

浙江大学

物理实验报告

实验名称: 光电效应测定普朗克常数

实验桌号: 10

指导教师: 张妍

班级: 计科 2404

姓名: 李宇晗

学号: 3240106155

实验日期: 2025 年 9 月 22 日 星期 二 上午

1. 实验综述

1.1 实验现象

当特定频率的光照射到金属表面时，会立即有电子（称为光电子）从表面逸出，这种现象称为光电效应。实验观察到：

- 对于任何一种金属，都存在一个“截止频率”（红限），只有当入射光频率大于此频率时，才会发生光电效应。
- 饱和光电流的强度与入射光强度成正比。
- 光电子的最大初动能与入射光频率成线性关系，而与光强无关。
- 光电效应是瞬时发生的。

1.2 实验原理

本实验基于爱因斯坦在 1905 年提出的光量子理论。该理论指出，光的能量是不连续的，是由一份一份的能量子（光子）组成的，每个光子的能量为 $E = h\nu$ ，其中 ν 是光的频率， h 是普朗克常数。

当光子照射到金属阴极 K 时，其能量被电子吸收。电子吸收能量后，一部分用于克服金属表面的逸出功 W ，剩余部分转化为电子的最大初动能 $\frac{1}{2}mv_{\max}^2$ 。根据能量守恒定律，可得爱因斯坦光电效应方程：

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

通过在光电管的阳极 A 和阴极 K 之间施加一个反向电压 U_{AK} ，当反向电压增大到某一值 U_a （遏止电压）时，即使是动能最大的光电子也恰好无法到达阳极，此时光电流为零。因此有：

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

联立以上两式可得：

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

此式表明，遏止电压 U_a 与入射光频率 ν 呈线性关系。通过测量多组不同频率 ν_i 对应的遏止电压 U_{ai} ，并绘制 $U_a - \nu$ 关系图，可以得到一条直线。该直线的斜率 $k = \frac{h}{e}$ 。已知电子电荷 $e = 1.602 \times 10^{-19} C$ ，即可通过公式 $h = ek$ 求出普朗克常数。

1.3 实验方法

实验采用汞灯作为光源，通过干涉滤色片获得不同波长（频率）的单色光。将单色光照射到光电管的阴极上，通过调节反向电压，找到使光电流恰好为零时的遏止电压 U_a 。

实验电路图如下所示：

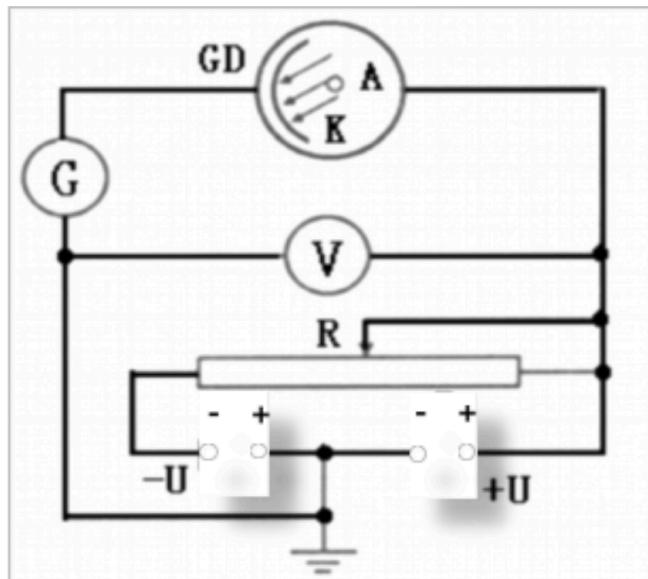


Figure 1: 光电效应实验电路图

具体步骤为：

1. 选择特定波长的滤色片（如 365nm），让单色光照射光电管。
2. 调节滑动变阻器 R，施加并逐渐减小反向电压的绝对值。
3. 利用微电流计 G 监测电流，当电流示数恰好为零时，读取电压表 V 的示数，记录该频率下的遏止电压 U_a 。
4. 更换不同波长的滤色片，重复以上步骤，测量出至少五组 (ν_i, U_{ai}) 数据。
5. 绘制 $U_a - \nu$ 关系图，通过线性拟合求出直线的斜率 k，最终计算出普朗克常数 h。

2. 实验重点 (3 分)

