

图 1 光电效应实验原理图

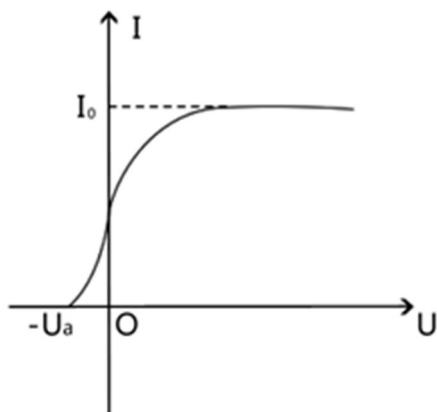


图 2 光电管的伏安特性曲线

1. 光电流与入射光强度的关系

光电流随加速电位差 U 的增加而增加，加速电位差增加到一定量值后，光电流达到饱和值 I_H ，饱和电流与光强成正比

2. 光电子的初动能与入射光频率之间的关系

光电子从阴极逸出时，具有初动能。当 $U = U_A - U_K$ 为负值时，光电子逆着电场力方向由 K 极向 A 极运动，随着 U 的增大，光电流迅速减小，当光电流为零，此时的电压的绝对值称为遏止电位差 U_a 。

在减速电压下，当 $U = U_a$ 时，光电子不再能达到 A 极，光电流为零。所以电子的初动能等于它克服电场力所作的功。即

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU_a \quad (1)$$

根据爱因斯坦关于光的本性的假设，光是一种微粒，即为光子。每一光子的能量为 $\epsilon = h\nu$ ，其中 h 为普朗克常量， ν 为光波的频率。所以不同频率的光波对应光子的能量不同。光电子吸收了光子的能量 $h\nu$ 之后，一部分消耗于克服电子的逸出功 A ，另一部分转换为电子初动能。由能量守恒定律可知

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

式 (2) 称为爱因斯坦光电效应方程。

由此可见，光电子的初动能与入射光频率成线性关系，而与入射光的强度无关。

3. 光电效应有光电阈存在

由 (2) 式可知，只有光子的能量 $h\nu$ 大于等于逸出功 A 时，光电子才能有初动能，才会产生光电效应，即当光的频率 $\nu < \nu_0$ 时，不论用多强的光照射到物质都不会产生光电效应，

其中 $\nu_0 = \frac{A}{h}$ ，称为截止频率（又称红限）。不同的金属材料的逸出功 A 不同，因而截止频率也不同。

爱因斯坦，光电效应方程同时提供了测普朗克常量的一种方法：由式 (1) 和 (2) 可得：
 $h\nu = e|U_a| + A$ 。当用不同频率($\nu_1, \nu_2, \nu_3, \dots, \nu_n$)的单色光分别做光源时，就有

$$\begin{aligned} h\nu_1 &= e|U_1| + A \\ h\nu_2 &= e|U_2| + A \\ &\dots\dots \\ h\nu_n &= e|U_n| + A \end{aligned} \tag{3}$$

用线性拟合由 $U_a - \nu$ 直线的斜率求出 h 。

因此，用光电效应方法测量普朗克常量的关键在于获得单色光、测得光电管的伏安特性曲线和确定遏止电位差值。

实验中，单色光可由水银灯光源经过单色仪选择谱线产生。水银灯是一种气体放电光源，点燃稳定后，在可见光区域内有几条波长相差较远的强谱线，如表 1 所示。单色仪的鼓轮读数与出射光的波长存在一一对应关系，由单色仪的定标曲线，即可查出出射单色光的波长（有关单色仪的结构和使用方法请参阅有关说明书），也可用水银灯（或白炽灯）与滤光片联合作用产生单色光。

为了获得准确的遏止电位差值，本实验用的光电管应该具备下列条件：

表 1 可见光区汞灯强谱线		
波长 /nm	频率 / 10^{14} Hz	颜色
579.0	5.179	黄
577.0	5.198	黄
546.1	5.492	绿
435.8	6.882	蓝
404.7	7.410	紫
365.0	8.216	近紫外

