

B1 光电效应实验

实验人：黄子维 20980066

合作者：黄睿杰 20980062

实验时间：2021.12.9 星期四 上午 室温：21°C 相对湿度：47%

【数据处理及分析】

1. 零电流法测量普朗克常量 h

实验结果

光源与光电管距离 40cm，取口径 $\phi 4mm$ 光阑，安装不同波长的滤光片，测量光电流为零时的反向电压值。结果如表1，图1。

波长 λ/nm	频率 $\nu/10^{14}s^{-1}$	$I_{U_{AK}=2V}/10^{-13}A$	截止电压 U_0/V
365	8.22	-20	1.782
405	7.41	-12	1.464
436	6.88	-17	1.240
546	5.49	-5	0.715
577	5.20	-2	0.612

表 1: 各谱线对应截止电压

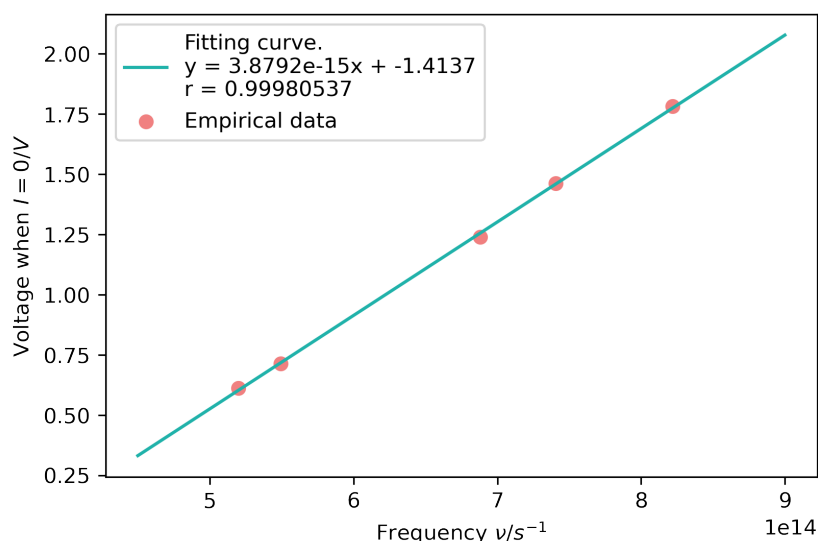


Fig. 1 Measuring Planck constant by zero current method.

图 1: 截止电压和谱线对应频率关系

计算普朗克常量

采用最小二乘法拟合图线，相关系数 $R > 0.99$ ，拟合效果好。计算拟合系数得斜率

$$K = 3.88 \times 10^{-15}$$

由爱因斯坦光电效应理论，普朗克常量 $h = Ke$ ，代入斜率和元电荷 ($e = 1.60 \times 10^{-19} C$) 计算得

$$h = Ke = 6.21 \times 10^{-34} J \cdot s$$

对比公认值 $h_0 = 6.6 \times 10^{-34} J \cdot s$ ，相对误差为 6.35%。

2. 测量伏安特性曲线

A. $d = 40cm, D = 4mm$ ，不同入射波长

控制 $d = 40cm, D = 4mm$ ，取波长分别为 $436nm, 546nm, 577nm$ ，结果如图2所示。

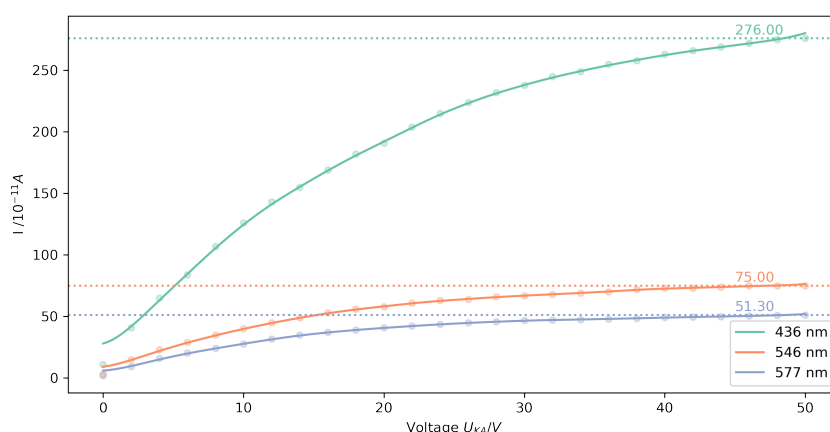


Fig. 2.1. Volt ampere characteristic curves of different wavelengths.

