

实验名称 光电效应和普朗克常量的测定

姓名: 刘子言 学号: 2002462 实验班: G13 组号: 15 教师: 倪一

一、实验目的

1. 了解光电效应原理, 加深对光的量子性理解, 熟悉爱因斯坦光电效应方程;
2. 熟悉真空二极管原理, 测量不同频率下光电管的伏安特性曲线;
3. 根据上述测得的伏安特性曲线确定遏制电压;
4. 用图解法求出普朗克常量, 并由此验证爱因斯坦光电效应方程;
5. 测定光电管的伏安特性曲线, 即饱和电流与照射光强度的关系。

二、实验原理

1. 光电效应: 在光照下, 金属发射出电子, 将这一现象称为光电效应;
所发射出的电子称为光电子;

2. 外光电效应的性质:

光电效应不仅与金属材料有关、与光强有关, 重要的是与光的频率有关, 具体表现为:

(1) 存在截止频率

对某一种金属来说, 当入射光的频率大于某一频率时, 电子才能从金属表面逸出。这种最小频率称为截止频率。

- (2) 逸出电子的动能正比于入射光频率, 与光强无关。

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \propto \nu$$

(3) 存在饱和光电流

正向电压达到一定值后光电流趋于稳定, 达到饱和。
饱和电流大小正比于入射光强。

- (4) 光电效应具有瞬时性。

3. 爱因斯坦光电效应理论

(1) 金属内有大量自由电子, 在晶体内作近乎自由运动, 垂直于界面方向运动受到限制和束缚。被束缚在三维势阱中的电子能级初始处在最小的状态, 当光射到金属上, 电子吸收其能量, 当能量足够大时可以克服势垒逸出金属表面。

(2) 将这一临界的最小能量称为金属对电子束缚能, 或称电子逸出功(脱出功)。

(3) 爱因斯坦光电效应方程:

$$h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{或} \quad \frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A \quad ①$$

$$\Rightarrow \text{极限频率 } \nu_0 = \frac{1}{h} \cdot A \quad (\text{当速率 } v=0) \quad ②$$

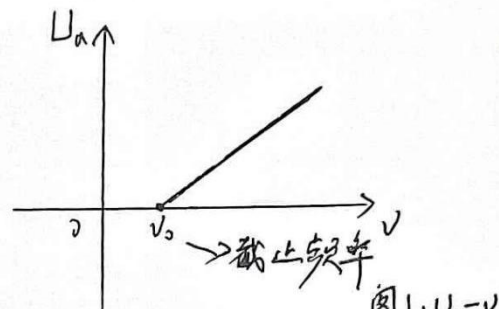


图1: $U_a - \nu$

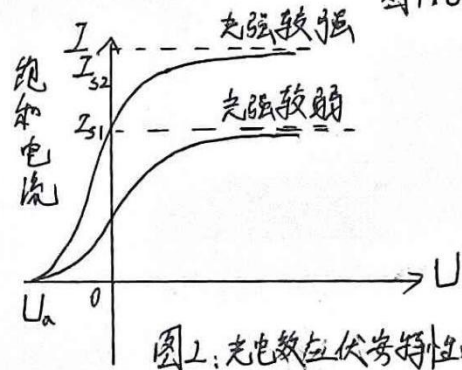


图2: 光电效应伏安特性曲线

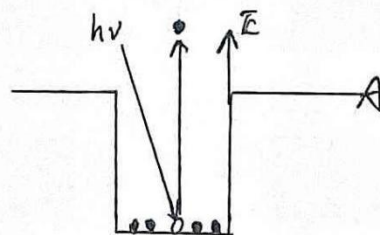


图3: 一个光子激发出一个电子。

4. 光电管与调制电压

1) 关于光电管

将受光照射的金属板作为阴极，接收电子的金属板为阳极，密封在一个真空玻璃管中。

2) 加电压

在阴极和阳极之间施加一电压，为获得稳定的可测量的电流；

① 阳极接正电压 U

- 逸出的电子获得势能 $-eU$ 向阳极运动；
- 当不断增大电压 U 时，向阳极运动的电子数增多，电流增大；
- 当 U 足够大，所有电子都能向阳极运动，此时电流达到最大，不再变化，即达到饱和。

② 阳极接负电压 U (反向电压)