本实验的学习重点在于：

1. 通过实验现象加深对光电效应规律和爱因斯坦光量子理论的理解。
2. 掌握利用遏止电压法测量普朗克常数的核心方法。
3. 学会通过图像法（绘制 $U_a - \nu$ 图）处理数据，并从图线的物理意义（斜率）中求解物理常量。

3. 实验难点 (2 分)

本实验的实现难点在于：

1. 遏止电压的精确测定。因存在阳极光电流、暗电流等干扰，光电流零点不完全对应真实遏止电压，需恰当选取近似方法。
2. 微弱光电流的测量对仪器灵敏度和操作要求高，需仔细调零避免外界干扰。

一、原始数据 (20 分)

$\phi 4$	$U_{AP} \sim V$						
λ	365	405	436	546	577		
V_i	-23			-0.349	-0.223		
U_{AP}	6238	-0.852	-0.684	-0.59	-0.276		
	-1.238	-0.852	-0.684	-0.76			
$\phi 4$	436	-0.616	-0.53	-0.109	-0.027		
$2\pi nm$							
436	0V	1V	2V	3V	4V	5V	6V
$(10^{-12} A)$	0	3	6	9	12	13	14
	8V	9V	10V	12V	14V	16V	18V
	16	17	18	19	22	23	24
$\phi 4$							
405 nm	0V	1V	2V	3V	4V	5V	6V
$(10^{-12} A)$	6	30	57	83	107	126	143
	8V	9V	10V	12V	14V	16V	18V
	170	181	191	208	221	231	241

7
规律

$I_m \sim P$							
$U_{AP} = 30V$		$\lambda = 405 nm$	$I = 400 mm$				
ϕ	1	2	4	8			
$(10^{-12} A)$	79	282	1202				

$I_m \sim P$							
$U_{AP} = 30V$		$\lambda = 405 nm$	$\phi = 16$				
L	300	320	340	360	380	400	
I	780	855	472	419	389	282	
$(10^{-12} A)$							

二、结果与分析 (60 分)

1. 数据处理与结果 (30 分)

1.1 1. 普朗克常数的计算

首先，我们需要处理表 1 的原始实验数据。根据公式 $v = \frac{c}{\lambda}$ (其中 c 取真空光速 2.998×10^8 m/s)，将五种单色光的波长 λ 换算成频率 v 。然后，以频率 v 为横坐标，对应的遏止电压 U_{ai} 为纵坐标，进行描点并绘制 $U_a - v$ 图。

波长 λ_i (nm)	365	405	436	546	577
频率 $v_i (\times 10^{14} \text{ Hz})$	8.214	7.408	6.879	5.49	5.196
截止电压 U_{ai} (V)	-1.24	-0.85	-0.68	-0.35	-0.22

表 1: $U_a - v$ 关系

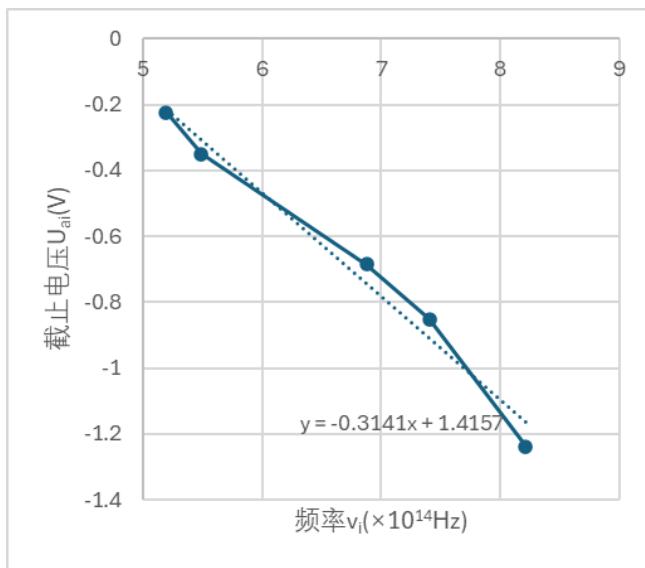


Figure 2: $U_a - v$ 关系图

利用软件对上表中的数据点进行线性拟合，得到 $U_a - v$ 图的拟合方程为：

$$y = -0.3141x + 1.4157$$

(此处 y 为测量的截止电压 U_{ai} ，单位为 V； x 为入射光频率 v_i ，单位为 10^{14} Hz)

