

班号 2103206

学号 210320621

姓名 吴俊达

教师签字

*[Handwritten Signature]*

实验日期 2023.3.24

组号 20

预习成绩

A2

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  $\nu$  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。

1. 解: 由爱因斯坦光电效应方程, 有  $h\nu = \frac{1}{2}m\nu_0^2 + A$  (1)

其中  $A$  为金属的逸出功,  $\frac{1}{2}m\nu_0^2$  为光电子的最大初动能,

又有  $eU_0 = \frac{1}{2}m\nu_0^2$  (阳极电位比阴极电位低  $U_0$ , 全部光电子都不能到达阳极, 光电流才可为0)   
  $\downarrow$   
此电势差称为截止电势差

$h\nu_0 = A$  ( $\nu_0$  为金属截止频率)

(此处又称截止电压)

代入(1)式有:  $eU_0 = h(\nu - \nu_0)$ .

2. 主要原因有如下3点:

① 暗电流: 光管在没有受到光照时, 也会产生电流, 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: 它是由于各种漫反射光照在光管极板上产生的电流。

③ 阳极反向电流: 制作光管时阳极上往往涂有阳极材料, 所以当光照到阳极上或散射光漫射到阳极上时, 阳极上也往往有光电子发射, 此外, 阳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了加速作用, 使阳极发射的光电子也到达阴极, 形成反向电流。

消除影响的方法: 利用补偿法

- { 开灯, 调节工作电压使实际电流为0
- { 遮灯, 记录实际工作电流
- { 开灯, 调节工作电压至上述本底电流/暗电流之处

即可.

## 二. 实验现象及原始数据记录

T3

表 2-1 截止电压测量 (光阑孔直径 = 2 mm)

光波长 $\lambda$ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu$ ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 $U_c$ (V)	-1.932	-1.431	-1.225	-0.743	-0.653

表 2-2 截止电压测量 (光阑孔直径 = 4 mm)

光波长 $\lambda$ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu$ ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 $U_c$ (V)	-1.944	-1.477	-1.295	-0.786	-0.706

表 2-3 截止电压测量 (光阑孔直径 = 8 mm)

光波长 $\lambda$ (nm)	365.0	404.7	435.8	546.1	577.0
光频率 $\nu$ ( $\times 10^{14}$ Hz)	8.216	7.410	6.882	5.492	5.196
截止电压 $U_c$ (V)	-1.885	-1.451	-1.266	-0.776	-0.707

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  $\nu$  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. 用最小二乘法:

$$\text{最小二乘公式: 斜率 } k = \frac{\bar{x} \cdot \bar{y} - \overline{xy}}{\bar{x}^2 - \overline{x^2}}, \quad b = \bar{y} - k\bar{x};$$

$$\text{相关系数表达式为 } r = \frac{\overline{xy} - \bar{x} \cdot \bar{y}}{\sqrt{(\overline{x^2} - \bar{x}^2)(\overline{y^2} - \bar{y}^2)}}$$

$$\text{其中 } x \text{ 代表自变量, } y \text{ 代表因变量, } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad \overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i, \quad \overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2。$$

此实验中,  $x$  为光的频率  $\nu$ ,  $y$  为截止电压  $U_c$ 。根据原始数据计算斜率  $k$ 、截距  $b$  和相关系数  $r$ , 结果如下表所示:(频率单位为  $10^{14} \text{Hz}$ , 遏止电压单位为  $\text{V}$ , 则  $k$  的单位为  $\text{V}/10^{14} \text{Hz}$ )

光阑孔直径 (mm)	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i$	$\overline{x^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2$	$\overline{xy} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i$	$k$	$b$	$r$
2	6.639	-1.197	45.39	-8.476	-0.406	-1.496	-0.990
4		-1.242		-8.763	-0.397	-1.396	-0.993
8		-1.217		-8.577	-0.380	-1.309	-0.994

相关系数接近-1, 说明截止电压和频率的线性关系很强。

普朗克常数实验值与斜率的关系为:  $h = |k|e$ , 则可根据斜率求出普朗克常数实验值为:

$$h|_{\text{光阑孔直径为2mm}} = 0.406 \times 10^{-14} \times 1.602 \times 10^{-19} = 6.504 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$

$$h|_{\text{光阑孔直径为4mm}} = 0.397 \times 10^{-14} \times 1.602 \times 10^{-19} = 6.360 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$

$$h|_{\text{光阑孔直径为8mm}} = 0.380 \times 10^{-14} \times 1.602 \times 10^{-19} = 6.088 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}$$