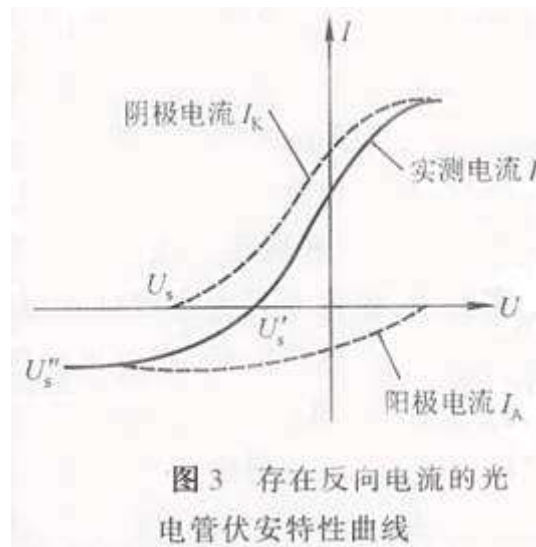
- (1) 对所有可见光谱都比较灵敏。
 - (2) 阳极包围阴极，这样当阳极为负电位时，大部分光电子仍能射到阳极。
 - (3) 阳极没有光电效应，不会产生反向电流。
 - (4) 暗电流很小。
- 但是实际使用的真空型光电管并不完全满足以上条件。由于存在阳极光电效应所引起的反向电流和暗电流（即无光照射时的电流），所以测得的电流值，实际上包括上述两种电流和由阴极光电效应所产生的正向电流三个部分，所以伏安曲线并不与 U 轴相切。由于暗电流是由阴极的热电子发射及光电管管壳漏电等原因产生，与阴极正向光电流相比，其值很小，且基本上随电位差 U 呈线性变化，因此可忽略其对遏止电位差的影响。阳极反向光电流虽然在实验中较显著，但它服从一定规律。据此，确定遏止电位差值，可采用以下两种方法：

(1) 交点法：

光电管阳极用逸出功较大的材料制作，制作过程中尽量防止阴极材料蒸发，实验前对光电管阳极通电，减少其上溅射的阴极材料，实验中避免入射光直接照射到阳极上，这样可使它的反向电流大大减少，其伏安特性曲线与图 2 十分接近，因此曲线与 U 轴交点的电位差近似等于遏止电位差，此即交点法。

(2) 拐点法

光电管阳极反向光电流虽然较大，但在结构设计上，若是反向光电流能较快地饱和，则伏安特性曲线在反向电流进入饱和段后有着明显的拐点，如图 3 所示，此拐点的电位差即为遏止电位差。



仪器

光电管，光源（汞灯），滤波片组（577.0nm,546.1nm,435.8nm,404.7nm,365nm 滤波片，50%、25%、10% 的透光片）。

光电效应测试仪包括：直流电源、检流计（或微电流计）、直流电压计等。

操作步骤

1. 主窗口

打开光电效应的仿真实验：

2. 正式开始实验

- (1) 开始实验后，从实验仪器栏中点击拖拽仪器至实验桌上。
- (2) 连接光电管和光电效应测试仪之间的电线。点击拖拽黑线至光电效应测试仪的电流输入接线柱，点击拖拽黄线至光电效应测试仪的负极电压输出接线柱，点击拖拽红线至光电效应测试仪的正极电压输出接线柱。
- (3) 选择滤波片，双击桌面上的滤波片组盒子，弹出滤波片组盒子的调节窗体，可以点击拖动其内的滤波片或透光片至光源或光电管中；光源上最多只能放置一个透光片，光电管上最多只能放置一个滤波片或透光片
- (4) 光源调节，双击光源弹出光源的调节窗体，单击调节窗体的光源开关可以关闭或打开光源。
- (5) 光电管调节，双击光电管可弹出光电管的调节窗体；单击调节窗体中的光电管可弹出调

节光电管水平位置和垂直高度的功能键。 \leftarrow 键：光电管水平向左移动， \rightarrow 键，光电管水平向右移动， \uparrow 键：光电管垂直方向增加高度， \downarrow 键：光电管垂直方向减小高度。单击调节窗体中光电管的背面(侧面),弹出光电管的背面图，可显示光电管的接线柱信息。

