

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9

实验题目：光电效应法测普朗克常量

实验目的：了解光电效应的基本规律，并用光电效应的方法测量普朗克常量，并测定光电管的光电特性曲线。

实验仪器：光电管、滤波片、水银灯、相关电学仪器

实验原理：在光电效应中，光显示出粒子性质，它的一部分能量被物体表面电子吸收后，电子逸出形成光电子，若使该过程发生于一闭合回路中，则产生光电流。

实验原理图：

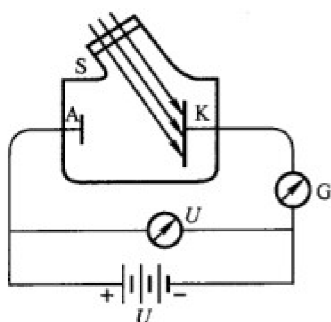


图 8.2.1-1 光电效应实验原理图

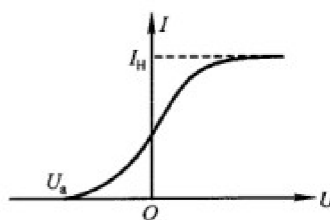


图 8.2.1-2 光电管的伏安特性曲线

图一：原理图

光电流随加速电压差 U 的增加而增加，其大小与光强成正比，并且有一个遏止电位差 U_a 存在（此时光电流 $I=0$ ）。

当 $U=U_a$ 时，光电子恰不能到达 A ，由功能关系：

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_a$$

而每一个光子的能量 $\varepsilon = h\nu$ ，同时考虑到电子的逸出功 A ，由能量守恒可以知道：

$$h\nu = \frac{1}{2}mv^2 + A$$

这就是爱因斯坦光电效应方程。

若用频率不同的光分别照射到 K 上，将不同的频率代入光电效应方程，任取其中两个就可以解出：

$$h = \frac{e(U_1 - U_2)}{\nu_1 - \nu_2}$$

其中光的频率 ν 应大于红限 $\nu_0 = \frac{A}{h}$ ，否则无电子逸出。根据这个公式，结合图象法或者平均值法就可以在一定的精度范围内测得 h 值。

实验中单色光用水银等光源经过单色滤光片选择谱线产生；使用交点法或者拐点法可以确定较准确的遏止电位差值。

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9

- 实验内容：1、在光电管入光口装上 365nm 的滤色片，电压为-3V，调整光源和光电管之间的距离，直到电流为 $-0.3\mu\text{A}$ ，固定此距离，不需再变动；
- 2、分别测 365nm,405nm,436nm,546nm,577nm 的 V-I 特性曲线，从-3V 到 25V，拐点出测量间隔尽量小；
- 3、装上 577 滤色片，在光源窗口分别装上透光率为 25%、50%、75%的遮光片，加 20V 电压，测量饱和光电流 I_m 和照射光强度的关系，作出 I_m -光强曲线；
- 4、作 U_a -V 关系曲线，计算红限频率和普朗克常量 h ，与标准值进行比较。

数据处理和误差分析：

本实验中测量的原始数据如下：

电压 U/V	-3.0	-2.0	-1.7	-1.5	-1.4	-1.3	-1.2	-1.1	-1.0	-0.9	-0.8
电流 I/ μA	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.6	2.1
电压 U/V	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3
电流 I/ μA	2.6	3.2	3.7	4.4	5.1	5.8	6.5	7.2	7.7	8.4	9.0
电压 U/V	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5
电流 I/ μA	9.4	9.8	10.3	10.6	10.9	11.3	11.7	12.3	13.0	14.1	14.6
电压 U/V	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0	25.0			
电流 I/ μA	15.4	16.5	17.2	18.3	19.2	19.8	20.0	20.1			

表一：365nm 光下电压和光电流

电压 U/V	-3.0	-2.0	-1.3	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3
电流 I/ μA	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.4	0.7	1.1	1.6	2.3	3.0
电压 U/V	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
电流 I/ μA	3.7	4.4	5.0	5.6	6.1	6.5	6.9	7.4	7.7	8.0	8.2
电压 U/V	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0
电流 I/ μA	8.4	8.7	9.0	9.6	10.1	10.8	11.2	11.7	12.1	12.9	13.3
电压 U/V	15.0	20.0	25.0								
电流 I/ μA	13.7	13.9	14.0								