相对误差分别为

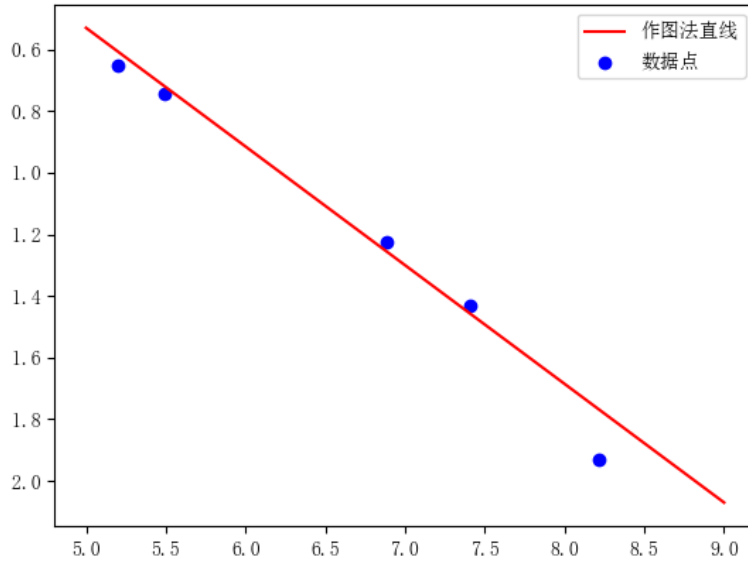
$$(1) \quad \text{光阑孔直径为 2mm 时: } E_1 = \frac{6.504 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -1.841\%;$$

$$(2) \quad \text{光阑孔直径为 4mm 时: } E_2 = \frac{6.360 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -4.014\%;$$

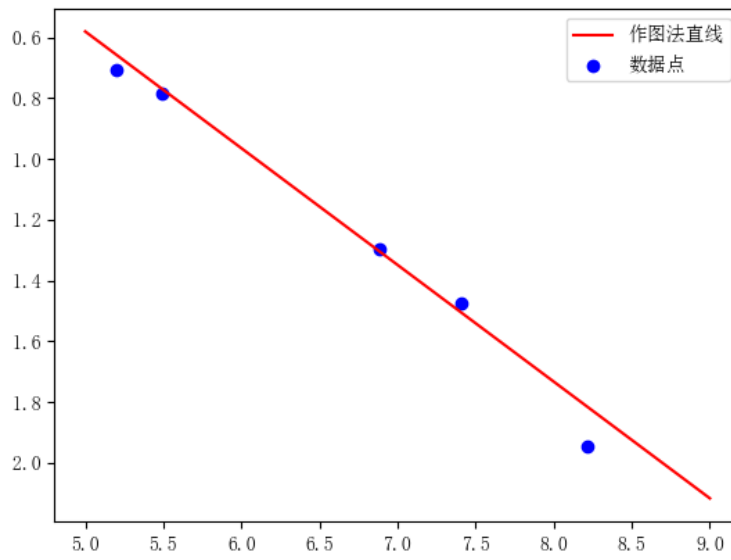
$$(3) \quad \text{光阑孔直径为 8mm 时: } E_3 = \frac{6.088 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -8.120\%。$$

$$\text{取平均值, 有 } h = 6.317 \times 10^{-34} \text{J}\cdot\text{s}, \quad \text{相对误差 } E = \frac{6.317 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -4.663\%。$$

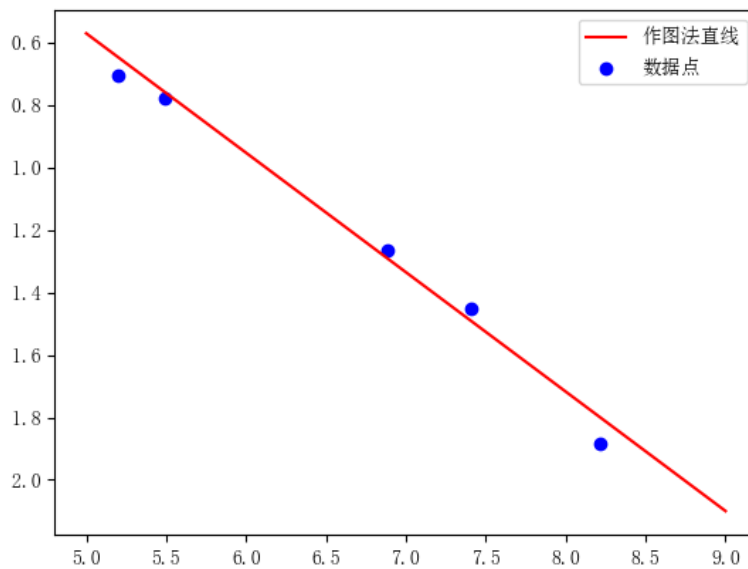
2. 用作图法：分别作出散点图如下所示。可以看出，对于每组数据，数据点大致呈一条直线分布。