- U 越大，到达阳极电子数越小，电流越小；
- 当 U 达到 U_a 时，所有逸出的电子都被阻滞在阴极，这时电流为 0；

$$eU_a = \frac{1}{2}mv_0^2 \quad \text{或} \quad eU_a = h\nu - A \quad (3)$$

其中 v_0 为逸出电子的最大速率， U_a 称为遏制电压。

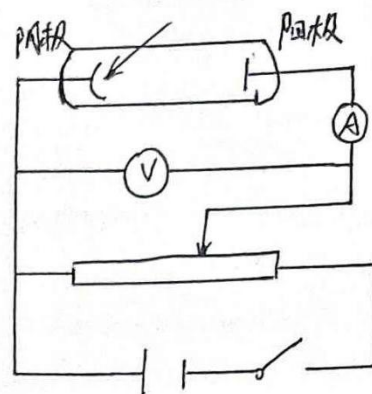


图4: 接反向电压的实验装置。

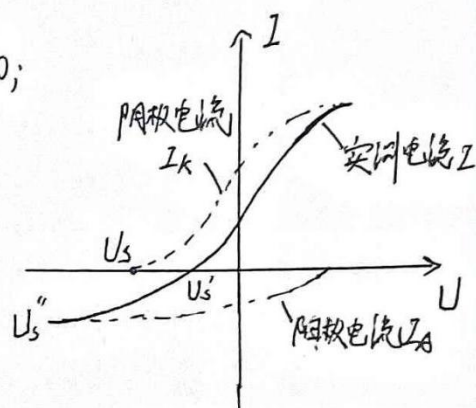


图5: 光电管伏安特性曲线

三、实验仪器:

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。

四、实验内容和主要步骤:

1. 按照电路图连接线路, 并打开汞灯电源和电表开关。

2. 内容一: 测量光电管的伏安特性曲线, 读出入射光遏止电势差

1) 调节光电管与光源的距离:

在光电管上放置 365nm 滤波片, 电源输出电压调节为 -3V, 调节光源与光电管间的距离, 使光电效应测试仪的电流显示值为 -0.24mA。

2) 测量与记录:

测量波长为 365.0nm 和 404.7nm 单色光的完整伏安特性曲线记录在给定表格里, 测试电压范围为 -3 ~ 30V, 用拐点法和零点法分别读出遏止电势差 U_a 。

测量波长分别为 435.8nm、546.1nm 和 577.0nm 单色光的反向伏安特性曲线, 记录在给定表格里, 测试电压范围为 -3 ~ 0V, 用拐点法和零点法分别读出遏止电势差 U_a 。

3. 内容二、测量入射光强与饱和光电流的关系

(1) 打开汞灯电源和电压开关, 重新连线并调整光电管与光源的距离;

(2) 测量与记录:

用 577.0nm 波长为光源, 分别在透光率 100%, 50%, 25%, 10% 的情况下, 测量光电管的正向伏安特性曲线, 测量范围: 10~30V, 每间隔 5V 记录一次数据。

五、数据记录与处理:

1. 实验内容一的数据记录如下:

序号	365.0nm		404.7nm	
	U/V	I/uA	U/V	I/uA
1	-3.00	-0.24	-3.00	-0.10
2	-2.70	-0.24	-1.80	-0.10
3	-2.40	-0.23	-1.72	-0.09
4	-2.10	-0.20	-1.59	-0.08
5	-1.80	-0.10	-1.50	-0.07
6	-1.61	0.00	-1.31	-0.04
7	-1.50	0.10	-1.19	0.00
8	-1.20	0.46	-1.00	0.08
9	-0.90	0.98	-0.90	0.14
10	-0.60	1.70	-0.60	0.41
11	-0.30	2.56	-0.30	0.86
12	0.00	3.52	0.00	1.52
13	0.2	5.20	0.2	2.64
14	1.0	6.79	1.0	4.48
15	3.0	10.56	3.0	7.46
16	6.0	12.13	6.0	8.27
17	9.0	12.76	9.0	8.58
18	12.0	13.14	12.0	8.81
19	20.0	13.66	20.0	9.25
20	30.0	13.99	30.0	9.72
Ua(拐点法)	-2.10		-1.72	
Ua(零点法)	-1.61		-1.19	

