

浙江大学

物理实验报告

实验名称： 光电效应测定普朗克常量

实验桌号： 14

指导教师： 熊鹏越

班级： 机械 2402

姓名： 叶畅飞

学号： 3240103132

实验日期： 2025 年 9 月 23 日 星期 三 下午

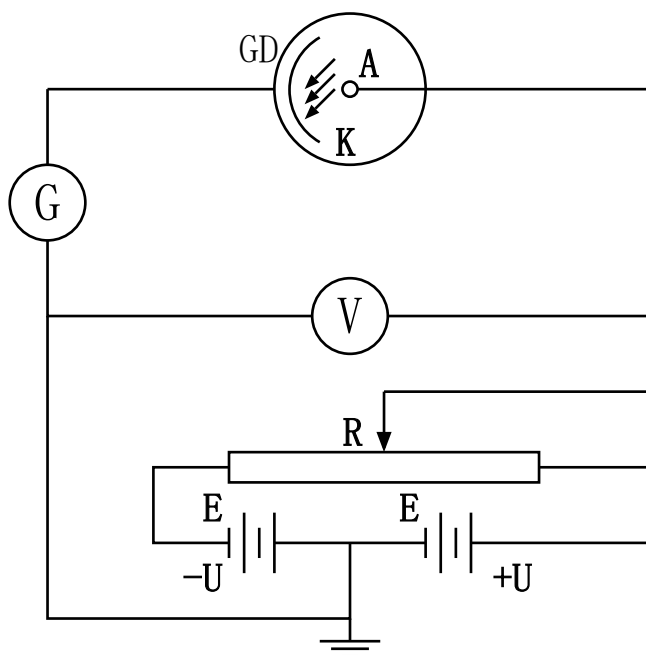
浙江大学物理实验教学中心

一、预习报告（10 分）

1. 实验综述（5 分）

光电效应实验示意图如左图所示，图中 GD 为光电管，K、A 分别为光电管的阴极、阳极，G 是微检流计，V 为电压表，E 为电源，R 为滑动变阻器，调节 R 可以得到实验所需要的电位差 U_{AK} ，使光电管的 A、K 之间有从 $-U$ 到 $+U$ 连续变化的电压，从而得到截止电压。

实验中汞灯透过滤光片得到不同波长的单色光照射光电管的阴极 K，使其发射光电子，光电子在电场力作用下到达阳极 A，形成光电流。



实验现象：

- 无光照时：阴极 K 无电子发射，回路无电流（G 读数为零）。
- 有光照时：阴极 K 发射光电子，形成光电流（G 有读数）。
 - ▶ 当 $U_{AK} > 0$ （阳极 A 正电压高于阴极 K）时，电子被加速飞向阳极，光电流随 U_{AK} 增大而增大，最终达到饱和值 I_H （与光强成正比）。
 - ▶ 当 $U_{AK} < 0$ （阳极 A 电压低于阴极 K）时，电场阻碍电子运动，光电流减小。
 - ▶ 当 $U_{AK} = -U_a$ （遏止电压）时，光电流刚好为零（最大初动能的光电子也无法到达阳极）。

实验原理：

特定频率的光照射在金属材料（阴极 K）表面时，会使其发射出电子（即光电效应），其核心方程为：

$$\frac{1}{2}mv_{\max}^2 = h\nu - W$$

当施加反向电压 U_{AK} 时，电场力对光电子做负功，阻碍其到达阳极。当电场力所做的功恰好等于光电子最大初动能时，即使具有最大动能的光电子也无法到达阳极，此时光电流为零。该关系表示为：

$$eU_a = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$$

回代可得

$$h\nu - W = eU_a \Rightarrow U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$$