(6) 光电效应测试仪的调节,双击光电效应测试仪，可弹出光电效应测试仪的的调节窗体。单击电源开关可以打开或关闭电源；左击电流档，电流调小，右击电流档，电流调大；左击电压档，电压调小，右击电压档，电压调大；单击电源极性按钮可以改变电流输出端极性；左击电压旋钮可以调小输出电压，右击电压旋钮可以调大输出电压。双击调节窗体中的表盘可以弹出放大的表盘。

(7) 选择光源和光电管间的合适距离：为确保实验的正常进行，光电管与光源间必须取合适的距离。在光源上放置 365nm 的滤波片，电源输出电压调节为 -3v，调节光源和光电管之间的相互距离，至光电效应测试仪的电流显示值为 $-0.24\ \mu\text{A}$ ，在调试的时候，当鼠标移动到相应旋钮、开关按键的时候，都会有相应的提示信息。

可以通过拖动光源和光电管来调节水平位置。单击光电管调节窗体中的光电管可弹出调节光电管水平位置和垂直高度的功能键。 \leftarrow 键：光电管水平向左移动， \rightarrow 键，光电管水平向右移动， \uparrow 键：光电管垂直方向增加高度， \downarrow 键：光电管垂直方向减小高度。反复调节光源和光电管之间的距离，直到光电效应测试仪数字显示屏的数字显示 $-0.24\ \mu\text{A}$ 。如果在此步骤当中没有调试好，会影响到测量结果。默认情况下，光电管是处在正中间的位置的。

(8) 保存数据，单击记录数据按钮弹出记录数据页面

在记录数据页面的相应地方填写实验的测量数据，点击关闭按钮，则暂时关闭记录数据页面；再次点击记录数据按钮会显示记录数据页面。

数据记录与处理

记录

序号	365.0nm		404.7nm	
	U/V	I/ μA	U/V	I/ μA
1	-3	-0.24	-3	-0.11
2	-2.8	-0.24	-2.8	-0.1
3	-2.6	-0.24	-2.6	-0.1
4	-2.5	-0.24	-2.5	-0.1
5	-2.4	-0.23	-2.4	-0.1
6	-2.2	-0.22	-2.2	-0.1
7	-2	-0.18	-2	-0.1
8	-1.5	0.09	-1.5	-0.08
9	-1.3	0.32	-1.3	-0.04
10	-1	0.82	-1	0.1
11	-0.7	1.41	-0.7	0.32

<u>12</u>	<u>-0.5</u>	<u>2.04</u>	<u>-0.5</u>	<u>0.55</u>
<u>13</u>	<u>-0.3</u>	<u>2.5</u>	<u>-0.3</u>	<u>0.86</u>
<u>14</u>	<u>0</u>	<u>3.6</u>	<u>0</u>	<u>1.55</u>
<u>15</u>	<u>5</u>	<u>12</u>	<u>5</u>	<u>8.26</u>
<u>16</u>	<u>10</u>	<u>13.22</u>	<u>10</u>	<u>8.84</u>
<u>17</u>	<u>15</u>	<u>13.67</u>	<u>15</u>	<u>9.17</u>
<u>18</u>	<u>20</u>	<u>13.99</u>	<u>20</u>	<u>9.46</u>
<u>19</u>	<u>25</u>	<u>14.16</u>	<u>25</u>	<u>9.69</u>
<u>20</u>	<u>30</u>	<u>14.32</u>	<u>30</u>	<u>9.92</u>
<u>Ua (拐点法)</u>	<u>-2</u>	<u>-0.18</u>	<u>-1</u>	<u>0.1</u>
<u>Ua (零点法)</u>	<u>-1.6</u>	<u>0</u>	<u>-1.2</u>	<u>0</u>