表 1: 365.0nm 和 404.7nm 波长入射光 U-I 表

序号	435.8nm		546.1nm		577.0nm	
	U/V	I/uA	U/V	I/uA	U/V	I/uA
1	0.00	1.24	0.00	0.57	0.00	0.07
2	-0.30	0.63	-0.20	0.15	-0.10	0.03
3	-0.60	0.22	-0.32	0.00	-0.22	0.00
4	-0.92	0.00	-0.50	-0.09	-0.50	-0.03
5	-1.20	-0.09	-0.90	-0.12	-0.80	-0.04
6	-1.50	-0.13	-1.10	-0.15	-1.20	-0.04
7	-1.90	-0.14	-1.40	-0.19	-1.80	-0.05
8	-2.30	-0.15	-1.81	-0.21	-2.20	-0.07
9	-2.70	-0.16	-1.90	-0.22	-2.70	-0.09
10	-3.00	-0.18	-3.00	-0.22	-3.00	-0.10
U _a (拐点法)	-1.50		-1.10		-0.80	
U _a (零点法)	-0.92		-0.32		-0.22	

表 2: 435.8nm、546.1nm 和 577.0nm 波长入射光 U-I 表

2、绘制波长为 365.0nm 和 404.7nm 入射光的完整伏安特性曲线如下: (图 6)

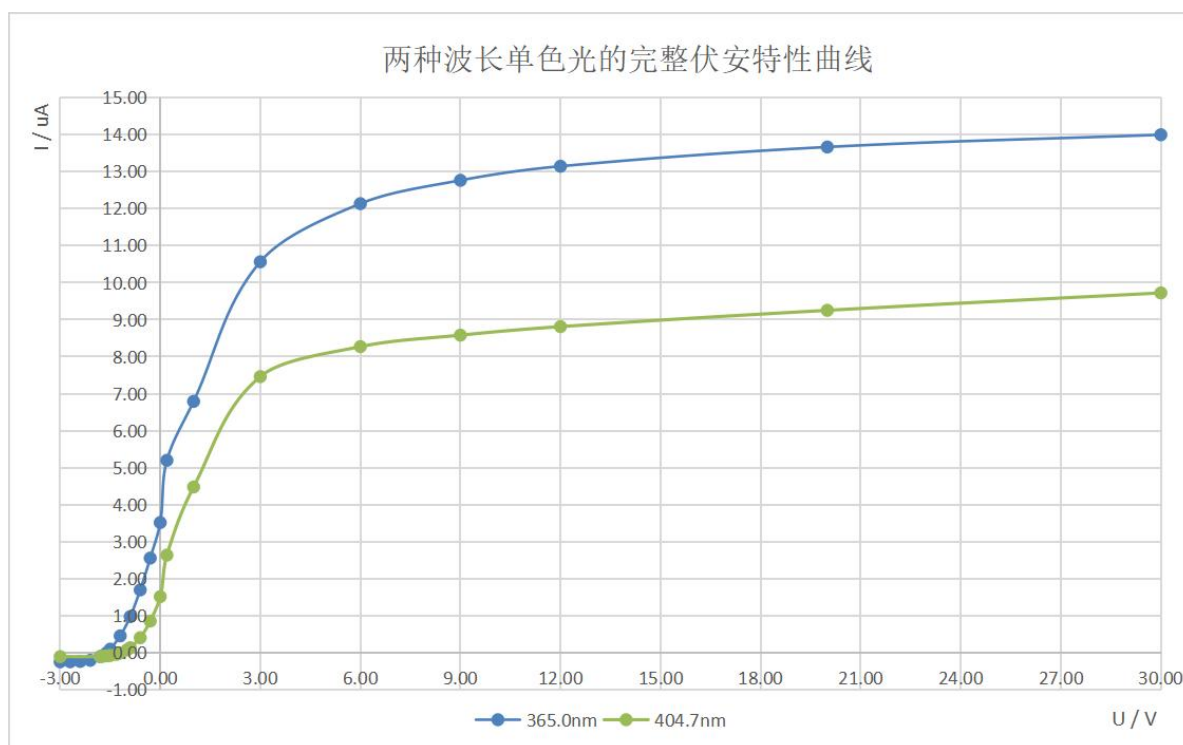


图 6: 365.0nm 和 404.7nm 波长入射光的完整伏安特性曲线

3. 将拐点法和零点法得到的遏止电势差, 用给定程序分别计算普朗克常数 h :

根据公式:
$$\begin{cases} \nu = \frac{c}{\lambda} \\ eU_a = h\nu - A \Rightarrow U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e} \Rightarrow \begin{cases} \text{直线斜率: } k = \frac{h}{e} \Rightarrow h = k \cdot e \\ \text{直线截距: } |b| = \frac{A}{e} \Rightarrow A = |b| \cdot e \\ \text{逸出功: } A = |b| \cdot e \end{cases} \end{cases}$$

