

# 2020年秋季大学物理实验（6）-光电效应和普朗克常数的测量

专业班级：电气1908 学号：U201912072 姓名：柯依娃 日期：2020/10/29 实验台：15号 报告柜：J21 第十周星期四 上午

## 实验名称:

光电效应和普朗克常数的测量

## 实验目的:

- ① 通过实验加深对光的量子性的认识；
- ② 利用现有设备设法验证光电效应规律。
- ③ 验证爱因斯坦方程，并测量普朗克常数以及阴极材料的“红限”频率。

## 实验仪器材料

本实验中需要用到的仪器包括

ZKY-GD-3型光电效应实验仪结构如图6所示。仪器由汞灯及电源，滤色片，光阑，光电管、测试仪组成，测试仪的调节面板如图4.3.7所示。

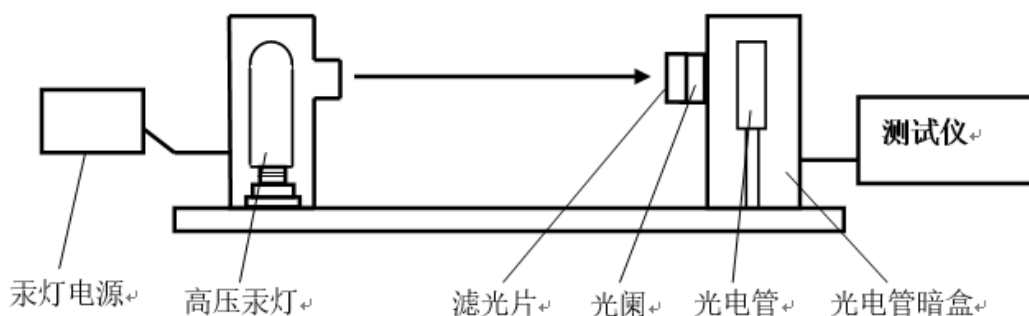


图 6 ZKY-GD-3 光电效应实验仪结构示意图



图7 仪器前面板示意图

- (1) 高压汞灯：在其发光的光谱范围内较强的谱线有365.0nm、404.7nm、435.8nm、546.1nm、577.0nm。
- (2) 滤光片：仪器配有五种带通型滤光片，其透射波长为365.0 nm、404.7 nm、435.8 nm、546.1 nm、577.0nm。使用时，将滤光片安装在接收暗盒的进光窗口上，以获得所需要的单色光。
- (3) 光阑：仪器配有孔径分别为2mm、4mm、8mm的光阑供实验选择。
- (4) 光电管：阳极为镍圈，阴极为银-氧-钾 (Ag-O-K)，光谱响应范围 320 ~ 700nm，暗电流： $I \leq 2 \times 10^{-12} \text{A}$  ( $-2 \text{V} \leq U_{AK} \leq 0 \text{V}$ )。
- (5) 测试仪：它包括光电管工作电源和微电流放大器两部分。

光电管工作电源：2档， $-2 \sim 0 \text{V}$ ， $-2 \sim +30 \text{V}$ ，三位半数显，稳定度 $\leq 0.1\%$

微电流放大器：6档， $10^{-8} \sim 10^{-13} \text{A}$ ，分辨率 $10^{-13} \text{A}$ ，三位半数显，稳定度 $\leq 0.2\%$

## 预备问题

- 你知道数码相机关键芯片CCD及其他光电器件如光敏管、光敏电阻、光敏二极管、光敏三极管、光电池等的应用原理吗？
  - 光电效应现象：光照射到物体表面时电子从物体表面逸出现象
  - CCD上感光组件的表面具有储存电荷的能力，并以矩阵的方式排列。当其表面感受到光线时，会将电荷反应在组件上，整个CCD上的所有感光组件所产生的信号，就构成了一个完整的画面。CCD有三层。第三层是“感光片”，这层主要是负责将穿过滤色层的光源转换成电子信号，并将信号传送到影像处理芯片，将影像还原。
  - 光敏电阻器是利用半导体的光电导效应制成的一种电阻值随入射光的强弱而改变的电阻器，又称为光电导探测器；入射光强，电阻减小，入射光弱，电阻增大。还有另一种入射光弱，电阻减小，入射光强，电阻增大。
  - 通常人们又将光敏二极管叫做光电二极管。它与半导体二极管在构造上是有很多相似的中央，它所运用的管芯是一个具有光敏特征的PN结，这种PN结具有单导电性，因而在工作的时分需加上反向电压，这样才愈加的有用和平安。没有光照的时分，它有很小的饱和反向漏电流，也就是我们所说的暗电流。当遭到光照的时分，里面的饱和反向漏增大，构成光电流，电流的强度随入射光强度的变化而变化。当光线映照到PN结时，能够使PN结中产生电子—空穴对，使少数载流子的密度增加。普通应用光照强弱来改动电路中的电流。
  - 光敏三极管同理，相当于两个PN结。
  - 光电池同理，相当于一个大PN结。
- 你知道19世纪末在物理学晴朗天空中飘起的乌云是怎样导致量子力学的诞生吗？
  - 光电效应引出光量子理论，引出量子力学