<u>序号</u>	<u>435.8nm</u>		<u>546.1nm</u>		<u>577.0nm</u>	
	<u>U/V</u>	<u>I/μA</u>	<u>U/V</u>	<u>I/μA</u>	<u>U/V</u>	<u>I/μA</u>
<u>1</u>	<u>0</u>	<u>1.28</u>	<u>0</u>	<u>0.6</u>	<u>0</u>	<u>0.08</u>
<u>2</u>	<u>-0.1</u>	<u>1.02</u>	<u>-0.1</u>	<u>0.35</u>	<u>-0.1</u>	<u>0.03</u>
<u>3</u>	<u>-0.2</u>	<u>0.81</u>	<u>-0.2</u>	<u>0.15</u>	<u>-0.2</u>	<u>0</u>
<u>4</u>	<u>-0.3</u>	<u>0.63</u>	<u>-0.3</u>	<u>0.03</u>	<u>-0.3</u>	<u>-0.02</u>
<u>5</u>	<u>-0.4</u>	<u>0.48</u>	<u>-0.4</u>	<u>-0.05</u>	<u>-0.4</u>	<u>-0.03</u>
<u>6</u>	<u>-0.5</u>	<u>0.33</u>	<u>-0.5</u>	<u>-0.1</u>	<u>-0.5</u>	<u>-0.04</u>
<u>7</u>	<u>-0.6</u>	<u>0.23</u>	<u>-0.6</u>	<u>-0.11</u>	<u>-0.6</u>	<u>-0.04</u>
<u>8</u>	<u>-0.7</u>	<u>0.14</u>	<u>-0.7</u>	<u>-0.12</u>	<u>-0.7</u>	<u>-0.04</u>
<u>9</u>	<u>-0.8</u>	<u>0.07</u>	<u>-0.8</u>	<u>-0.12</u>	<u>-0.8</u>	<u>-0.04</u>
<u>10</u>	<u>-0.9</u>	<u>0.02</u>	<u>-0.9</u>	<u>-0.12</u>	<u>-0.9</u>	<u>-0.04</u>
<u>11</u>	<u>-1</u>	<u>-0.03</u>	<u>-1</u>	<u>-0.13</u>	<u>-1</u>	<u>-0.04</u>
<u>12</u>	<u>-1.1</u>	<u>-0.06</u>	<u>-1.1</u>	<u>-0.14</u>	<u>-1.1</u>	<u>-0.04</u>
<u>13</u>	<u>-1.2</u>	<u>-0.09</u>	<u>-1.2</u>	<u>-0.15</u>	<u>-1.2</u>	<u>-0.04</u>
<u>14</u>	<u>-1.3</u>	<u>-0.1</u>	<u>-1.3</u>	<u>-0.16</u>	<u>-1.3</u>	<u>-0.04</u>
<u>15</u>	<u>-1.4</u>	<u>-0.12</u>	<u>-1.4</u>	<u>-0.18</u>	<u>-1.4</u>	<u>-0.04</u>
<u>16</u>	<u>-1.5</u>	<u>-0.13</u>	<u>-1.5</u>	<u>-0.19</u>	<u>-1.5</u>	<u>-0.04</u>