(1) 由图 7 可知: (拐点法): $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$, h

$$k_1 = 0.3955 \times 10^{-14} \text{ V/Hz}, \quad h = k_1 \cdot e = 6.33591 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\text{公认值 } h_0 = 6.626076 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\text{计算值与公认值的百分误差 } E_1 = \frac{|h - h_0|}{h_0} \times 100\% = 4\%$$

$$|b_1| = 1.1811 \text{ V}, \quad A = |b_1| \cdot e = 1.1811 \times 1.602 \times 10^{-19} = 1.892 \times 10^{-19} \text{ J}$$

(2) 由图 8 可知: (零点法): $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$

$$k_2 = 0.4583 \times 10^{-14} \text{ V/Hz}, \quad h = k_2 \cdot e = 7.34197 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\text{公认值 } h_0 = 6.626076 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

$$\text{计算值与公认值的百分误差 } E_2 = \frac{|h - h_0|}{h_0} \times 100\% = 11\%$$

$$|b_2| = 2.1896 \text{ V}, \quad A = |b_2| \cdot e = 2.1896 \times 1.602 \times 10^{-19} = 3.508 \times 10^{-19} \text{ J}$$

4. 任取一组遏止电势差, 拟合作图计算普朗克常数 h :

选择拐点法的那组遏止电势差进行拟合, 结果也如图 7 所示,

$$\text{斜率 } k = 0.3955 \times 10^{-14} \text{ V/Hz}, \quad h = k \cdot e = 6.33591 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$$