- 你知道物理学家爱因斯坦是因什么获得诺贝尔奖，美国实验物理学家密立根是做什么实验获得诺贝尔奖的吗？

- 爱因斯坦因发现了光电效应的规律，获得了1921年度的诺贝尔物理学奖。
- 密立根因对基本电荷和光电效应的研究，获得了1923年度的诺贝尔物理学奖。

## 实验原理

通过光电效应和截止电压与光电子最大初动能的关系，红限频率与逸出金属表面所需功关系，可以得出

$$e|U_s| = h(\nu - \nu_0)$$

则截止电压  $U_s$  是频率的线性函数，斜率  $k = \frac{h}{e}$

$U_s - \nu$  直线的延长线对纵轴的截距为

$$U_0 = \frac{W}{e}$$

$U_s - \nu$  直线与横轴的交点为阴极材料的“红限”频率  $\nu_0$ 。

综上所述，通过用不同频率的光照射阴极，测得相应的截止电压，得出  $U_s - \nu$  关系，即可求得  $h$ 、 $\nu_0$ 、 $W$ 。

PLUS

### 四、影响准确测量截止电压的因素

测量普朗克常数  $h$  的关键是正确的测出截止电压  $U_s$ ，但实际上由于光电管制作工艺等原因，给准确测定截止电压带来了一定的困难。实际测量的光电管伏安特性曲线与理论曲线有明显的偏差，引起这种偏差的主要原因有：

(1) 在无光照时，也会产生电流，称之为暗电流。它是由阴极在常温下的热电子发射形成的热电流和封闭在暗盒里的光电管在外加电压下因管子阴极和阳极间绝缘电阻漏电而产生的漏电流两部分组成。

(2) 受环境杂散光影响形成的本底电流。

(3) 由于制作光电管时阳极上往往溅有阴极材料，所以当光照射到阳极上和杂散光漫射到阳极上时，阳极上往往有光电子发射。形成阳极反向电流。

其中以漏电流和阳极反向电流影响最大。

由于上述原因，实际测量的光电管伏安特性曲线如图5所示。实验曲线在负电压区下沉，截止电压并不对应光电流为零，而对应反向电流开始趋于常量的点（拐点） $U'_s$ 。