实验方法：

通过测量不同频率光的遏止电压 U_a ，作 $U_a - \nu$ 图像，求出斜率 $\frac{h}{e}$ ，即可测定普朗克常量 h 。

2. 实验重点（3 分）

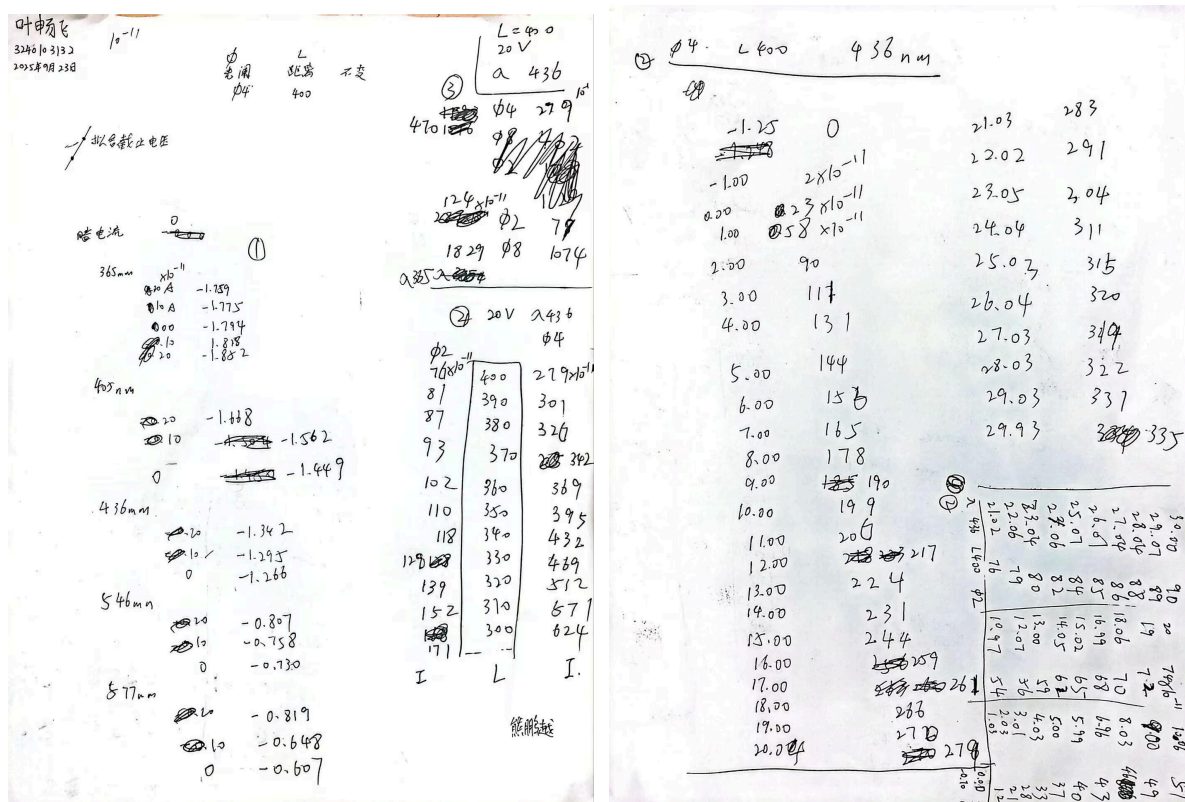
- 理解光电效应方程和光量子概念
- 掌握光电效应实验方法并验证实验现象
- 测定普朗克常数

3. 实验难点（2 分）

- **精确测定遏止电压 U_a 。**
因存在暗电流、本底电流和阳极反向光电子发射，光电流与电压曲线无绝对零点，
- **数据处理与误差分析。**

二、原始数据 (20 分)

(将有老师签名的“自备数据记录草稿纸”的扫描或手机拍摄图粘贴在下方,完整保留姓名,学号,教师签字和日期。)



三、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

(1) 普朗克常数的计算

当 $\phi = 4\text{mm}$, $L = 400\text{mm}$ 时, 测量得到表 1 数据:

表 1 截止电压 U_a 与频率 ν 的关系

| 波长 $\lambda_i(\text{nm})$ | 频率 $\nu_i(10^{14}\text{Hz})$ | 电压 $U_{1i}(\text{V})$ | 电压 $U_{2i}(\text{V})$ | $U_{ai}(\text{V})$ |
|---------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|
| 365 | 8.211 | -1.852 | -1.828 | -1.794 |
| 405 | 7.400 | -1.668 | -1.562 | -1.449 |
| 436 | 6.874 | -1.342 | -1.295 | -1.266 |
| 546 | 5.489 | -0.807 | -0.758 | -0.730 |
| 578 | 5.194 | -0.819 | -0.648 | -0.607 |