图 2: 不同入射波长的伏安特性曲线

实验结果验证了当电压升高时，伏安特性曲线逐渐变缓，光电流趋于饱和。取 $U_{AK} = 50V$ 时光电流作为饱和光电流，数值已在图上注明。随着光波长变大，饱和光电流减小。

B. $\lambda = 436nm, D = 4mm$ ，不同距离

控制 $\lambda = 436nm, D = 4mm$ ，取距离分别为 $40cm, 35cm, 30cm$ ，结果如图3所示。

实验结果验证了当电压升高时，伏安特性曲线逐渐变缓，光电流趋于饱和。取 $U_{AK} = 50V$ 时光电流作为饱和光电流，数值已在图上注明。随着距离增大，饱和光电流减小。

C. $\lambda = 436nm, d = 40cm$ ，不同光阑

控制 $\lambda = 436nm, d = 40cm$ ，取光阑孔径分别为 $2mm, 4mm, 8mm$ ，结果如图4所示。

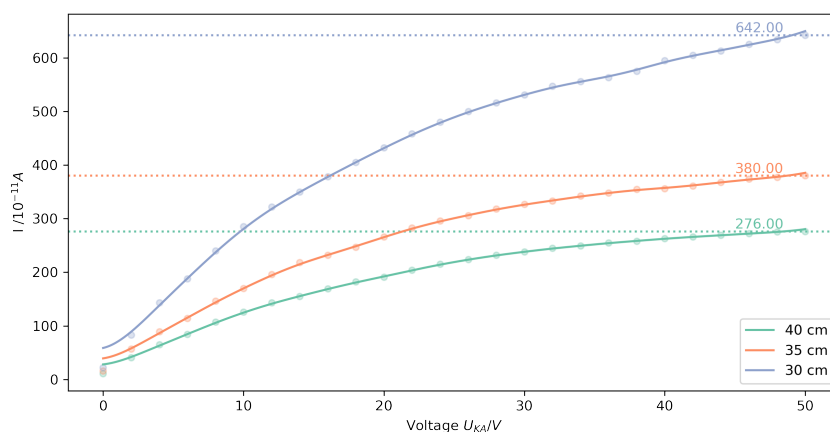


Fig. 2.2. Volt ampere characteristic curves of different distances.

图 3: 不同距离的伏安特性曲线

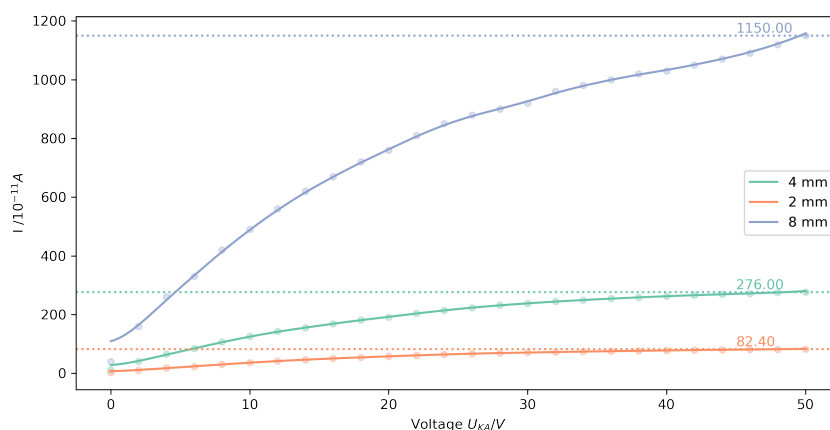


Fig. 2.3. Volt ampere characteristic curves of different diaphragms.