表二：405nm 光下电压和光电流

电压 U/V	-3.0	-2.0	-1.5	-1.2	-1.0	-0.9	-0.8	-0.7	-0.6	-0.5	-0.4
电流 I/ μA	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6	1.0	1.5
电压 U/V	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
电流 I/ μA	2.1	2.7	3.4	3.9	4.4	4.9	5.3	5.6	5.9	6.2	6.4
电压 U/V	0.8	0.9	1.0	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0
电流 I/ μA	6.6	6.8	7.0	7.3	7.8	8.3	8.7	9.1	9.6	9.8	10.1
电压 U/V	10.0	15.0	20.0	25.0							
电流 I/ μA	10.5	10.8	10.9	10.9							

表三：436nm 光下电压和光电流

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9

电压 U/V	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
电流 I/uA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.6	1.2	1.7
电压 U/V	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
电流 I/uA	2.2	2.6	3.0	3.2	3.5	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3	4.4
电压 U/V	1.2	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0	7.0	10.0	15.0	20.0
电流 I/uA	4.6	4.8	5.2	5.4	5.5	5.8	5.9	6.1	6.2	6.3	6.4
电压 U/V	25.0										
电流 I/uA	6.4										

表四：546nm 光下电压和光电流

电压 U/V	-3.0	-2.0	-1.5	-1.0	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
电流 I/uA	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.8	1.0
电压 U/V	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5
电流 I/uA	1.2	1.4	1.5		1.6		1.7			1.8	1.9
电压 U/V	2.0	3.0	5.0	10.0	15.0	20.0	25.0				
电流 I/uA	2.0	2.0	2.1	2.1	2.2	2.2	2.2				