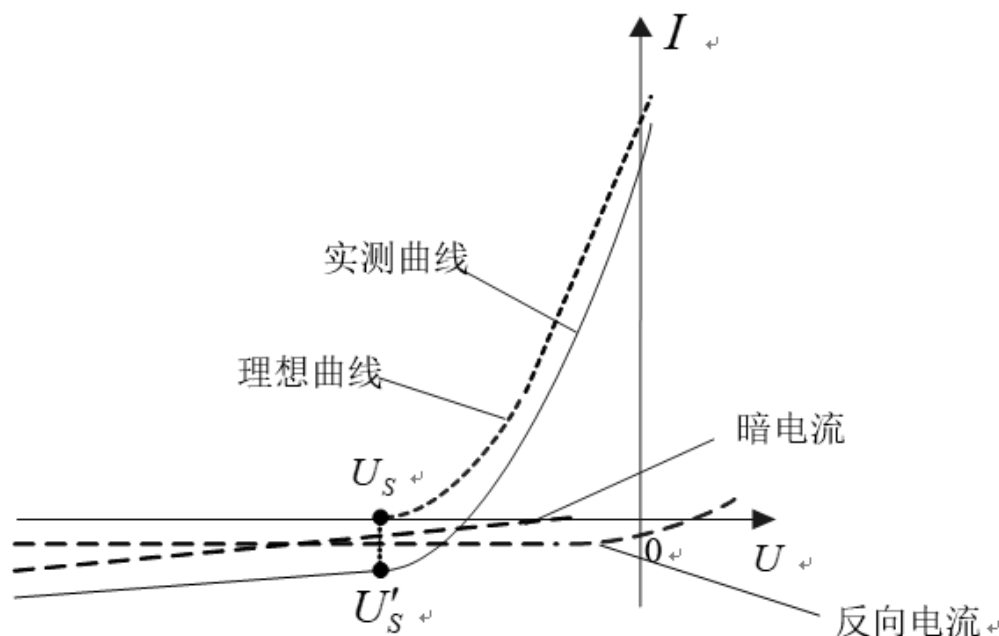


图5 I—U 实验曲线

## 数据处理

### 测试前准备-开灯调零

(1) 把汞灯及光电管暗盒遮光盖盖上，将汞灯暗盒光输出口对准光电管暗盒光输入口，调整光电管与汞灯距离为约40cm并保持不变。将测试仪及汞灯电源接通，预热20分钟。（汞灯一旦开启，不要随意关闭！）

(2) 测试仪调零：将“电流量程”选择开关置于10-12A档位，仪器在充分预热后，进行测试前调零。调零时，将“调零/测量”切换开关切换到“调零”档位，旋转“电流调零”旋钮使电流指示为“000”。调节好后，将“调零/测量”切换开关切换到“测试”档位，就可以进行实验了。

**注意：**在进行每一组实验前，必须按照上面的调零方法进行调零，否则会影响实验精度。

### 测量普朗克常数、红限频率

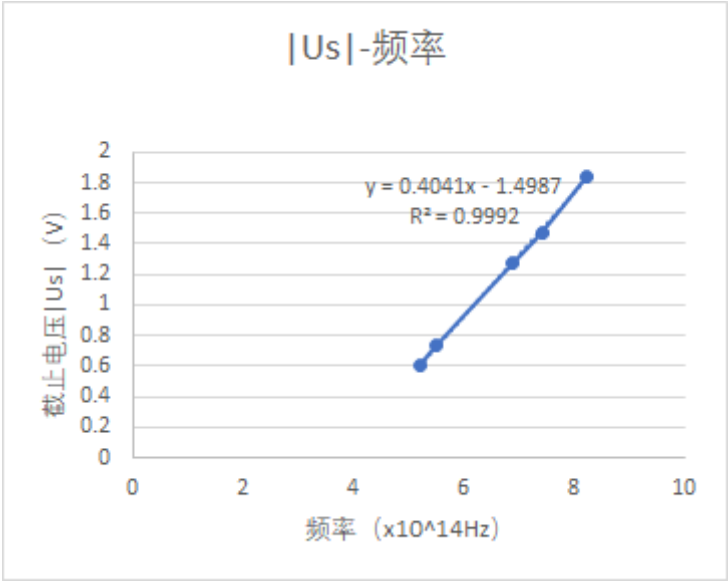
- (1) 用零电流法测定普朗克常数和红线频率

本实验采用ZKY-GD-3型光电效应实验仪，该实验仪采用了新型结构的光电管。由于其特殊结构使光不能直接照射到阳极，由阴极反射照到阳极的光也很少，加上采用新型的阴、阳极材料及制造工艺，使得阳极反向电流、光电管暗电流大大降低，由此测定的光电管的伏安特性曲线与理论值基本重合。因而可以把实测电流为零时对应的光电管电压值作为截止电压，此种方法称为零电流法。

将电压选择按键置于-2V ~ 0V档，电流量程选择在10-13A档，重新调节测试仪零点。将直径为4mm的光阑及365.0nm的滤色片装在光电管暗盒光输入口上。调节电压UAK，使光电流指示为零，此时测试仪所显示的电压值即为与入射光频率对应的截止电压。

更换其余四个滤光片（**注意：更换滤光片时先将汞灯用遮光盖盖上！**），测出各频率的光所对应的截止电压。重复上述测量步骤，测量4组数据。

波长 (nm)	365	404.7	435.8	546.1	577
频率 (x10 <sup>14</sup> Hz)	8.214	7.408	6.879	5.49	5.196
1	-1.829	-1.464	-1.269	-0.704	-0.603
2	-1.839	-1.472	-1.27	-0.707	-0.592
3	-1.843	-1.487	-1.273	-0.707	-0.605
4	-1.838	-1.486	-1.274	-0.808	-0.596
平均值	-1.83725	-1.47725	-1.2715	-2.5495	-0.599