光阑孔直径为 2mm



光阑孔直径为 4mm



光阑孔直径为 8mm

利用 *Python* 作出直线如上所示，使直线尽量多地通过数据点且数据点均匀分布在直线两侧。

取图线上较远两点计算斜率，并根据斜率代入  $h = |k|e$  求得普朗克常数实验值为：

$$k|_{\text{光阑孔直径为2mm}} = \frac{-0.530 - (-2.070)}{5 - 9} = -0.385, \quad h|_{\text{光阑孔直径为2mm}} = 6.168 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$k|_{\text{光阑孔直径为4mm}} = \frac{-0.580 - (-2.117)}{5 - 9} = -0.384, \quad h|_{\text{光阑孔直径为4mm}} = 6.152 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$k|_{\text{光阑孔直径为8mm}} = \frac{-0.570 - (-2.100)}{5 - 9} = -0.382, \quad h|_{\text{光阑孔直径为8mm}} = 6.120 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

相对误差分别为

$$(1) \quad \text{光阑孔直径为 2mm 时: } E_1 = \frac{6.168 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -6.912\%;$$

$$(2) \quad \text{光阑孔直径为 4mm 时: } E_2 = \frac{6.152 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -7.154\%;$$

$$(3) \quad \text{光阑孔直径为 8mm 时: } E_3 = \frac{6.120 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -7.636\%。$$

取平均值，有  $h = 6.147 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ，相对误差  $E = \frac{6.147 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\% = -7.229\%$ 。

#### 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)

**实验结果：**最小二乘法普朗克常数计算值为  $h = 6.317 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ，相对误差  $E = -4.663\%$ ；

作图法普朗克常数计算值为  $h = 6.147 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ ，相对误差  $E = -7.229\%$ 。另外，光阑孔直径不同并未导致截止电压的明显变化，可以说明截止电压和入射光光强无关。

**实验误差来源可能有：**①滤光片对于波长的过滤有一定的范围，环境光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，影响截止电压数值（对于此点，可采用单色性更好的激光源来做实验）；②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，对“零电流点”的判断出现偏差而使得截止电压数值有误差；③暗电流、本底电流、阳极反向电流对实验数据也会产生影响；等等。

**不同数据处理方法的比较如下：**

**最小二乘法：**优点是最优解唯一、求解方便、利用所有数据点；缺点是受异常值扰动影响大。

**作图法：**优点是能直观看出截止电压和入射光频率的线性关系，且可以人为排除明显不合理的数据点，得到更为准确的结果；缺点是不便于定量计算斜率和截距等数值，且主观性强，在图线的绘制过程中往往会引入附加误差。

## 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  $\nu$  两者的线性关系中求出逸出功  $W$ 。

答：逸出功  $A$  是指电子从金属表面逸出时克服表面势垒必须做的功。

截止电压与光频率的线性关系为： $eU_c = h(\nu - \nu_0)$ ，即  $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_0$ ，逸出功  $A = h\nu_0$ ，因此上式可写为  $U_c = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e}$ 。因此，知道截止电压  $U_0$  与光频率  $\nu$  两者的线性关系后，可以通过求出其图线截距，取绝对值再乘元电荷电量  $e$ ，即得到逸出功。

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。

答：不同金属材料的逸出功  $A$  不相同。金属材料的逸出功不但与材料的性质有关，还与金属表面的状态有关。一般来说，金属越活泼，其原子核对核外电子束缚作用越小，电子越容易逸出金属表面成为自由电子，即逸出功越小。

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

答：不同金属材料的  $U_0$ - $\nu$  线性关系相同。 $U_0$ - $\nu$  线性关系是由爱因斯坦光电效应方程决定的，金属材料不同只会改变逸出功  $A$  和截止频率  $\nu_0$ ，不改变线性关系。

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暗电流：光电管在没有受到光照时，也会产生电流，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：它是由于各种漫反射光照在光电管极板上产生的电流。

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。