其中, 取光速 $c = 2.998 \times 10^8 \text{m/s}$, 由 $\nu = \frac{c}{\lambda}$ 计算可得 ν 的值。

U_1 表示电流为 $-20 \times 10^{-13}\text{A}$ 时直接测量得到的电压,

U_2 表示电流为 $-10 \times 10^{-13}\text{A}$ 时直接测量得到的电压,

U_a 表示电流为 0A 时直接测量得到的电压。

观察到 U_1 , U_2 和 U_a 的变化趋势一致, 假定接近 0A 时的电压与电流成线性关系, 尝试拟合直线:

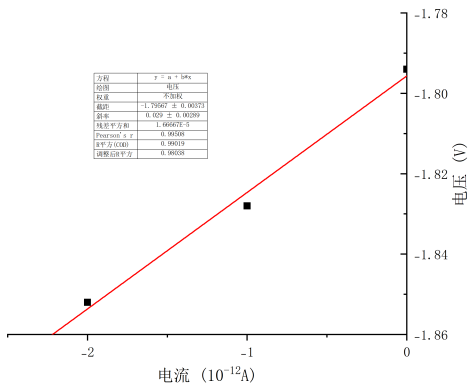


图 1 波长 365nm 时的电流-电压

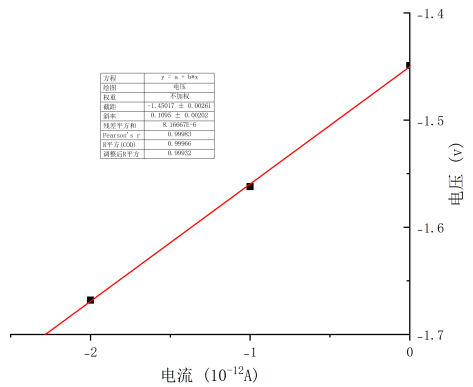


图 2 波长 405nm 时的电流-电压

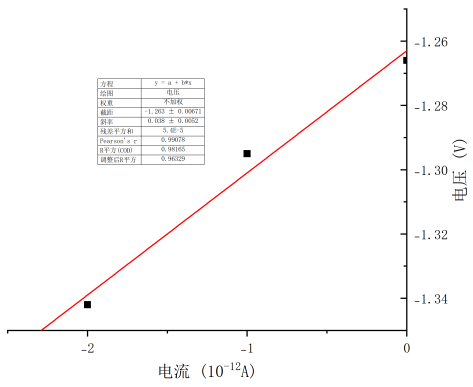


图 3 波长 436nm 时的电流-电压

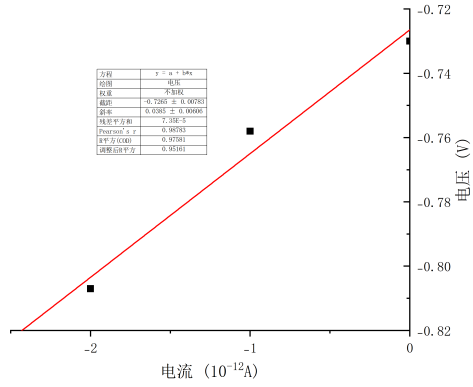


图 4 波长 546nm 时的电流-电压

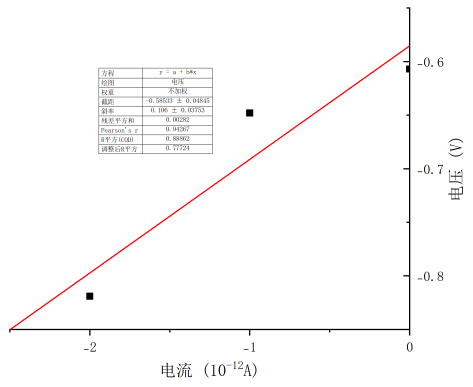


图 5 波长 578nm 时的电流-电压

由拟合直线与 $I = 0$ 的交点确定 新的 U_a 的值, 如表 2。

表 2 截止电压 U_a 与波长 λ 的关系

| 365mm | 405mm | 436mm | 546mm | 578mm |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| -1.792V | -1.450V | -1.266V | -0.730V | -0.606V |