图 4: 不同光阑的伏安特性曲线

实验结果验证了当电压升高时, 伏安特性曲线逐渐变缓, 光电流趋于饱和。取 $U_{AK} = 50V$ 时光电流作为饱和光电流, 数值已在图上注明。随着光阑口径增大, 饱和光电流增大。

3. 验证饱和光电流与入射光强成正比

设定正向电压 $U_{AK} = 50V$, 分别控制光阑大小和光源距离, 以探究饱和光电流和入射光强的关系。

A. 控制距离 $d = 40cm$, 调节光阑大小

结果如表2, 图5。

光阑孔径 D/mm	光阑面积 S/mm^2	$I_{436nm}/10^{-11}A$	$I_{546nm}/10^{-11}A$	$I_{517nm}/10^{-11}A$
2	3.14	89	22	14
4	12.56	310	84	53
8	50.26	1180	310	200

表 2: 饱和光电流和光阑面积的关系

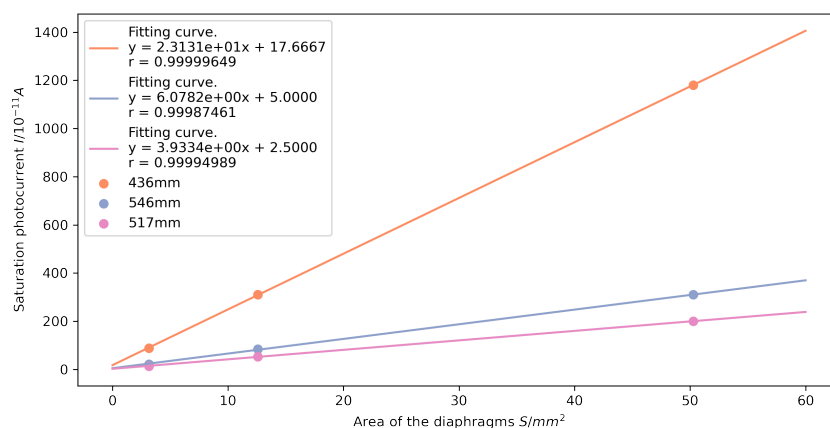


Fig. 3.1 Saturation photocurrent at different diaphragm areas.

图 5: 饱和光电流和光阑面积的关系

实验结果显示，饱和光电流和光阑面积成线性正相关，相关系数 $R > 0.99$ 。而光强与光阑面积成正比，因此证明了饱和光电流与入射光强成正比。同时随着波长越小，饱和光电流随入射光强增长越快。

B. 控制光阑 $D = 4mm$ ，调节距离大小

结果如表3，图6。

距离 d/cm	$1/d^2/cm^{-2}$	$I_{436nm}/10^{-11}A$	$I_{546nm}/10^{-11}A$	$I_{517nm}/10^{-11}A$
40	0.000625	280	83	53
38	0.000693	320	95	61
36	0.000772	380	110	70
34	0.000865	440	128	81
32	0.000977	520	150	97
30	0.001111	620	178	112

表 3: 饱和光电流和距离平方反比的关系

实验结果显示，饱和光电流和距离平方反比成线性正相关，相关系数 $R > 0.99$ 。而光强与距离平方反比成正比，因此证明了饱和光电流与入射光强成正比。同时随着波长减小，饱和光电流随入射光强增长越快。

