

班级 自动化7班 学号 姓名 彭尚品 教师签字

实验日期 2024/3/28 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, $h\nu = \frac{1}{2}mv_0^2 + A$ 其中 A 为金属的逸出功, $\frac{1}{2}mv_0^2$ 为光子最大初动能又 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ 即阳极电位低于截止电压时光电流为零产生光电效应的最低频率(截止频率)是 $\nu_0 = \frac{A}{h}$ 联立, 有 $eU_0 = h(\nu - \nu_0)$ 即 U_0 是 ν 的线性函数, 直线斜率 $k = \frac{h}{e}$

2. 原因如下

① 暗电流: 光电管在没有受到光照时也会产生电流, 称暗电流

② 本底电流: 是由于各种漫反射光照在光电管的极板上产生的电流

③ 阳极电流: 制作光电管时阳极上往往有阴极材料, 所以当光照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, 阴极发射的电子也可能被阳极表面所反射, 阳极发射的光电子达到阴极, 就形成反向电流

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)

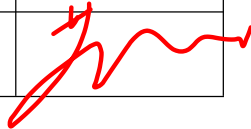
光波长 λ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 ν ($\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-1.940	-1.392	-1.149	-0.711	-0.628
暗/本底电流 I ($\times 10^{-12}$ A)	-3.7	-4.1	-4.2	-3.8	-3.8

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 ν ($\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-1.970	-1.466	-1.199	-0.745	-0.667
暗/本底电流 I ($\times 10^{-12}$ A)	-5.0	-4.6	-4.7	-4.0	-4.0

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 ν ($\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 U_c (V)	-1.916	-1.457	-1.196	-0.744	-0.675
暗/本底电流 I ($\times 10^{-12}$ A)	-3.9	-3.8	-4.0	-3.1	-3.2

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。)

解: 1、最小二乘法

$$\text{最小二乘公式: } y = kx + b, k = \frac{\overline{\nu \cdot U_c} - \overline{\nu} \cdot \overline{U_c}}{(\overline{\nu})^2 - \overline{\nu^2}}$$

(频率单位为 10^{14}Hz , 遏止电压单位为 V, 则 k 的单位为 $\text{V}/10^{14} \text{Hz}$)

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	r
2	6.6392	45.386	-1.164	-8.265	-0.4112	-0.98
4			-1.209	-8.571	-0.4145	-0.99
6			-1.197	-8.472	-0.3987	-0.99