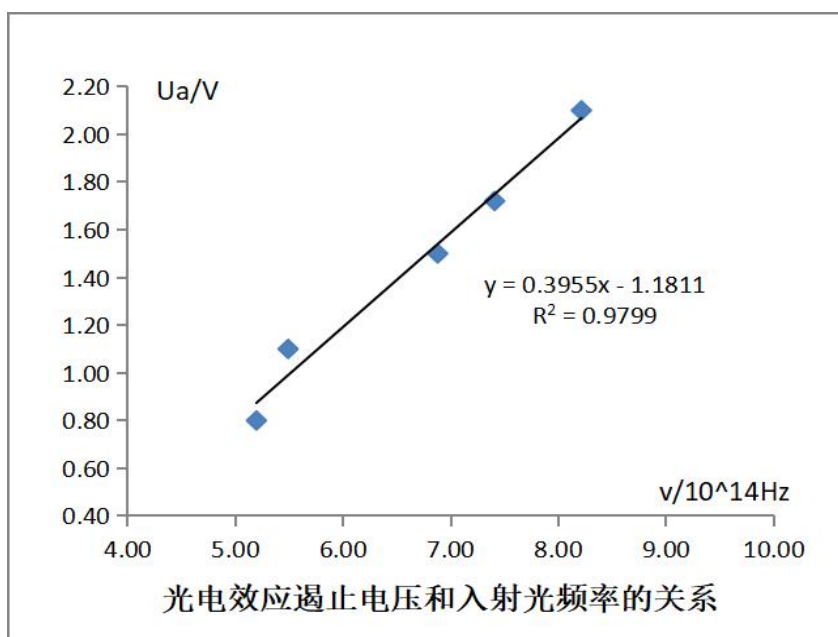


图 7: 拐点法-光电效应遏止电压与入射光频率的关系

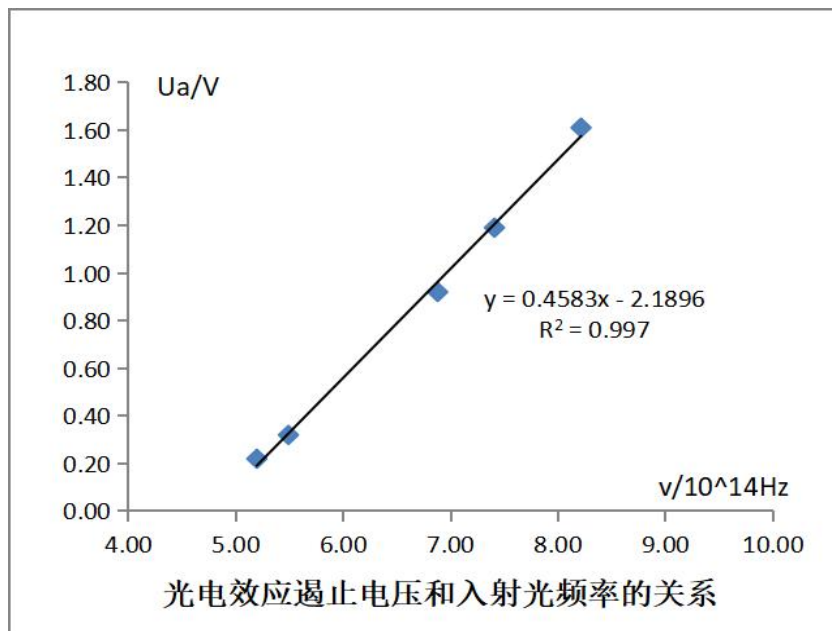


图 8：零点法-光电效应遏止电压与入射光频率的关系

5. 绘制入射光强与饱和光电流 (30V 附近的饱和光电流) 的关系曲线, 如图 9 所示:

	电压/V				
相对光强	10V	15V	20V	25V	30V
100%	1.64	1.75	1.86	1.95	2.06
50%	0.82	0.88	0.93	0.98	1.03
25%	0.41	0.44	0.46	0.49	0.51
10%	0.16	0.18	0.19	0.20	0.21

表 3：577nm 光源-饱和光电流与相对光强的关系

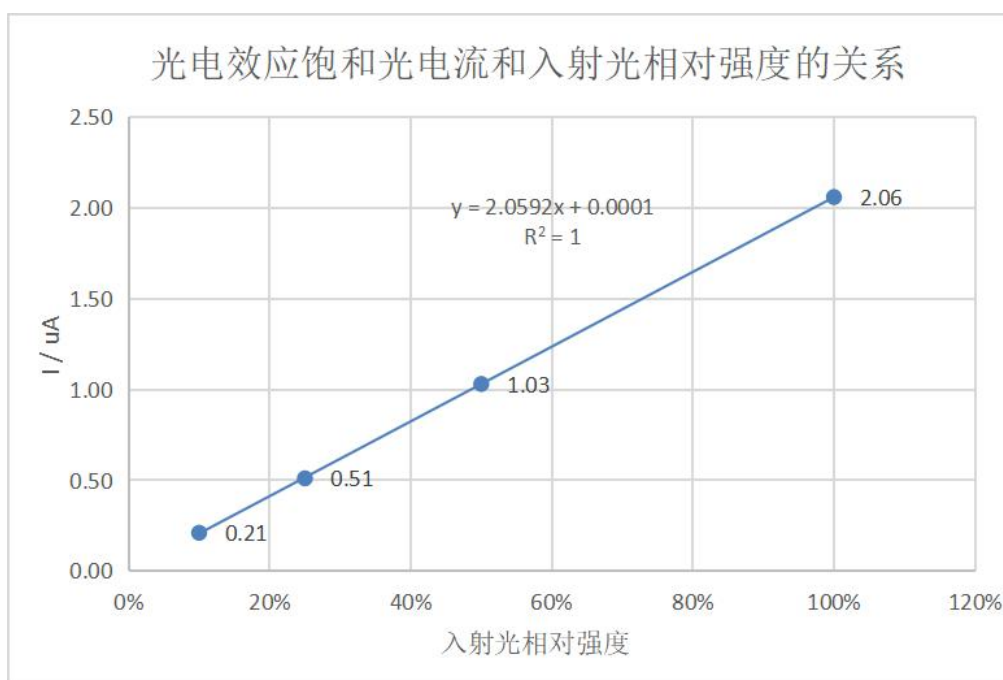


图 9：光电效应饱和光电流和入射光相对强度的关系 ($U=30V$ 时)

六、实验结论与分析:

1. 在基本了解光电效应原理、熟悉爱因斯坦光电效应方程后, 测量出不同频率下光电管的伏安特性曲线, 由图 6 可知, 在相同条件下, 频率越大(波长越小), 当电压足够大时, 其饱和电流也在变大;

2. 由数据分析的第 3 点可以看出, 两种方法(拐点法和零点法)得到的截止电势差, 用于求解普朗克常数 h , 通过比较计算的结果与公认值的百分误差可知, 拐点法测量得到的普朗克常数更准确一些。

零点法所测得的截止电压 U_a 要比实际的截止电压大, 但由于是作图法, 通过斜率求 h , 这样对 h 的值也不会有较大的影响; 而拐点法测量时能够更准确地反映电流的变化, 与真实的截止电压值更接近一些。所以总体来看拐点法的测量结果误差更小一些。