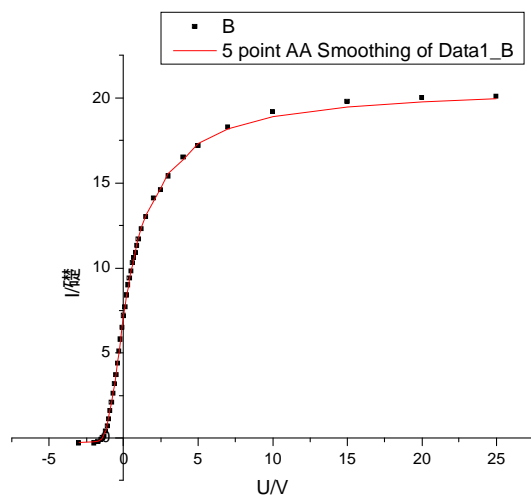
表五：577nm 光下电压和光电流

100%	75%	50%	25%	0%
2.2	1.8	1.1	0.6	0

表六：在不同透光率下的饱和光电流（577nm 光下）

电流单位：μA

根据以上表一至表五的数据，可分别作出各种不同波长（频率）光下，光电管的 V-I 特性曲线：



图二：365nm 光下光电管的伏安特性曲线

实 验 报 告

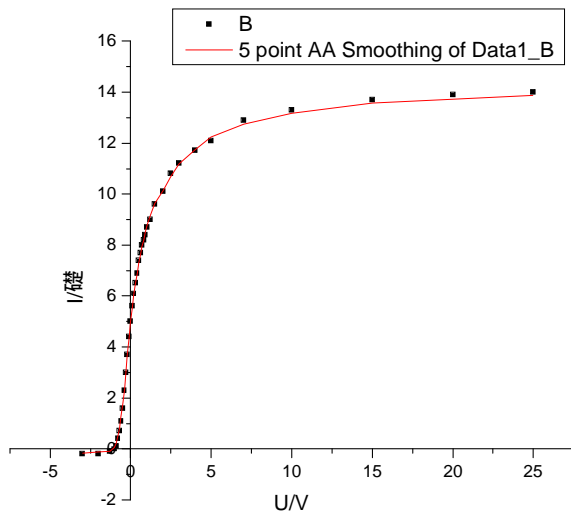
评分：

少年班 系 06 级

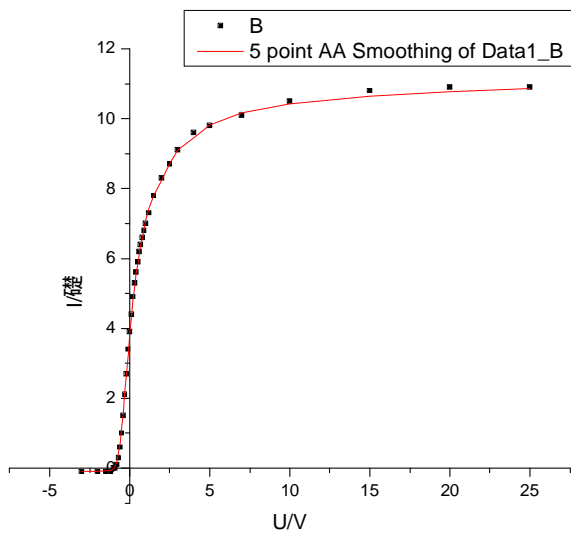
学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9



图三：405nm 光下光电管的伏安特性曲线



图四：436nm 光下光电管的伏安特性曲线

实 验 报 告

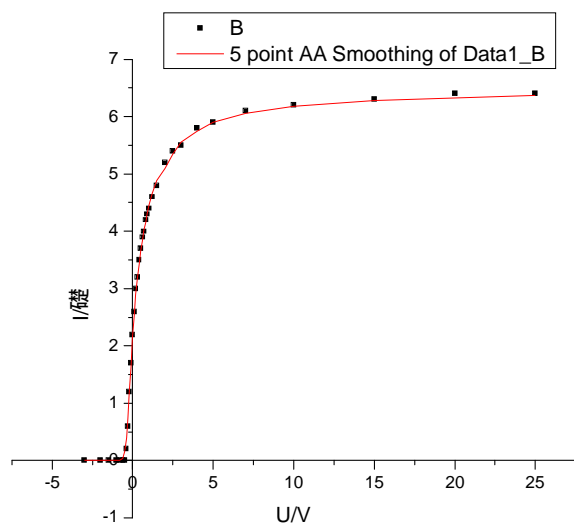
评分：

少年班 系 06 级

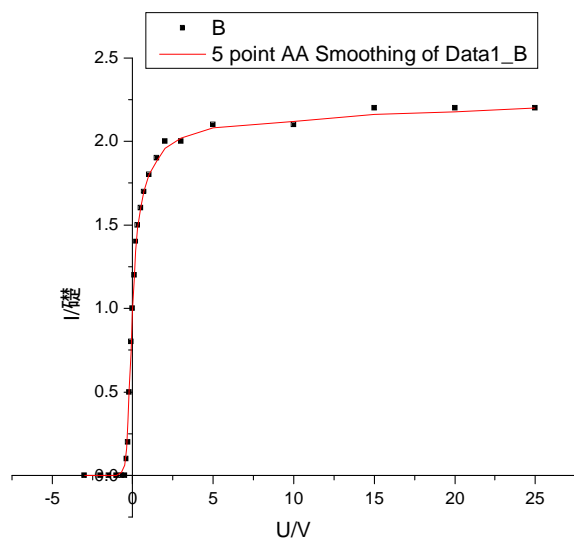
学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9