由新的 U_a 和 ν 的关系作图并拟合直线，斜率即为 $-\frac{h}{e}$ ，截距为 $\frac{W}{e}$ 。

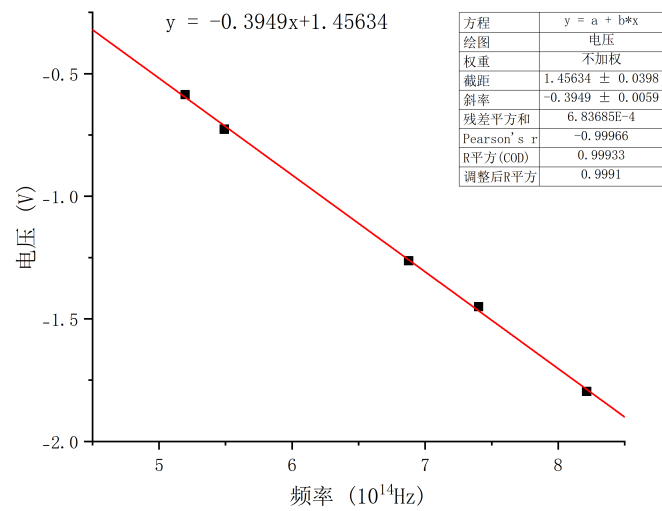


图 6 截止电压 U_a 与频率 ν 的关系

根据拟合直线的斜率 $-3.95 \times 10^{-15}V/Hz$ ，计算得普朗克常量 h ：

$$h = -k \times e = 3.95 \times 10^{-15} \times 1.602 \times 10^{-19}C = 6.33 \times 10^{-34}J \cdot s$$

由理论值 $h_0 = 6.63 \times 10^{-34}J \cdot s$ 可知，测量值与理论值的相对误差为：

$$\frac{|h - h_0|}{h_0} = \frac{|6.33 - 6.63|}{6.63} \times 100\% = 4.5\%$$

根据拟合直线的截距 $1.46V$ ，计算得功函数 W ：

$$W = -b \times e = -1.46 \times 1.602 \times 10^{-19}C = 2.33 \times 10^{-19}J$$

红限频率

$$\nu_0 = \frac{W}{h} = 3.68 \times 10^{14}Hz$$

(2) 光电管的伏安特性曲线

当 $\phi = 4mm$, $L = 400mm$, $\lambda = 436nm$ 时, 测量得到表 3 数据:

表 3 电流 I 与电压 U_{AK} 的关系

| 电压 $U_{AK}(V)$ | 电流 $I(10^{-13}A)$ |
|----------------|-------------------|
| -1.25 | 0 |
| -1.00 | 2 |
| 0.00 | 23 |
| 1.00 | 58 |
| 2.00 | 90 |
| 3.00 | 111 |
| 4.00 | 131 |
| 5.00 | 144 |
| 6.00 | 156 |
| 7.00 | 165 |
| 8.00 | 178 |
| 9.00 | 190 |
| 10.00 | 199 |
| 11.00 | 206 |
| 12.00 | 217 |
| 13.00 | 224 |
| 14.00 | 231 |
| 15.00 | 244 |
| 16.00 | 259 |
| 17.00 | 261 |
| 18.00 | 266 |
| 19.00 | 270 |
| 20.04 | 279 |
| 21.03 | 283 |
| 22.02 | 291 |
| 23.05 | 304 |
| 24.04 | 311 |
| 25.03 | 315 |
| 26.04 | 320 |
| 27.03 | 319 |
| 28.03 | 322 |
| 29.03 | 331 |
| 29.93 | 335 |

当 $\phi = 2mm$, $L = 400mm$, $\lambda = 436mm$ 时, 测量得到表 4 数据:

