孔直径为 8mm 的截止电压-光频率图

有以下数据：

光阑孔直径（mm）	图像直线斜率 k	普朗克常量实验值 h （J·s）	相对误差
2	-0.39485	6.325497×10^{-34}	-4.535%
4	-0.40347	$6.4635894 \times 10^{-34}$	-2.451%
8	-0.39344	$6.3029088 \times 10^{-34}$	-4.876%
平均值	-	$6.3639984 \times 10^{-34}$	-3.954%

四. 实验结论及现象分析

（分析实验误差的来源，以及比较以上每种数据处理方法的优缺点）

答：1. 实验结论：

最小二乘法的普朗克常数计算值及作图法的普朗克常数计算值均为 $h = 6.3639984 \times 10^{-34}\text{J}\cdot\text{s}$ ，相对误差为-3.954%（由于作图法中直线的斜率 k 是通过最小二乘法求得的结果）。此外，在不同的光阑孔直径下实验，截止电压基本相同，说明截止电压和入射光光强无关。

2. 误差来源：

（1）电压测量的精度：实验中使用的伏特计或电压源的精度以及分辨率可能限制了截

止电压的精确测量。

(2) 读数不够精准: 调节反向工作电压后光电流稳定需要一段时间, 若读数过快可能导致读取的光电流数据不准确。此外, 对“零电流点”的判断出现偏差也会使得截止电压数值有误差。

(3) 环境光的影响: 滤光片对于波长的过滤有一定的范围, 实验室内的环境光会导致进入滤光片的光混有其它波段的光, 可能导致入射光单色性变差, 从而环境光可能会对光电管产生额外的光电流, 影响截止电压数值, 尤其是当实验要求非常低的光电流测量时。

(4) 光电管表面的污染或老化: 长期使用的光电管可能因表面污染或材料老化导致性能下降, 影响实验结果。

3. 处理方法的优缺点:

(1) 最小二乘法

优点: 提供了一种数学严格的处理数据的方法, 能有效利用所有数据点减少随机误差的影响, 得到最优拟合曲线。可以直接提供斜率和截距的估计值及其不确定度, 便于误差分析。

缺点: 需要一定的数学知识和计算能力, 对于手动计算来说可能比较复杂。对于实验数据的前提假设较为严格, 如误差的正态分布等。

(2) 作图法

优点: 直观简单, 容易操作, 特别是在实验现场可以快速得到结果。可以直观地看出数据点的分布情况, 便于识别异常值。

缺点: 容易受到主观判断的影响, 特别是在判断直线斜率时。难以准确评估误差和不确定度。

五. 讨论题

1. 请解释什么是逸出功 A , 以及怎样可以从截止电压 U_0 与光频率 ν 两者的线性关系中求出逸出功 A 。

2. 请讨论一下, 不同金属材料的逸出功 A 会否相同, 并加以解释。

3. 请讨论一下, 不同金属材料的 U_0 - ν 线性关系会否相同, 并加以解释。

4. 请解释什么是暗电流、本底电流、阳极反向电流, 以及它们各自出现的原因, 并讨论它们各自会怎样影响“零电流法”对截止电压 U_0 的测量结果。

答：1. 逸出功 A 是指电子从金属表面逃逸出来所需克服的最小能量。在光电效应中，光子照射到金属表面，光子的能量被电子吸收，如果光子的能量大于金属的逸出功，电子就能从金属表面逃逸出来，形成光电流。根据爱因斯坦的光电效应方程

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$$

其中， h 是普朗克常数， ν 是入射光的频率， A 是逸出功， $\frac{1}{2}mv_0^2$ 是电子的最大动能。当外加电压使得电场足以阻止任何电子到达对面极板时，该电压被称为截止电压 U_0 ，此时电子的最大动能转化为电势能 eU_0 ，有

$$eU_0 = h(\nu - \nu_0)$$

由于 U_0 与 ν 成线性关系，通过实验测得不同频率的光对应的截止电压 U_0 ，可以绘制 U_0 与 ν 的图像，该直线的斜率为

$$k = \frac{h}{e}$$

截距代表逸出功 A 对应的电压值。换言之，逸出功可以通过截止电压与光频率关系的线性关系来确定。

2. 不同金属的逸出功不相同。这是因为逸出功是由金属的电子结构决定的，不同金属的原子结构、电子云密度、表面态等属性不同，导致电子从金属表面逃逸所需的能量不同。例如，钠和铜作为两种不同的金属，它们的逸出功就有显著的差别。

3. 不同金属材料的 U_0 - ν 线性关系并不相同，主要是由于它们具有不同的逸出功 A 。根据爱因斯坦的光电效应方程，虽然所有金属的 U_0 - ν 关系中斜率

$$k = \frac{h}{e}$$

是一个普遍常数，不受材料种类的影响，但截距（即逸出功 A ）因金属而异。这意味着，虽然所有金属的 U_0 - ν 图像都是线性的，且斜率相同，但每种金属的图像在 y 轴上的截距一般不同。

4. 暗电流、本底电流、和阳极反向电流的解释及影响

（1）暗电流：在没有光照射的条件下，光电管仍然可能产生少量电流，称为暗电流。它是由阴极在常温下的热电子发射而形成的热电流，和封闭在暗盒里的光电管在外加电压下

因管子阴极和阳极间绝缘电阻漏电而产生的漏电流两部分组成。

(2) 本底电流：在进行光电效应实验时，即使没有目标光源的照射，由于环境光源的干扰也可能产生一定的电流，这部分电流被称为本底电流。

(3) 阳极反向电流：制作光电管时阳极上往往溅有阴极材料，所以当光照射到阳极上或杂散光漫射到阳极上时，阳极上也往往有光电子发射。此外，阴极发射的光电子也可能被阳极表面所反射。当阳极加负电势、阴极加正电势时，对阴极上发射的光电子起减速作用，而对阳极发射或反射的光电子而言却起加速作用，使阳极发射的光电子也到达阴极，形成反向电流。

对截止电压 U_0 测量结果的影响：暗电流和本底电流使 U_0 测量结果的绝对值偏大，阳极反向电流使 U_0 测量结果的绝对值偏小。