图五：546nm 光下光电管的伏安特性曲线



图六：577nm 光下光电管的伏安特性曲线

根据以上五个图，利用拐点法可确定在不同光频率下的遏止电压差值，列表如下：

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

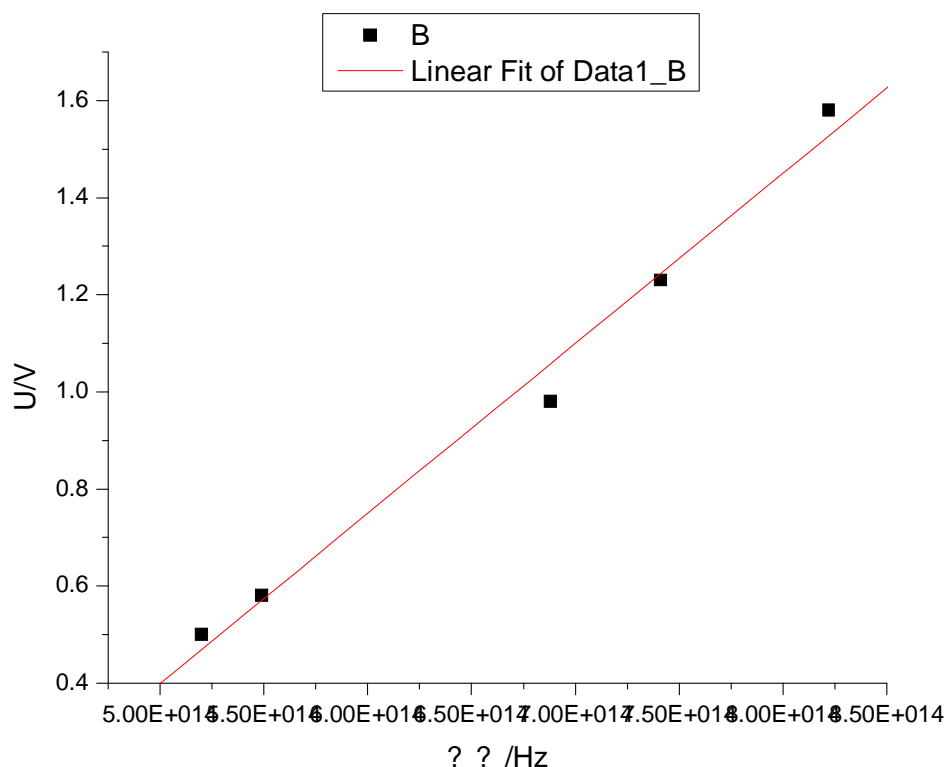
姓名 张力

日期 2007-4-9

/nm	/Hz	Ua/V
365	8.22×10^{14}	1.58
405	7.41×10^{14}	1.14
436	6.88×10^{14}	1.04
546	5.49×10^{14}	0.69
577	5.20×10^{14}	0.53

表七：光频率和遏止电压的关系

由此作出频率-遏止电压图，用直线拟合：



图七：频率-遏止电压图

其中该直线的斜率 $k=h/e$ 。

利用最小二乘法计算直线斜率，得：

$$k = \frac{5 \sum_{i=1}^5 \nu_i U_{ai} - \sum_{i=1}^5 \nu_i \sum_{i=1}^5 U_{ai}}{5 \sum_{i=1}^5 \nu_i^2 - (\sum_{i=1}^5 \nu_i)^2} \approx 3.50 \times 10^{-15} \text{ V / Hz}$$

故可求得 $r=0.984$ 。

那么斜率的相对标准差为

$$\frac{s_k}{k} = \sqrt{\left(\frac{1}{r^2} - 1\right) / (n - 2)} = \sqrt{\left(\frac{1}{0.984^2} - 1\right) / (5 - 2)} = 0.105$$

实 验 报 告

评分：

少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9

普朗克常量的实验平均值为 $h = ek = 1.60 \times 10^{-19} \times 3.50 \times 10^{-15} \text{ Js} \approx 5.6 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

又对该实验而言， $U_B = 0.1 \text{ V}$ ，其相对标准差为 $\frac{\Delta_B}{U_a} < \frac{0.1}{0.53} = 0.19$ （取最大误差进行计算）

取 $P = 0.997$ ，那么普朗克常量的展伸不确定度为：

$$U_{0.95} = \sqrt{u_A^2 + \left(K \frac{\Delta_B}{C}\right)^2} = 5.6 \times 10^{-34} \times \sqrt{0.105^2 + \left(3 \times \frac{0.19}{3}\right)^2} \text{ J} \cdot \text{s} = 1.2 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

得到普朗克常量的最终表达式为：

$$h = \bar{h} \pm U_{0.997} = (5.6 \pm 1.2) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}, P = 0.997$$

将结果和公认值比较，发现偏差较大，但仍然在 $(-3, 3)$ 范围内，可以认为在一定范围内符合要求。本实验得出的结果误差较大，原因主要是电学仪器示数不稳定造成读数偏差，以及在读图过程中判断拐点的偏差有关。