通过斜率  $k = \frac{h}{e}$  可计算得到  $h = 6.431 \times 10^{-34} J \cdot s$

截止频率  $\nu_0 = 3.7 \times 10^{14} Hz$

公认值  $h = 6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$

则相对不确定度为2.9%

- 用补偿法测定测定 普朗克常数和红线频率（选做内容）

补偿法可补偿暗电流和本底电流对测量结果的影响，其方法如下：使某频率光入射光电管，调节电压UAK使电流为零，保持UAK不变，将遮光盖盖住汞灯光源，此时测得的电流值I1为该频率光入射时光电管的暗电流和本底电流。重新让汞灯照射光电管，调节电压UAK使电流值至I1，此时对应的电压UAK的绝对值即可作为该频率光入射时的截止电压。

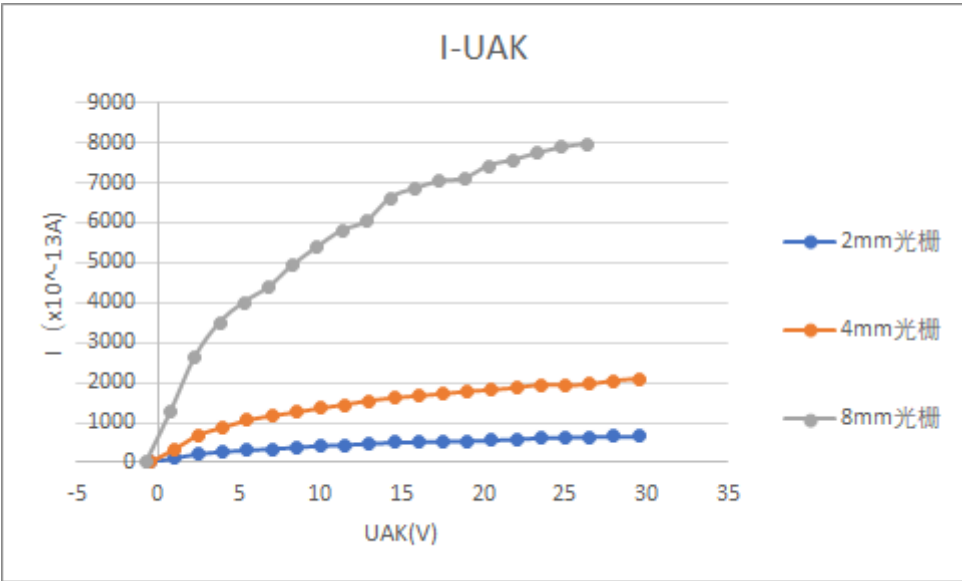
波长 (nm)	365	404.7	435.8	546.1	577
频率 (x10 <sup>14</sup> Hz)	8.214	7.408	6.879	5.49	5.196
1: I1 (x10 <sup>-13</sup> A)	-2	0	0	0	0
UAK	-1.682	-1.487	-1.219	-0.653	0.553

由于补偿法可以看出由于精度限制，并不能带来多少准确度的提升（系统误差的降低），又由于测量数据较少的因素导致相对不确定度较之前所测较高，再数据处理下去并无多大意义，故放弃。

测量光电管的伏安特性曲线（I—U曲线）

- 将电压选择按键置于-2V—+30V档；将“电流量程”选择开关置于合适档位, 重新调节测试仪零点。将直径2mm的光阑及577nm的滤色片装在光电管暗盒光输入口上。
- 从低到高调节电压，记录电流从零到非零点所对应的电压值作为第一组数据，以后电压每隔1.5V记录一组数据,直到30V左右。
- 换上直径4mm的光阑及8mm的光阑,重复上述测量步骤。

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
577nm	UAK(V)	-0.5	1	2.5	4	5.5	7	8.5	10	11.5	13	14.5	16	17.5	19	20.5	22	23.5	25	26.5	28	29.5
光阑 2mm	I(x10 <sup>-13</sup> A)	0	113	222	276	320	345	390	428	447	484	505	522	530	545	562	592	622	635	648	654	660
577nm	UAK(V)	-0.5	1	2.5	4	5.5	7	8.5	10	11.5	13	14.5	16	17.5	19	20.5	22	23.5	25	26.5	28	29.5
光阑 4mm	I(x10 <sup>-12</sup> A)	0	33	69	88	106	117	126	136	145	155	162	167	172	178	182	187	195	193	196	205	210
577nm	UAK(V)	-0.7	0.8	2.3	3.8	5.3	6.8	8.3	9.8	11.3	12.8	14.3	15.8	17.3	18.8	20.3	21.8	23.3	24.8	26.3	27.8	29.3
光阑 8mm	I(x10 <sup>-12</sup> A)	0	126	264	349	401	438	494	539	580	603	662	685	703	710	742	756	774	788	796	808	820

