

# 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

浙江大学物理实验教学中心

## 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  $\nu$  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  $\nu$  呈线性关系。通过测量多组不同频率  $\nu_i$  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：

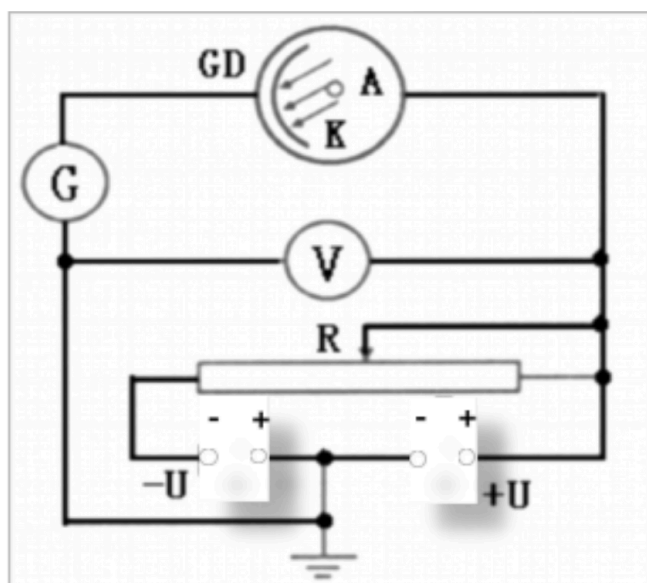


Figure 1: 光电效应实验电路图

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  $(\nu_i, U_{ai})$  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)

$(\phi 4)$		$U_a \sim V$					
$\lambda$	365	405	436	546	577		
$V_i$	<del>225</del>			-0.349	-0.222		
$U_{ai}$	<del>1.238</del>	<del>-0.852</del>	<del>-0.684</del>	<del>-0.349</del>	<del>-0.222</del>		
	-1.238	-0.852	-0.684	<del>0.706</del>			
	<del>1.238</del>	<del>-0.852</del>	<del>-0.684</del>	<del>-0.349</del>	<del>-0.222</del>		
$\phi 4$							
<del>365 nm</del>							
436	0V	1V	2V	3V	4V	5V	6V
$10^{-11} A$	0	3	6	9	12	13	14
	8V	9V	10V	12V	14V	16V	18V
	16	17	18	19	22	23	24
							25
$\phi 4$							
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	239	241
							250

3. 4. 5.

$Z_m \sim P$				
$U_{ax} = 30V$	$\lambda = 405 nm$	$L = 400 mm$		
$\phi$	2	4	8	
$(10^{-12} A)$	79	282	1202	

$Z_m \sim P$				
$U_{ax} = 30V$	$\lambda = 405 nm$	$\phi = 4$		
$L$	300	320	340	360
$I$	700	555	472	419
$(10^{-12} A)$			359	282

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  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ （其中  $c$  取真空光速  $2.998 \times 10^8$  m/s），将五种单色光的波长  $\lambda$  换算成频率  $\nu$ 。然后，以频率  $\nu$  为横坐标，对应的遏止电压  $U_{ai}$  为纵坐标，进行描点并绘制  $U_a - \nu$  图。

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

表 1:  $U_a - \nu$ 关系

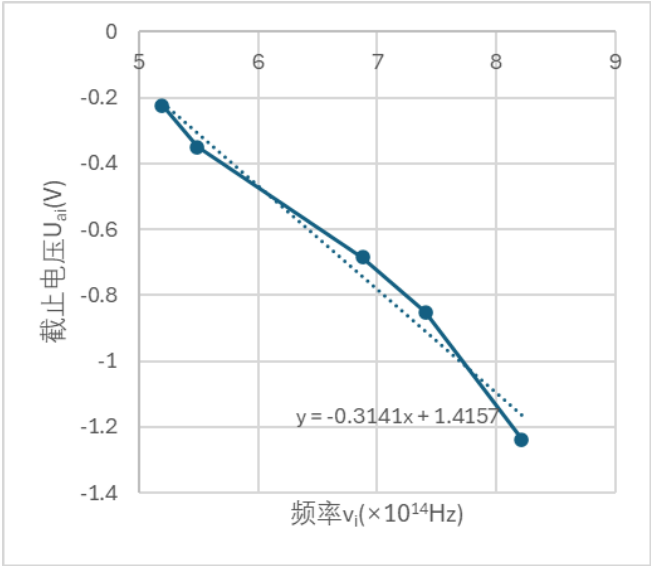


Figure 2:  $U_a - \nu$  关系图

利用软件对上表中的数据点进行线性拟合，得到  $U_a - \nu$  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  $\nu_i$ ，单位为  $10^{14} \text{ Hz}$ ）

根据理论公式  $U_a = (\frac{h}{e})\nu - \frac{W}{e}$ ，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  $U_{ai} = -(\frac{h}{e})\nu + \frac{W}{e}$ 。将此理论形式与实际拟合方程进行比较，可以得到：