表 4 电流 I 与电压 U_{AK} 的关系

| 电压 $U_{AK}(V)$ | 电流 $I(10^{-13}A)$ |
|----------------|-------------------|
| -0.70 | 0 |
| 0.00 | 3 |
| 1.03 | 12 |
| 2.03 | 21 |
| 3.01 | 28 |
| 4.03 | 33 |
| 5.00 | 37 |
| 5.99 | 40 |
| 6.96 | 43 |
| 8.03 | 46 |
| 9.00 | 49 |
| 10.06 | 51 |
| 10.97 | 54 |
| 12.07 | 56 |
| 13.00 | 59 |
| 14.05 | 62 |
| 15.02 | 65 |
| 16.99 | 68 |
| 18.06 | 70 |
| 19.00 | 72 |
| 20.00 | 74 |
| 21.02 | 76 |
| 22.06 | 79 |
| 23.04 | 80 |
| 24.06 | 82 |
| 25.07 | 84 |
| 26.01 | 85 |
| 27.04 | 86 |
| 28.04 | 88 |
| 29.07 | 89 |
| 30.00 | 90 |

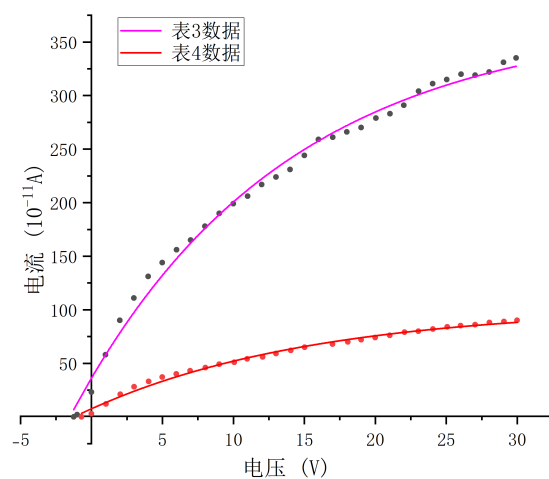


图 7 光电流 I 与电压 U_{AK} 的关系

据表 3、表 4 绘制 $I - U_{AK}$ 图。我们发现，随着 U_{AK} 增大，光电流也不断增大，且增速有减缓、接近饱和的趋势。

当 U_{AK} 达到 30V 时，光电流接近但仍未饱和。

(3) 光电流 I 与光阑 ϕ 的关系

表 5 光电流 I 与光阑 ϕ 的关系

| 光阑 ϕ (mm) | 电流 I_{1i} ($10^{-11} A$) | 电流 I_{2i} ($10^{-11} A$) |
|----------------|------------------------------|------------------------------|
| 2 | 79 | 124 |
| 4 | 279 | 470 |
| 8 | 1074 | 1829 |