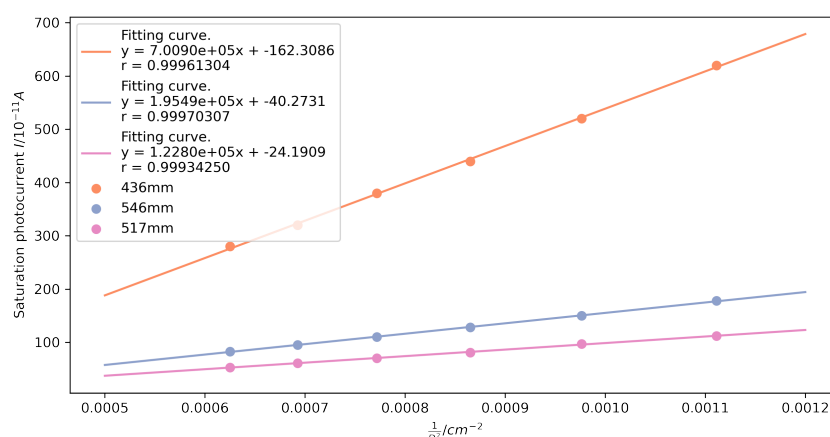


Fig. 3.2 Saturation photocurrent at different distances.

图 6: 饱和光电流和距离平方反比的关系

【结论和误差分析】

本实验中，我们使用零电流法测量了普朗克常量，结果为 $h = 6.21 \times 10^{-34} J \cdot s$ ，实验值与公认值相对误差约 6%，测量相对准确。同时我们研究了伏安特性曲线的基本规律，探究了不同因素（入射光波长，光源距离和光阑口径）对光电效应伏安特性曲线的影响。最后我们研究了饱和光电流随光强变化，证明了饱和光电流随光强成正比。

实验可能的误差有：

1. 零电流法理想条件不满足：由于反向电流的存在，零电流下反向电压并非真正的截止电压。
2. 实验中发现当电压达到 50V 时，光电流仍在以一定速率升高，可能未达到完全饱和。

【思考题】

1. 截止电压的物理意义是什么？

逸出的光电子具有一定初动能。当光照射光电管阴极时，光电子逸出而落入阳极形成光电流。加上反向电压，使阳极电位降低，直到所有光电子都不能到达阳极，此时光电流为零。这个使光电流为零的相对于阴极的反向电压 U_s 称为光电效应的截止电压，有：

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

截止电压是光电子的最大动能全部转化为势能时对应的电压值。

2. 实验仪选择不同的电流灵敏度（即不同的电流测量档）是否会影响普朗克常数的测量？

会影响。因为在零电流法测量普朗克常量中，需要准确读出在光电流为零所对应的电压值。电流灵敏度越高，电压值越准确，测量精度越高。否则测量普朗克常量误差将比较大。

3. 光电管与光电池有什么区别？

光电管是一种光敏电路元件（光电转换器件），受光照后从阴极释放光电子形成光电流，原理是光电效应。

光电池是一种特殊的半导体二极管，利用光伏效应将可见光转化为直流电，从而把光能转换成电能，是电源元件。

4. 本实验最大的误差来源是什么？试提出一些减少实验误差的建议。

最大的误差来源是反向电流的存在。由于阳极上往往也溅有少量阴极材料，受光照时也将发射光电子。此外，阴极电子也可能被阳极反射。这样，在反向电压的作用下，阳极发射的电子受到加速作用而形成反向电流，从而抵消了一部分光电流，给实验带来误差。

建议：

1. 增大光源光强，从而增大光电流，掩盖反向电流影响。
2. 使用新的光电管。

【项目源码】

https://github.com/Jeg-Vet/SYSU-PHY-EXP/tree/main/B1-Photoelectric_effect

6. 首次校准3路输出2V. 则

$$U_{AK} = -2V$$

测量并记录电压 I

7. 调节3路输出, 使 U_{AK} 绝对值减小

记录 $I=0$ 时 U_{AK} 作为截止电压

8. 依次更换不同波长 (405/436/546/577)

测光片, 测量 U_{AK}

[逐次更换时屏蔽上述光差]

* 作 $U_{AK}-I$ 曲线, 求 k , 并 $h\nu = \frac{h-h_0}{h_0}$

② 测光电管伏安特性曲线

准备 a. 盖上盖板遮光, 而电压在 1, 2, 3 路 off

b. 第1路 - → 第2路 + (两电源串联)

c. $A \rightarrow$ 1路 +, 地端 \rightarrow 2路 -

d. 量程 $10^{-10}A$, signal \rightarrow Measure 调整

1. 不同电压, 同一光强同一距离

1a. 保持距离 40cm

1b. 光强 4mm, 测光片, 所述

1c. 打开盖板遮光

1d. 使 $U_{AK}=0$, 测量 I

1e. 同前 $U_{AK} \rightarrow 50V$, 步长 $1V$, 测量 I

作 $I-U_{AK}$ 曲线

2. 不同距离, 同一光强同一电压 (436nm)