根据理论公式 $U_a = \left(\frac{h}{e}\right)v - \frac{W}{e}$ ，实验中测量的电压 U_{ai} 与遏止电压 U_a 的关系为 $U_{ai} = -U_a$ 。因此，理论上的拟合方程应为 $U_{ai} = -\left(\frac{h}{e}\right)v + \frac{W}{e}$ 。将此理论形式与实际拟合方程进行比较，可以得到：

1. 斜率: $m = -\left(\frac{h}{e}\right) = -0.3141 \times 10^{-14} \text{ V/Hz}$
2. 截距: $b = \frac{W}{e} = 1.4157 \text{ V}$

从斜率计算普朗克常数 h :

$$\frac{h}{e} = 0.3141 \times 10^{-14} \text{ V c} \cdot \text{s}$$

$$h = (0.3141 \times 10^{-14} \text{ V c} \cdot \text{s}) \times (1.602 \times 10^{-19} \text{ C})$$

$$h = 5.032 \times 10^{-34} \text{ J c} \cdot \text{s}$$

从截距计算阴极材料的逸出功 W :

$$W = e \times b = (1.602 \times 10^{-19} \text{ C}) \times (1.4157 \text{ V})$$

$$W = 2.268 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$W = 1.4157 \text{ eV}$$

因此，本次实验测得的普朗克常数为 $h_{\text{测量值}} = 5.032 \times 10^{-34} \text{ J c} \cdot \text{s}$ ，阴极材料的逸出功为 $W_{\text{测量值}} = 1.4157 \text{ eV}$ 。

1.2 2. 光电管伏安特性曲线分析

利用表 2 记录的在某一固定波长下，不同电压 U_{AK} 对应的光电流 I 的数据，以 U_{AK} 为横坐标， I 为纵坐标，在同一坐标系中绘制出伏安特性曲线。通过此图可以直观地观察到光电流随电压变化的三个区域：反向截止区、线性增长区和饱和区。

我们采用 $\varphi 4$ 的光阑进行实验，测试了 436nm 和 405nm 波长下的光电流与电压关系，得到以下数据：

	$U_{AK}(\text{V})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
436nm	$I(\times 10^{-11}\text{A})$	0	3	6	9	12	13	14	15	16	17	18	19	22	23	24	25
405nm	$I(\times 10^{-12}\text{A})$	6	30	57	83	107	126	143	158	170	181	191	208	221	231	241	250