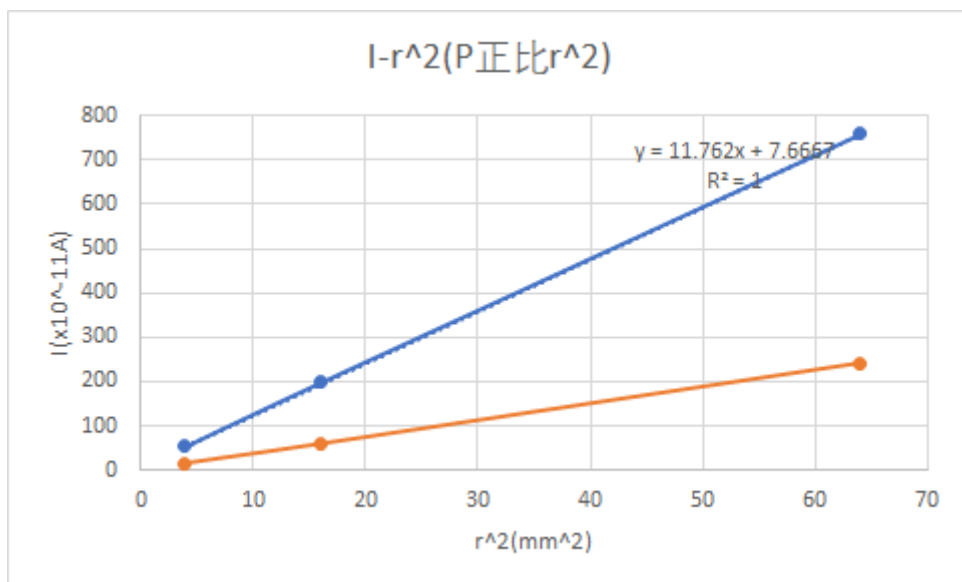


可以看出，曲线形状近乎相同，最开始电流变换较快，后减慢，I与r^2成正比，即电流与光阑半径成正比，满足设想。

验证光电管的饱和光电流与入射光强的正比关系

- 将“电流量程”选择开关置于合适档位，重新调节测试仪零点。将电压调到25V，在同一谱线,在同一入射距离下,记录光阑分别为2mm，4mm，8mm时对应的电流值。
- 由于照到光电管上的光强与光阑面积成正比，用表三数据验证光电管的饱和光电流与入射光强成正比。

波长		1	2	3
435.8nm	光阑（mm）	2	4	8
	I（x10 <sup>-11</sup> A）	53	198	760
546.1nm	光阑（mm）	2	4	8
	I（x10 <sup>-11</sup> A）	16	60	242



可以看出 $I$ 正比于 $r^2$ ,即 $I$ 正比于 $P$

## 思考题

### 1. 光电效应的实验规律是什么？

总结所有的实验结果，光电效应的实验规律可归纳为：

(1) 对于一种阴极材料，当照射光的频率确定时，饱和光电流  $I_{\text{sat}}$  的大小与入射光的强度成正比。

(2) 反向遏止电压  $U_s$  的物理含义是：当在光电管两端所加的反向电压恰好时，则逸出金属电极K后具有最大动能的电子也不能到达阳极A，此时

$$eU_s = \frac{1}{2} mV_{\text{max}}^2 \quad (1)$$

实验得出光电子的初动能与入射光的强度无关，而只与入射光的频率有关。

(3) 光电效应存在一个阈频率  $\nu_0$ ，当入射光的频率  $\nu < \nu_0$  时，不论光的强度如何都没有光电子产生。

(4) 光电效应是瞬时效应，只要照射光的频率大于  $\nu_0$ ，一经光线照射，立刻产生光电子，响应时间为  $10^{-9} \text{ s}$ 。

(5) 实验得出光电子的初动能与入射光的强度无关，而只与入射光的频率有关。

### 2. 经典的波动理论是如何解释光电效应的各条实验规律？

根据电磁波理论，电子从光的波阵面连续的获得能量，最后飞出物体表面。那么，获得的能量应该和光的强度有关，跟照射的时间长短有关，跟光的频率无关。结论：对于任何频率的光，只要光的照射时间足够长，或者光强度足够强，都可以看到光电效应。