$U = 20V$, $L = 400mm$,

I_1 为 $\lambda = 365nm$ 时的电流,

I_2 为 $\lambda = 436nm$ 时的电流。

观察数据发现，随着光阑直径的增大，光电流也不断增大， I 与 ϕ^2 的平方成正比。
 于是拟合 ϕ^2 与 I 得到图 8，验证想法：

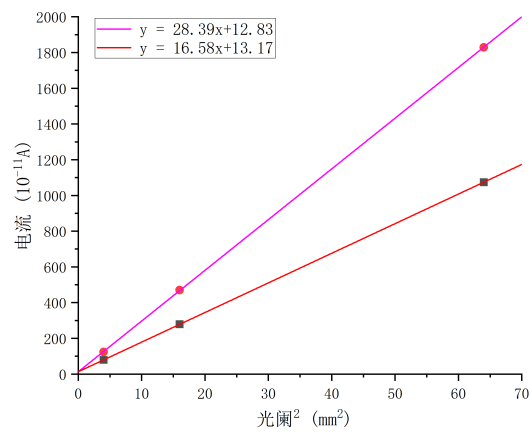


图 8 光电流 I 与与光阑 ϕ^2 的关系

(4) 光电流 I 与距离 L 的关系

表 6 光电流 I 与光阑 ϕ 的关系

| 距离 $L(mm)$ | 电流 $I_{1i}(10^{-11}A)$ | 电流 $I_{2i}(10^{-11}A)$ |
|------------|------------------------|------------------------|
| 300 | 171 | 624 |
| 310 | 152 | 571 |
| 320 | 129 | 512 |
| 330 | 128 | 469 |
| 340 | 118 | 432 |
| 350 | 110 | 395 |
| 360 | 102 | 369 |
| 370 | 93 | 342 |
| 380 | 87 | 326 |
| 390 | 81 | 301 |
| 400 | 76 | 279 |

$U = 20V, \lambda = 436mm,$
 I_1 为 $\phi = 2mm$ 时的电流,
 I_2 为 $\phi = 4mm$ 时的电流。

观察数据，猜测其为反比关系，于是拟合 $\frac{1}{L}$ 、 $\frac{1}{L^2}$ 与 I 得到图 9、图 10。显然， I 与 $\frac{1}{L^2}$ 拟合得到的 R^2 更大，因此 I 与 L 成平方反比。

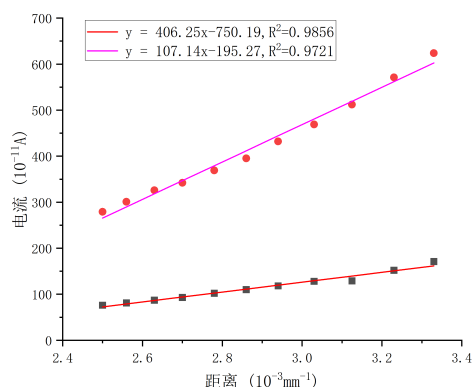


图 9 光电流 I 与与距离 $\frac{1}{L}$ 的关系

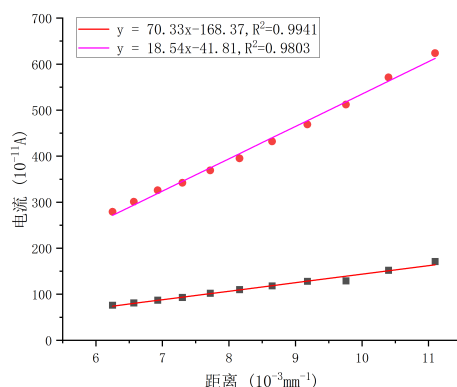


图 10 光电流 I 与与距离 $\frac{1}{L^2}$ 的关系

2. 误差分析（20 分）

使用最小二乘法拟合数据点，计算得斜率 $b = -3.949 \times 10^{-15} V/Hz$ ，截距 $a = 1.456V$ 。

斜率 b 的不确定度：

$$\begin{aligned} u_A(b) &= \sqrt{\left(\frac{1}{n-2}\right) \times \frac{\sum (y_i - (a + bx_i))^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \\ &= \sqrt{\frac{1}{3} \times \frac{\sum (y_i - (-3.949 \times 10^{-15} x_i + 1.456))^2}{\sum (x_i - \bar{x})^2}} \\ &= 0.06 \times 10^{-15} V/Hz \end{aligned}$$

截距 a 的不确定度：

$$\begin{aligned} u_A(a) &= u_A(b) \times \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n}} \\ &= 0.024V \end{aligned}$$

扩展不确定度 $u(h) = e \times u_A(b) = 1.602 \times 10^{-19} \times 0.06 \times 10^{-15} = 0.10 \times 10^{-34} J \cdot s$

扩展不确定度 $u(W) = e \times u_A(a) = 1.602 \times 10^{-19} \times 0.024 = 0.04 \times 10^{-19} J$

扩展不确定度 $u(\nu_0) = \nu_0 \sqrt{\left(\frac{u(W)}{W}\right)^2 + \left(\frac{u(h)}{h}\right)^2} = 3.68 \times 10^{14} \times \frac{0.04}{2.33} = 0.06 \times 10^{14} Hz$