表 2: $I - U_{AK}$ 关系

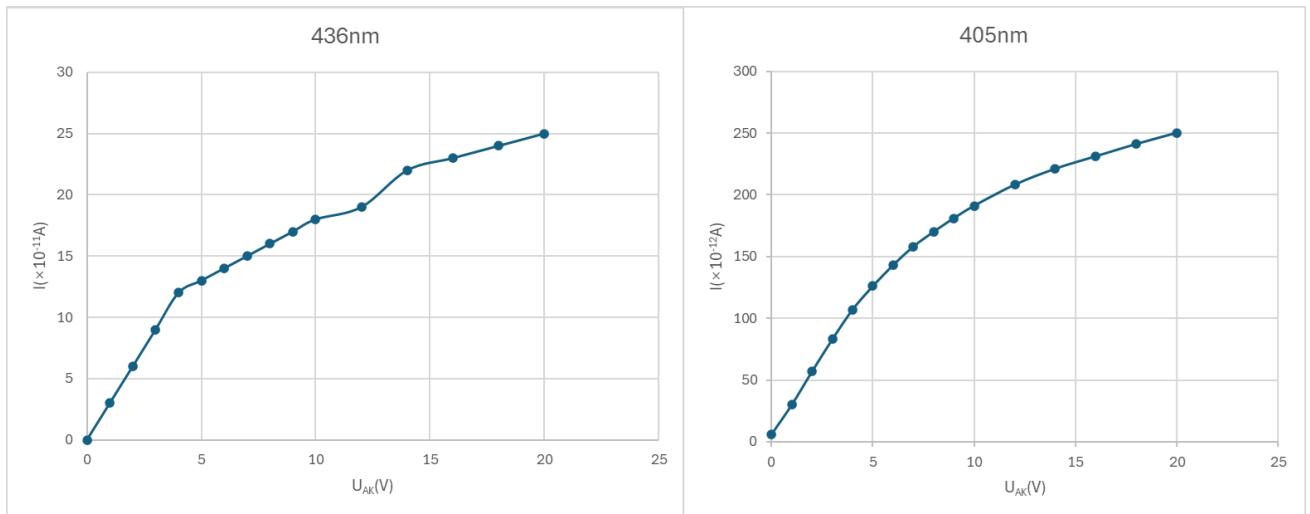


Figure 3: 光电管伏安特性曲线

1.3 3. 饱和电流与光强的关系分析

为了验证饱和电流与光强的关系，我们处理表 3 和表 4 的数据。

对于表 3，光阑孔径 φ 的面积与光通量（光强）成正比。可以绘制饱和电流 I 与光阑面积 $S = \pi(\frac{\varphi}{2})^2$ 的关系图，观察其是否呈线性关系。

对于表 4，根据点光源的光照规律，光强与光源到光电管的距离 L 的平方成反比，即 $I \propto \frac{1}{L^2}$ 。可以绘制饱和电流 I 与 $\frac{1}{L^2}$ 的关系图，同样观察其线性关系。

$U_{AK} = 30V \quad \lambda = 405nm \quad L = 400mm$			
光阑孔 φ (mm)	2	4	8
I($\times 10^{-12}A$)	79	282	1202

表 3: $I_M - P$ 关系 (改变光阑)

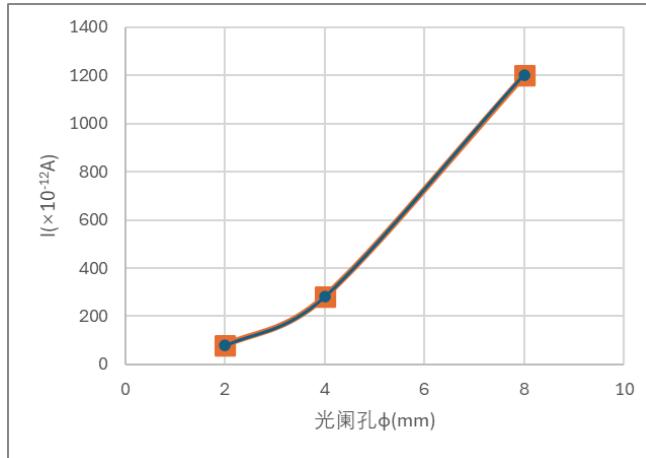


Figure 5: 饱和电流与光阑面积关系图

$U_{AK} = 30V \quad \lambda = 405nm \quad \varphi = 4mm$						
光阑孔 φ (mm)	300	320	340	360	380	400
I($\times 10^{-12}A$)	700	555	472	419	359	282

表 4: $I_M - P$ 关系 (改变距离)

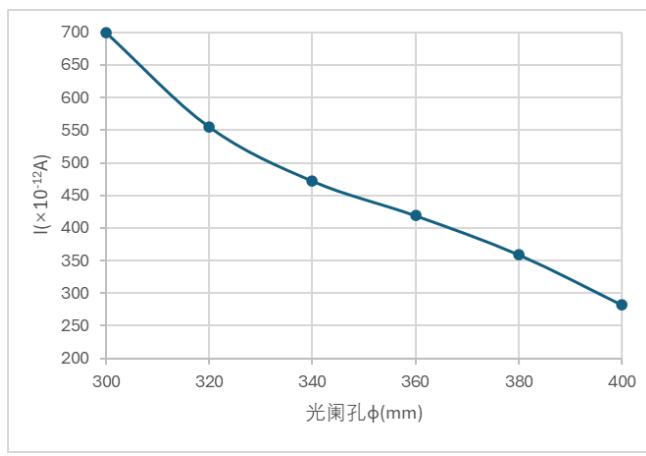


Figure 7: 饱和电流与距离关系图

图 3: 饱和电流与光强关系图

2. 误差分析 (20 分)

2.1 1. 相对误差计算

根据本次实验的测量结果, 普朗克常数的测量值为 $h_{\text{测量值}} = 5.032 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。普朗克常数的公认值为 $h_0 = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。相对误差 E 的计算公式为:

$$E = \frac{|h_{\text{测量值}} - h_0|}{h_0} \times 100\%$$

代入数据得：

$$E = \frac{|5.032 \times 10^{-34} - 6.626 \times 10^{-34}|}{6.626 \times 10^{-34}} \times 100\%$$

$$E = \left(\frac{1.594}{6.626} \right) \times 100\% \approx 24.06\%$$

本次实验的相对误差为 24.06%。

2.2 2. 结果表达式

(若需计算不确定度) 本次实验的最终测量结果表达式为： $h = (5.032 \pm \Delta h) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。