距离选 35cm, 30cm, 40cm \uparrow 同样验证

3. 不同光强, 同一距离, 同一电压

* 设置 $U_{AK}=50V$, 测量光强

2mm, 4mm, 8mm, 测光片

验证 I 和 αP

E [40cm/50V]

	2mm	4mm	8mm
436nm	0.89	310	118
546nm	0.22	0.84	0.31
577nm	0.14	0.53	0.20
	$\times 10^{-11}$	$\times 10^{-11}$	$\times 10^{-10}$

F [4mm/50V]

	436nm	546nm	577nm
40cm	0.88	0.83	0.53
38cm	0.92	0.95	0.61
36cm	0.98	1.10	0.70
34cm	0.44	1.28	0.81
32cm	0.52	1.50	0.97
30cm	0.62	1.78	1.12
	$\times 10^{-10}$	$\times 10^{-11}$	$\times 10^{-11}$

A. 逐电压法测量普朗克常量

波长 λ	$U_{AK} = 2V (10^{-10}A)$	$I = 0 (V)$
435nm	-0.20	1.782
405nm	-0.12	1.462
436nm	-0.17	1.240
546nm	-0.05	0.715
577nm	-0.02	0.612

B. [40cm/4mm] 436nm ($10^{-10}A$) 546nm ($10^{-10}A$) 577nm ($10^{-10}A$)

	436nm ($10^{-10}A$)	546nm ($10^{-10}A$)	577nm ($10^{-10}A$)
0V	0.11	0.03	0.20
2V	0.41	0.15	0.93
4V	0.65	0.23	1.60
6V	0.84	0.29	2.04
8V	1.07	0.35	2.41
10V	1.26	0.40	2.77
\vdots	1.43	0.45	3.17
	1.55	0.49	3.50
	1.69	0.53	3.72
	1.82	0.56	3.91
	1.91	0.58	4.08
	2.04	0.61	4.22
	2.15	0.63	4.37
	2.24	0.64	4.49
	2.32	0.66	4.57
	2.38	0.67	4.68
	2.45	0.68	4.72
	2.49	0.69	4.75
	2.55	0.70	4.80
	2.58	0.72	4.85
	2.63	0.73	4.92
	2.66	0.74	4.96
	2.67	0.74	4.99
	2.72	0.75	5.05
	2.75	0.75	5.08
	2.76	0.75	5.13

50V

C. [436nm/4mm]

35cm ($10^{-10}A$) 30cm ($10^{-10}A$)

	35cm ($10^{-10}A$)	30cm ($10^{-10}A$)
0V	0.16	0.83
2V	0.57	1.43
\vdots	0.89	1.88

114	2.40
146	2.85
170	3.22
196	3.50
218	3.78
232	4.05
247	4.32
266	4.58
283	4.80
296	5.00
306	5.16
318	5.31
327	5.47
333	5.56
333	5.63
342	5.75
348	5.95
355	6.05
356	6.13
361	6.25
368	6.34
374	6.42
377	
380	

D. [436nm/40cm]

2mm ($10^{-10}A$) 8mm ($10^{-10}A$)

	2mm ($10^{-10}A$)	8mm ($10^{-10}A$)
0V	0.25	0.16
2V	1.08	0.26
\vdots	1.80	0.33

230	0.42
303	0.49
363	0.56
419	0.62
466	0.67
505	0.72
544	0.76
575	0.81
610	0.85
643	0.88
670	0.91
690	0.92
706	0.96
722	0.98
738	0.98
750	1.00
765	1.02
777	1.03
790	1.05
800	1.07
810	1.07
815	1.07
824	

allen