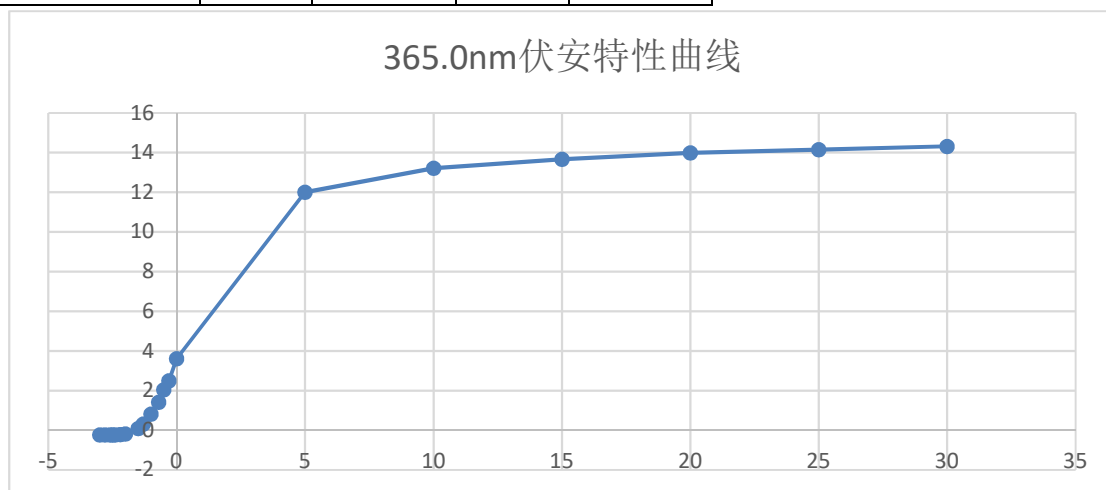
<u>17</u>	<u>-1.6</u>	<u>-0.13</u>	<u>-1.6</u>	<u>-0.2</u>	<u>-1.6</u>	<u>-0.04</u>
<u>18</u>	<u>-1.7</u>	<u>-0.14</u>	<u>-1.7</u>	<u>-0.21</u>	<u>-1.7</u>	<u>-0.04</u>
<u>19</u>	<u>-1.8</u>	<u>-0.14</u>	<u>-1.8</u>	<u>-0.22</u>	<u>-1.8</u>	<u>-0.04</u>
<u>20</u>	<u>-1.9</u>	<u>-0.14</u>	<u>-1.9</u>	<u>-0.22</u>	<u>-1.9</u>	<u>-0.06</u>
<u>21</u>	<u>-2</u>	<u>-0.14</u>	<u>-2</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2</u>	<u>-0.06</u>
<u>22</u>	<u>-2.1</u>	<u>-0.14</u>	<u>-2.1</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.1</u>	<u>-0.07</u>
<u>23</u>	<u>-2.2</u>	<u>-0.14</u>	<u>-2.2</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.2</u>	<u>-0.07</u>
<u>24</u>	<u>-2.3</u>	<u>-0.15</u>	<u>-2.3</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.3</u>	<u>-0.07</u>
<u>25</u>	<u>-2.4</u>	<u>-0.15</u>	<u>-2.4</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.4</u>	<u>-0.08</u>
<u>26</u>	<u>-2.5</u>	<u>-0.15</u>	<u>-2.5</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.5</u>	<u>-0.08</u>
<u>27</u>	<u>-2.6</u>	<u>-0.16</u>	<u>-2.6</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.6</u>	<u>-0.08</u>
<u>28</u>	<u>-2.7</u>	<u>-0.16</u>	<u>-2.7</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.7</u>	<u>-0.08</u>
<u>29</u>	<u>-2.8</u>	<u>-0.16</u>	<u>-2.8</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.8</u>	<u>-0.08</u>
<u>30</u>	<u>-2.9</u>	<u>-0.16</u>	<u>-2.9</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.9</u>	<u>-0.08</u>
<u>31</u>	<u>-3</u>	<u>-0.16</u>	<u>-3</u>	<u>-0.23</u>	<u>-3</u>	<u>-0.08</u>
<u>Ua（拐点法）</u>	<u>-1</u>	<u>-0.03</u>	<u>-0.5</u>	<u>-0.1</u>	<u>-0.5</u>	<u>-0.04</u>
<u>Ua（零点法）</u>	<u>-0.94</u>	<u>0</u>	<u>-0.35</u>	<u>0</u>	<u>-0.2</u>	<u>0</u>
	<u>10V</u>	<u>15V</u>	<u>20V</u>	<u>25V</u>	<u>30V</u>	
<u>100%</u>	<u>1.67</u>	<u>1.77</u>	<u>1.87</u>	<u>1.98</u>	<u>2.08</u>	
<u>50%</u>	<u>0.84</u>	<u>0.89</u>	<u>0.94</u>	<u>0.99</u>	<u>1.04</u>	
<u>25%</u>	<u>0.42</u>	<u>0.45</u>	<u>0.47</u>	<u>0.5</u>	<u>0.52</u>	
<u>10%</u>	<u>0.21</u>	<u>0.23</u>	<u>0.24</u>	<u>0.25</u>	<u>0.26</u>	