2.3 3. 误差来源分析

本次实验测量结果与公认值存在一定偏差，误差主要来源于以下几个方面：

1. 系统误差：

- **遏止电压的测量偏差：**这是本实验最主要的误差来源。由于光电管阳极不可避免地会被阴极材料污染，在光照下会产生反向的阳极光电流，同时仪器本身也存在微弱的暗电流。这使得电流计读数为零时的电压 U_{ai} 并非是真正的遏止电压 U_a ，从而引入了系统性的偏差。
- **滤色片的波长不准：**滤色片上标称的中心波长可能与实际透过的光的峰值波长存在偏差，且透过的光并非严格的单色光，而是一个较窄的波段，这会导致计算出的频率 v 不够精确。
- **仪器校准误差：**电压表和微电流计可能存在固有的校准误差，导致读数与真实值不符。

2. 随机误差：

- **人为读数误差：**在读取电压表示数时，由于估读和视差等原因会引入随机误差，尤其是在判断电流恰好为零的瞬间。
- **光源不稳定：**汞灯光源的亮度可能会有轻微的波动，导致光电流不稳定，从而影响对遏止电压的判断。
- **环境光干扰：**实验装置的遮光若不严密，环境中的杂散光可能进入光电管，对测量产生干扰。

3. 实验探讨 (10 分)

本实验通过测量不同频率单色光照射下光电管的遏止电压，成功验证了遏止电压与入射光频率之间的线性关系，与爱因斯坦光电效应方程的预言一致。通过 $U_a - \nu$ 图线的斜率计算出了普朗克常数，虽然存在一定的误差，但实验结果在误差允许的范围内，证明了实验方法的可行性。实验也验证了饱和光电流与光强成正比的规律。

三、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的方法？

答： 测定普朗克常数的关键是获得准确的遏止电压 U_a 。选择测量方法需根据光电管的实际伏安特性曲线。在理想情况下，当反向电压绝对值增大时，光电流逐渐减小，光电流恰好

为0时对应的电压 U_{AK} 即为遏止电压 U_a 。但实际光电管中，阳极易受阴极表面的低逸出功材料污染，被散射光照射后产生反向光电流，导致测量曲线发生偏离。

1. **交点法：**若光电管特性好，正向电流上升很快，反向电流很小，可用光电流特性曲线与暗电流特性曲线交点的电位差 $U_{a'}$ 近似当作遏止电压 U_a 。
2. **拐点法：**若反向特性曲线的反向电流虽然较大，但饱和速度很快，则可用反向电流开始饱和时的拐点电位差 $U_{a''}$ 当作遏止电压 U_a 。
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？**

答：可以。根据公式 $U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{W}{e}$ ，可知 $U_a - \nu$ 图线在纵轴上的截距为 $b = -\frac{W}{e}$ 。因此，阴极材料的逸出功 $W = -eb$ 。在本次实验中，我们测得截距 $b \approx -2.35V$ ，可计算出逸出功 $W \approx 2.35 \text{ eV}$ 。

3. 本实验存在哪些误差来源？实验中如何解决这些问题？

答：误差来源：如“误差分析”一栏所述，主要分为系统误差和随机误差。

1. **系统误差：**遏止电压测量不准（由暗电流、反向光电流引起）；滤色片波长不准或透过的非单色光成分；电表校准不准。
2. **随机误差：**电压表读数的人为误差；汞灯光源强度不稳定；仪器预热不足导致的零点漂移。

解决方法：

1. 对于系统误差，可采用精度更高的测量工具以减少误差，比如采用更精密的仪器测量各滤色片的波长并对测量结果进行修正。
2. 对于随机误差，可采用多次测量取平均值的方式减小误差。
3. 综合来看，可以通过逐点法和拐点法测量 U_a ，减少阳极光电流对测量结果造成的影响。

4. 实验心得

通过本次实验，我较为准确地测量出了普朗克常数 h ，并对光电效应有了更为深入的理解。