但是按照电磁波理论，电子从波阵面连续地获得能量。获得能量的大小应当与照射光的强度有关，与照射的时间长短有关，而与照射光的频率无关。因此对于任何频率的光，只要有足够的光强度或足够的照射时间，总会发生光电效应。这些结论是与实验结果直接矛盾的。即：



- ✓ •1、饱和光电流 $I_m$ 的大小与入射光的强度 $P$ 成正比。  
(同种阴极材料, 光频率确定)。
- ✗ •2、实验得出光电子的初动能与入射光的强度无关,  
而只与入射光的频率有关。
- ✗ •3、光电效应存在一个阈频率 $\nu_0$ , 当入射光的频率  
 $\nu < \nu_0$  时, 不论光的强度如何强都没有光电子产生。
- ✗ •4、光电效应是瞬时效应, 只要照射光的频率大于 $\nu_0$ ,  
一经光线照射, 立刻产生光电子, 响应时间为 $10^{-9}s$ 。

### 3. 爱因斯坦光量子假说的内容是什么? 它是如何解释光电效应的各条实验规律?

- 内容: 1905年爱因斯坦受普朗克量子假设的启发, 提出了光量子假说, 即: 一束光是一粒一粒以光速 $C$ 运动的粒子流, 这些粒子称为光子, 光子的能量为 $E = h\nu$  ( $h$ 为普朗克常数,  $\nu$ 为光的频率)。当光子照射金属时, 金属中的电子全部吸收光子的能量 $h\nu$ , 电子把光子能量的一部分变成它逸出金属表面所需的功 $W$ , 另一部分转化为光电子的动能, 即:

$$h\nu = \frac{1}{2}mV_{\max}^2 + W \quad (2)$$

式中:  $h$ —普朗克常数, 公认值为 $6.62916 \times 10^{-34} J \cdot s$

这就是著名的爱因斯坦光电效应方程。

根据这一理论, 光电子的能量只决定于照射光的频率, 并与之成线性关系。由(2)式可见, 只有当 $h\nu \geq W$ 时, 才会有光电子发射, 我们把 $W/h$ 记作 $\nu_0$ , 即

$$\nu_0 = \frac{W}{h} \quad (3)$$

这就是说 $\nu_0$ 是能发生光电效应的入射光的最小频率, 显然它的值随金属种类不同而不同, 又称“红限”频率。

- 解释方式:

得到以下假说结果

光电效应要发生(需要电子要离开金属): 进而得到光电效应有截止频率(不同的金属其截止频率不同), 且可知截止电压只和频率相关, 和光强度无关: 同时可以推理得到截止电压和频率应该是线性关系, 其斜率是普朗克常数。(推理见上)

- ✓ •1、饱和光电流 $I_m$ 的大小与入射光的强度 $P$ 成正比。  
(同种阴极材料, 光频率确定)。
- ✓ •2、实验得出光电子的初动能与入射光的强度无关,  
而只与入射光的频率有关。
- ✓ •3、光电效应存在一个阈频率 $\nu_0$ , 当入射光的频率  
 $\nu < \nu_0$  时, 不论光的强度如何强都没有光电子产生。
- ✓ •4、光电效应是瞬时效应, 只要照射光的频率大于 $\nu_0$ ,  
一经光线照射, 立刻产生光电子, 响应时间为 $10^{-9}s$

从光量子假说出发根据光的粒子性可以较好的确定以上几点



#### 4. 密立根验证爱因斯坦光电效应方程的主要实验思想是什么？

密立根得出了光电子的最大动能和入射光频率之间的严格线性关系，同时直线在横轴上的交点，说明照射光的频率小于  $\nu_0$  时不会有光电子发射。不同的金属其  $\nu_0$  值不同，但所有的金属直线的斜率却是不变的。也就是说，光电子最大动能的改变与入射光频率成相同比值，相当于是电子吸收的能量与入射光频率成线性关系，这些都用实验验证了光电效应方程的准确性

**我认为它的思想主要是通过最大光电子动能把光的能量量子化显现出来**