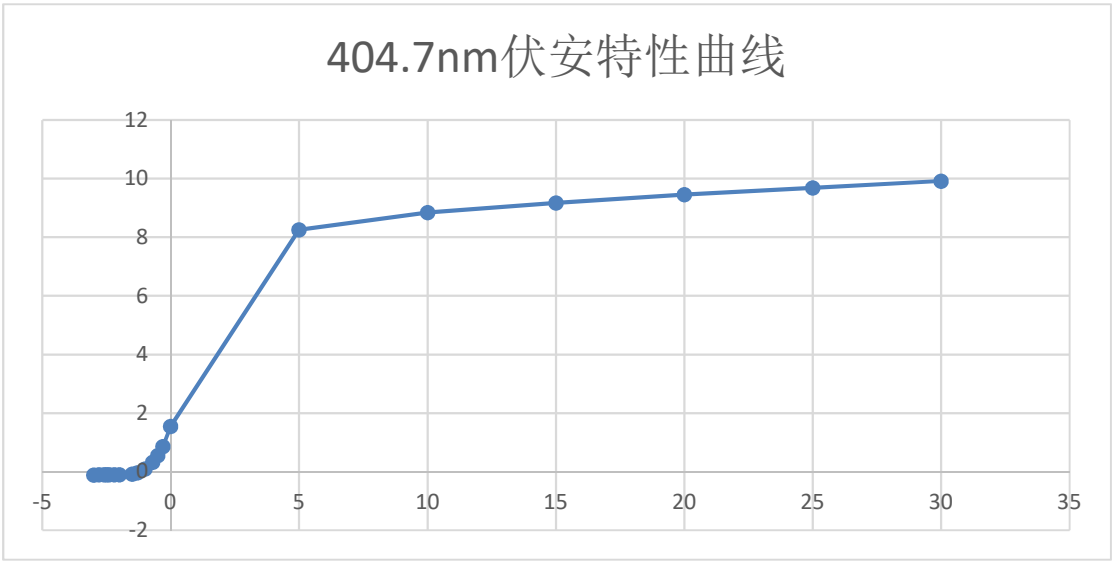
处理

3.

<u>序号</u>	<u>365.0nm</u>		<u>404.7nm</u>	
	<u>U/V</u>	<u>I/μA</u>	<u>U/V</u>	<u>I/μA</u>
<u>1</u>	<u>-3</u>	<u>-0.24</u>	<u>-3</u>	<u>-0.11</u>

<u>2</u>	<u>-2.8</u>	<u>-0.24</u>	<u>-2.8</u>	<u>-0.1</u>
<u>3</u>	<u>-2.6</u>	<u>-0.24</u>	<u>-2.6</u>	<u>-0.1</u>
<u>4</u>	<u>-2.5</u>	<u>-0.24</u>	<u>-2.5</u>	<u>-0.1</u>
<u>5</u>	<u>-2.4</u>	<u>-0.23</u>	<u>-2.4</u>	<u>-0.1</u>
<u>6</u>	<u>-2.2</u>	<u>-0.22</u>	<u>-2.2</u>	<u>-0.1</u>
<u>7</u>	<u>-2</u>	<u>-0.18</u>	<u>-2</u>	<u>-0.1</u>
<u>8</u>	<u>-1.5</u>	<u>0.09</u>	<u>-1.5</u>	<u>-0.08</u>
<u>9</u>	<u>-1.3</u>	<u>0.32</u>	<u>-1.3</u>	<u>-0.04</u>
<u>10</u>	<u>-1</u>	<u>0.82</u>	<u>-1</u>	<u>0.1</u>
<u>11</u>	<u>-0.7</u>	<u>1.41</u>	<u>-0.7</u>	<u>0.32</u>
<u>12</u>	<u>-0.5</u>	<u>2.04</u>	<u>-0.5</u>	<u>0.55</u>
<u>13</u>	<u>-0.3</u>	<u>2.5</u>	<u>-0.3</u>	<u>0.86</u>
<u>14</u>	<u>0</u>	<u>3.6</u>	<u>0</u>	<u>1.55</u>
<u>15</u>	<u>5</u>	<u>12</u>	<u>5</u>	<u>8.26</u>
<u>16</u>	<u>10</u>	<u>13.22</u>	<u>10</u>	<u>8.84</u>
<u>17</u>	<u>15</u>	<u>13.67</u>	<u>15</u>	<u>9.17</u>
<u>18</u>	<u>20</u>	<u>13.99</u>	<u>20</u>	<u>9.46</u>
<u>19</u>	<u>25</u>	<u>14.16</u>	<u>25</u>	<u>9.69</u>
<u>20</u>	<u>30</u>	<u>14.32</u>	<u>30</u>	<u>9.92</u>
<u>Ua (拐点法)</u>	<u>-1.64</u>	<u>-0.18</u>	<u>-1.24</u>	<u>0.1</u>
<u>Ua (零点法)</u>	<u>-1.6</u>	<u>0</u>	<u>-1.2</u>	<u>0</u>





2.