对于光电管 K 的逸出功，根据公式 $A = h\nu - eU_a$ ，分别计算五种频率下 A 的值：

365nm 下： $A_1 = 2.08 \times 10^{-19} \text{ J}$

405nm 下： $A_2 = 2.32 \times 10^{-19} \text{ J}$

436nm 下： $A_3 = 2.19 \times 10^{-19} \text{ J}$

546nm 下： $A_4 = 1.97 \times 10^{-19} \text{ J}$

577nm 下： $A_5 = 2.06 \times 10^{-19} \text{ J}$

故平均值： $\bar{A} = 2.12 \times 10^{-19} \text{ J}$ ，再利用误差传递公式：

$$U_{A0.997} < U_{0.997} \times v_{\max} + e \times \Delta_B = (1.2 \times 10^{-34} \times 8.22 \times 10^{14} + 1.6 \times 10^{-19} \times 0.1) \text{ J} = 1.1 \times 10^{-20} \text{ J}$$

那么逸出功的最终表达式为：

$$A = \bar{A} \pm U_{A0.997} = (2.12 \pm 0.11) \times 10^{-19} \text{ J}, P = 0.997$$

考虑红限频率，由于 $h\nu_0 = A$ ，那么

$$\nu_0 = A/h = 2.12 \times 10^{-19} / 5.6 \times 10^{-34} \text{ Hz} = 3.78 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

由误差传递公式，那么

$$\frac{U_{\nu0.997}}{\bar{\nu}_0} = \sqrt{\left(\frac{U_{A0.997}}{\bar{A}}\right)^2 + \left(\frac{U_{0.997}}{h}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0.11}{2.12}\right)^2 + \left(\frac{1.1}{5.6}\right)^2} = 0.203$$

$$\therefore U_{\nu0.997} = 0.203 \times 3.82 \times 10^{14} \text{ Hz} = 7.7 \times 10^{13} \text{ Hz}$$

故红限频率的最终表达式为：

$$\nu_0 = (\bar{\nu}_0 \pm U_{\nu0.997}) = (3.78 \pm 0.77) \times 10^{14} \text{ Hz}, P = 0.997$$

实 验 报 告

评分：

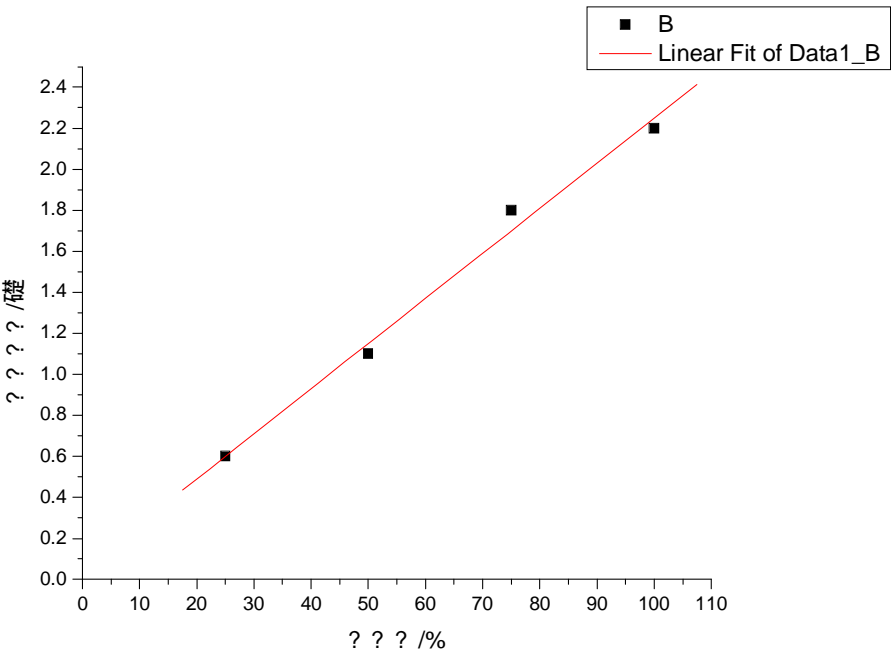
少年班 系 06 级

学号 PB06000680

姓名 张力

日期 2007-4-9

对于表六中关于光电流和光强度的关系，可以作出下图：



图八：光饱和电流和光强度的关系

从上图可以看出，在误差范围内，光饱和电流和光强度成正比例关系。（在这里不作定量计算）