3. 由实验内容二可知, 光电效应饱和电流与入射光相对强度基本呈线性关系, 且成正比; 当入射光相对强度增大时, 其饱和光电流也对应的线性增大。

4. 实验时要注意仔细:

①实验过程中不允许关闭汞灯电流;

②不要让汞灯直接入射光电管, 尤其是更换滤波片时, 需将光源盖子盖上;

③操作过程中不得随意改变光源与光电管距离, 一旦变动需用 365nm 滤波片重新校准。

七、分析讨论题：

1. 什么是光电效应，它是如何产生的？

答：在光照下，金属发射出电子，这一现象称为光电效应。

光入射到金属上，电子可吸收其能量，当能量足够大时可克服势垒逸出金属表面。

2. 经典物理能否解释光电效应的实验规律？为什么？

答：经典物理不能解释光电效应的实验规律。

因为光电效应是基于光子理论的，当有外来光子入射到金属上，并满足 $h\nu \geq A$ 时，电子才有可能被激发出，逸出到外部。上式是产生光电效应的必要条件， $\nu = \frac{A}{h}$ 是光电效应的截止频率。所以光电效应与外来光子的能量有关，即与光照的强度、频率等都有关系，经典物理的连续性不能解释。

3. 爱因斯坦光电方程的本质是什么？

答： $h\nu = A + \frac{1}{2}mv^2$ 或 $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A$ ，

它表示外来光子的能量一部分给电子用于克服势垒逸出金属表面（逸出功 A ），另一部分转化为逸出电子的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ ，使电子逸出后仍具有一定的速率 v 运动。

4. 哪些金属材料较为容易产生光电效应？

答：活泼金属较为容易产生光电效应，因为它们的电子脱离金属表面的逸出功较小，电子更容易逸出。

5. 为什么阴极上施加正电压时，仍有电子运动到阳极？

答： $eU_a = h\nu - A$ ， $eU_a = \frac{1}{2}mv^2$

当阴极上施加正电压，两电极电势差 $U < U_a$ 时， $h\nu > eU + A$ ， $\frac{1}{2}mv^2 > eU$ ，
~~且 $\frac{1}{2}mv^2 = h\nu - A$ 时~~，得到 $v \neq 0$ ，此时逸出金属表面的电子依然具有充足的动能运动到阳极。

6. 真空二极管上不加电压时，为什么仍有电流存在？

答：真空二极管的阴极的金属板受到光照，电子吸收其能量就会逸出，但只有少数的电子能够到达阳极，产生较小的不稳定的电流，大部分电子最后又会回到原来的金属板中，所以要获得稳定的可测量电流，必须在阴极和阳极之间施加电压。

7. 什么是截止频率？它与什么因素有关？

答：对某一种金属来说，当入射光的频率大于某频率时，电子才能从金属表面逸出。这种最小频率称为截止频率。

它与电子逸出功 A 有关，即与金属的种类、活泼性有关。

8. 对于特定的材料, 如何确定其截止频率?

答: 可以利用光电效应的实验装置来进行测定:

将特定的材料作为真空二极管的阴极, 接入反向电压, 改变入射光的频率, 测量并记录其对应的遏制电压值, 作出对应的 $U_a - \nu$ 的图像。

由于 $U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e}$, 当 $U=0$ 时, $\nu_0 = \frac{A}{h}$ 即为这种材料的截止频率。

9. 如何用光电效应测定普朗克常数?

答: 利用光电效应的实验装置, 测量不同波长单色光的伏安特性曲线, 通过伏安特性曲线测出对应的遏制电压值, 再通过波长计算对应频率, 作出 $U_a - \nu$ 的图像。

由于 $U_a = \frac{h}{e}\nu - \frac{A}{e}$, 利用 $U_a - \nu$ 直线的斜率 k , 可计算出普朗克常数 $h = ek$ 。

10. 光电效应的物理上有什么意义? 工作中有何应用?

答: (1) 光电效应是物理学中一个重要的现象。在高于某特定频率的电磁波照射下, 金属内部电子会被光子激发出来而形成电流, 即光电流。科学家们在研究光电效应的过程中, 物理学家对光子的量子性也有了更深入的了解, 这对波粒二象性概念的提出有重大的影响。

(2) 应用: 光电效应可用于光子探测 (以频率/波长为依据)、真空光电二极管、光控开关、光电倍增管 (极弱光强到宇宙射线探测) 等工作中。