零点法:

波长 截至电压

<u>577</u>	<u>-0.20</u>
<u>546.1</u>	<u>-0.35</u>
<u>435.8</u>	<u>-0.94</u>
<u>404.7</u>	<u>-1.20</u>
<u>365</u>	<u>-1.60</u>

通过公式

$\nu = \frac{c}{\lambda}$	$eU_a = h\nu - A,$ $A = h\nu_0$ $U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{h}{e}\nu_0$	$k = \frac{h}{e} \Rightarrow h = ke$ $A = be,$ $b = \frac{h}{e}\nu_0 \Rightarrow \nu_0 = b\frac{e}{h}$
---------------------------	---	--

计算得到

h=7.40925

E=12%

拐点法:

波长 截至电压

<u>577</u>	<u>-0.22</u>
------------	--------------

<u>546.1</u>	<u>-0.30</u>
<u>435.8</u>	<u>-0.92</u>
<u>404.7</u>	<u>-1.22</u>
<u>365</u>	<u>-1.62</u>

计算得到

$$h=7.40925$$

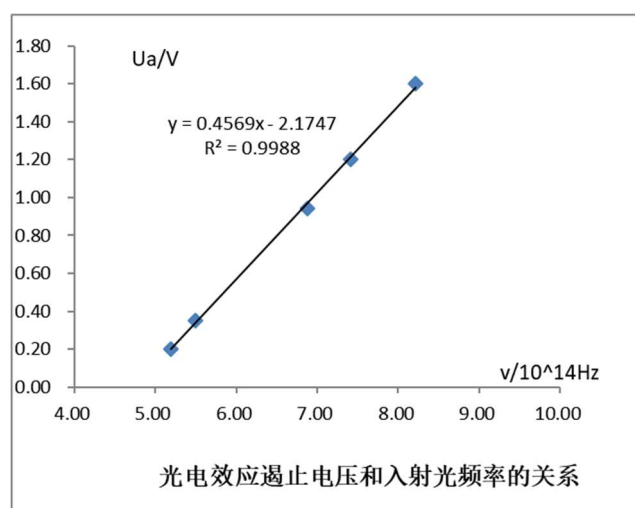
$$E=12\%$$

拐点法：从图中直接读取困难，需要借助专业制图或函数工具，适用反向电流大

零点法：从图中直接读取容易，适用正向电流上升快

3.

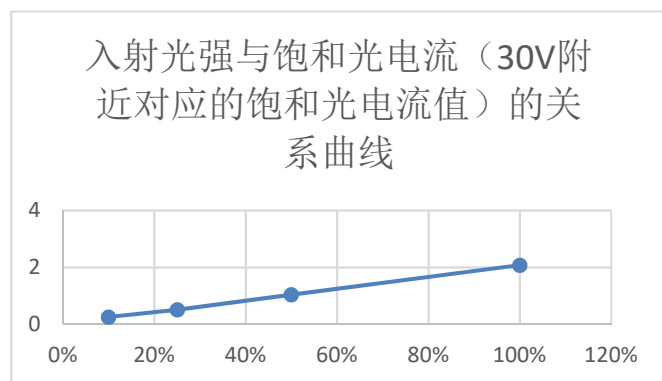
零点法拟合如图



通过 origin 作图得

$$h=7.31954 \times 10^{-34}$$

4.



分析讨论

1.测定普朗克常数的关键：用光电效应方法测量普朗克常量 h 的关键在于获得单色光、测得光电管的伏安特性曲线和确定遏止电位差值。

根据曲线选择：正向电流上升快，反向电流小，选择零点法。反向电流大，饱和速度快，选择拐点法

2.误差来源：暗电流和本底电流

解决方法：系统误差的修正方法，和选择较小的光阑