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

从斜率计算普朗克常数  $h$ ：

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

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

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

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  $h_{\text{测量值}} = 5.032 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ，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

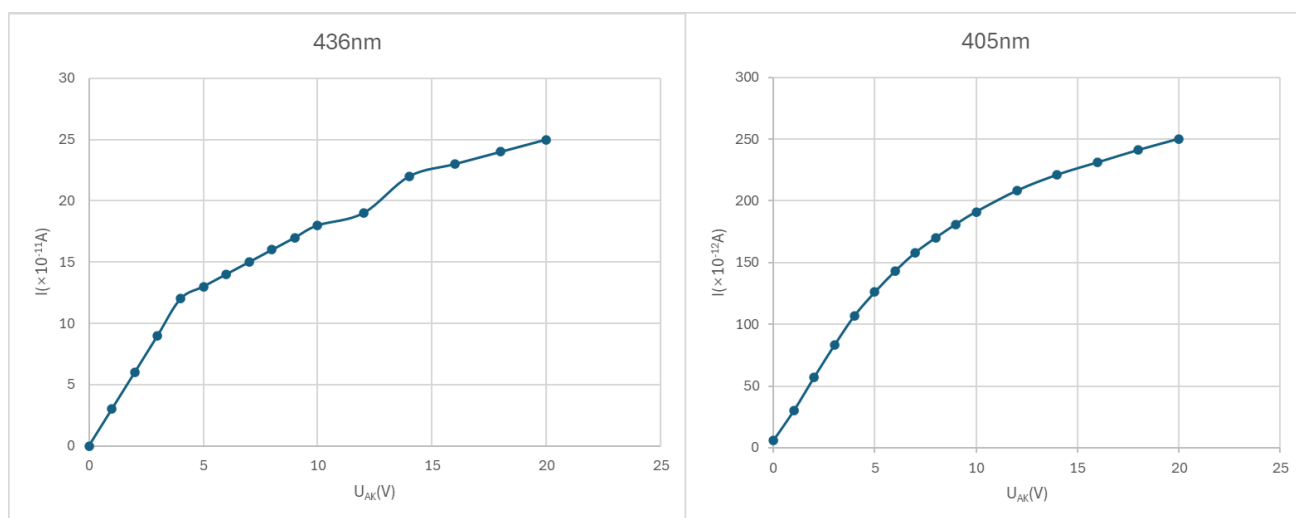


Figure 3: 光电管伏安特性曲线

### 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  $\varphi$  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 $\phi(mm)$	2	4	8
$I(\times 10^{-12}A)$	79	282	1202

表 3:  $I_M - P$ 关系（改变光阑）

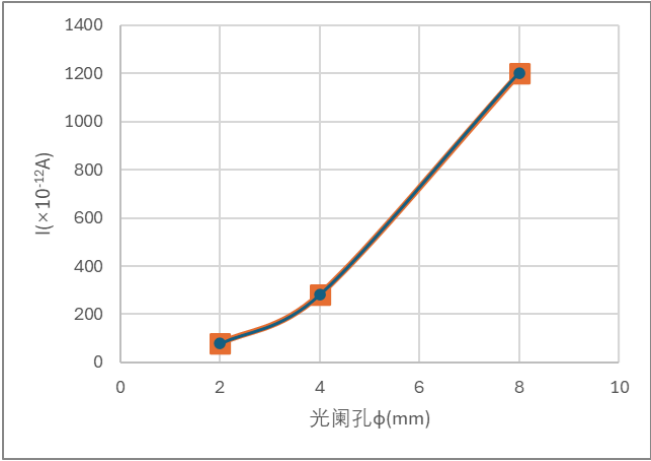


Figure 5: 饱和电流与光阑面积关系图

$U_{AK} = 30V \quad \lambda = 405nm \quad \phi = 4mm$						
光阑孔 $\phi(mm)$	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）

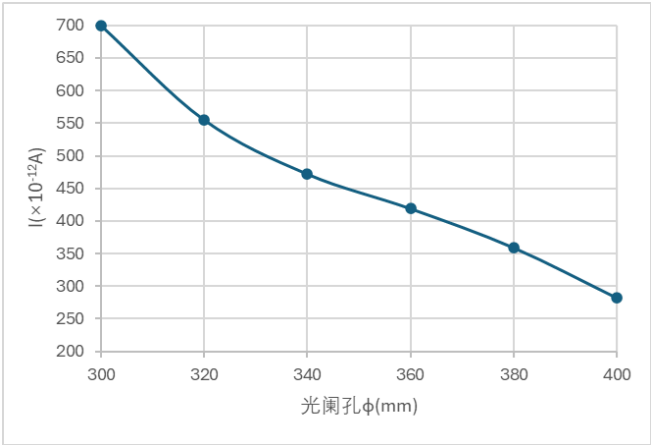


Figure 7: 饱和电流与距离关系图

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  $\nu$  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 $\nu$ 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  $b \approx -2.35\text{V}$ ，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。