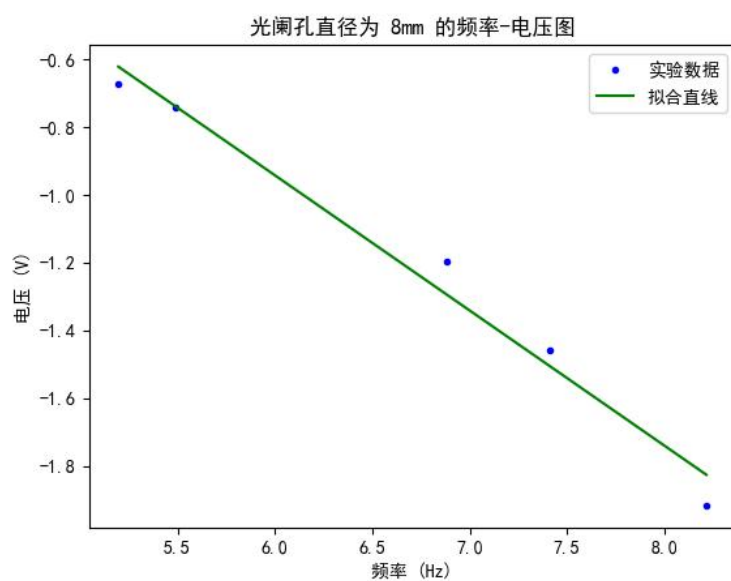
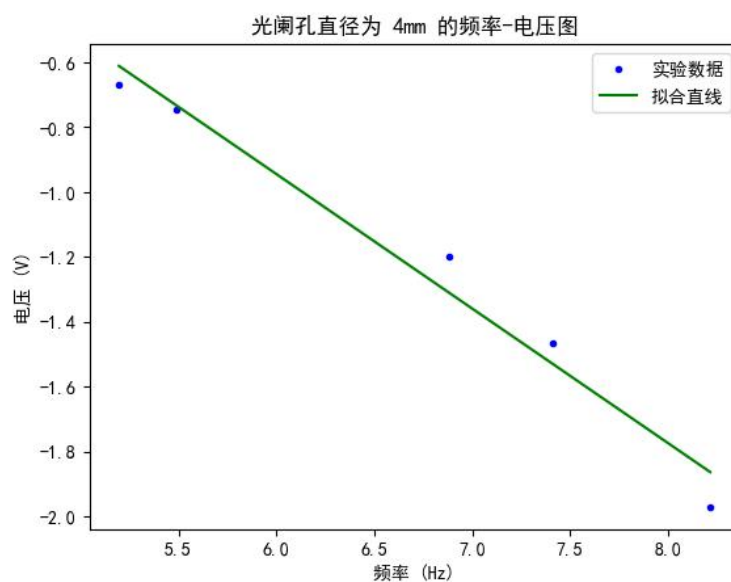
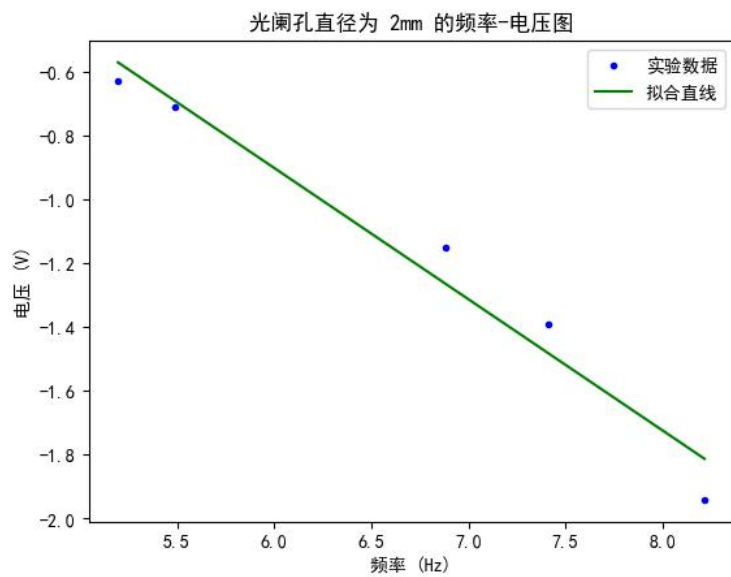
相关系数的绝对值接近 1, 说明截止电压和频率的线性关系很强.

普朗克常数实验值和斜率的关系为: $h = |k|e$, 可算出普朗克常数实验值

光阑孔直径 (mm)	普朗克常数实验值 h ($\text{J}\cdot\text{s}$)	相对误差 E
2	$6.589117219950296 \times 10^{-34}$	0.558%
4	$6.641051226033314 \times 10^{-34}$	0.226%
6	$6.38813661555505 \times 10^{-34}$	3.591%
三次实验平均	$6.539435020512886 \times 10^{-34}$	1.307%

2、作图法

图像如下:



光阑孔直径 (mm)	作图得出的直线斜率	普朗克常数实验值 h ($J \cdot s$)	相对误差 E
2	-0.411260	$6.589117219950301 \times 10^{-34}$	0.558%
4	-0.414501	$6.6410512260332816 \times 10^{-34}$	0.226%
6	-0.398716	$6.388136615555029 \times 10^{-34}$	3.591%
三次实验平均	-	$6.53943502051287 \times 10^{-34}$	1.307%

四. 实验结论及现象分析

答:

1、实验现象:

最小二乘法普朗克常数计算值为 $h = 6.539435020512886 \times 10^{-34} J \cdot s$, 相对误差 1.307%;

作图法普朗克常数计算值为 $h = 6.53943502051287 \times 10^{-34} J \cdot s$, 相对误差 1.307%;

在不同的光阑孔下实验, 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) 环境光的影响: 实验室内的环境光可能会对光电管产生额外的光电流, 尤其是当实验要求非常低的光电流测量时。

(3) 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、数据处理方法的优缺点:

(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、和阳极反向电流, 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 :

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

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 的图线, 该直线的斜率 $k = \frac{h}{e}$, 截距则代表逸出功 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回归来确定。

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, 主要因素在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 图线都是线性的, 但每种金属的图线在 y 轴上的截距不同。

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。