因此，普朗克常数的测量结果为： $h = (6.33 \pm 0.10) \times 10^{-34} J \cdot s$ ，

功函数的测量结果为： $W = (2.33 \pm 0.04) \times 10^{-19} J$ ，

红限频率的测量结果为： $\nu_0 = (3.68 \pm 0.06) \times 10^{14} Hz$ 。

可能的误差来源

1. 光源不稳定，导致光强变化，影响光电流测量。
2. 光电管输出的微电流表读数不稳定，会上下跳动，测量时存在误差；
3. 即使在完全无光条件下，由于热电子发射，光电管自身也会产生一个微小的电流，即暗电流。这个电流会叠加在光电流上，影响测量。
4. 滤色片存在一个波长带宽，可能无法完全滤除汞灯的强谱线，这些高能量的杂散光会产生额外的光电流，干扰测量。

3. 实验探讨（10 分）

实验过程中，微电流计测出的电流数值存在不断来回上下跳动的情况，切换到小光阑和长光波可以稍微减小波动。此外，在考虑变量关系的时候，应该考虑到变量之间的物理意义，不能盲目地进行猜测，比如 I 与 L 的关系。

四、思考题（10 分）

1. 测定普朗克常数的关键是什么？怎样根据光电管的特性曲线选择适宜的测定遏止电压 U_a 的方法。

测定普朗克常数的核心关键在于精确测量不同频率光所对应的遏止电压 U_a ，并确保其与频率之间存在可靠的线性关系。这一目标的实现，高度依赖于获得高质量的光电管伏安特性曲线，并能有效识别和减小各类系统误差。其中，最为关键的误差来源是阳极光电流，它会导致整个特性曲线向下平移，使电流无法在外加电压下归零，从而严重干扰对真实遏止电压的判断。此外，接触电位差、暗电流、电路噪声以及单色光的纯度等因素也会引入测量不确定度。

基于光电管特性曲线的具体形态，选择适宜的遏止电压测定方法至关重要。对于理想或近理想的特性曲线，即曲线能够与电压轴相交且反向饱和电流极小，可以直接采用交点法，将曲线反向延长线与电压轴的交点确定为遏止电压 U_a 。然而，当曲线存在明显的阳极光电流效应，表现为整个曲线不过零点并存在一个稳定的负向饱和电流时，交点法将失效，此时必须采用拐点法（或称切线法）。该方法首先确定反向饱和电流值，取其一半作水平线，找到该线与特性曲线上升段的交点，再通过该点作上升段的切线，最终用切线与电压轴的交点来更为准确地确定 U_a ，从而有效扣除阳极光电流的影响。倘若特性曲线因阳极光电流过于严重或阴极表面不均匀而变得异常圆滑、拐点难以辨识，那么任何事后的数据处理方法都将带来巨大误差。在此情况下，首要任务并非寻找复杂的判读技巧，而是着手优化实验条件，例如检查光路密封性、确保滤光片性能良好、降低杂散光干扰等。

2. 从遏止电压 U_a 与入射光的频率 ν 的关系曲线中，你能确定阴极材料的逸出功吗？

根据方程 $U_a = -\frac{h}{e}\nu + \frac{W}{e}$ ，显然逸出功等于图像的截距乘以电子电荷，即 $W = b \times e$ 。

3. 本实验存在哪些误差来源？在实验中如何解决这些问题？

对照误差分析部分的内容，可以列出以下误差来源及其解决方法：

- 光源不稳定，导致光强变化，影响光电流测量。
解决方法：使用稳定的光源，避免实验过程中光源亮度变化。
- 光电管输出的微电流表读数不稳定，会上下跳动，测量时存在误差；
解决方法：多次测量取平均值，使用更高精度的仪器。

- 即使在完全无光条件下，由于热电子发射，光电管自身也会产生一个微小的电流，即暗电流。这个电流会叠加在光电流上，影响测量。
解决方法：测量暗电流并进行扣除。
- 滤色片存在一个波长带宽，可能无法完全滤除汞灯的强谱线，这些高能量的杂散光会产生额外的光电流，干扰测量。
解决方法：使用高质量的滤色片，确保单色光的纯度。