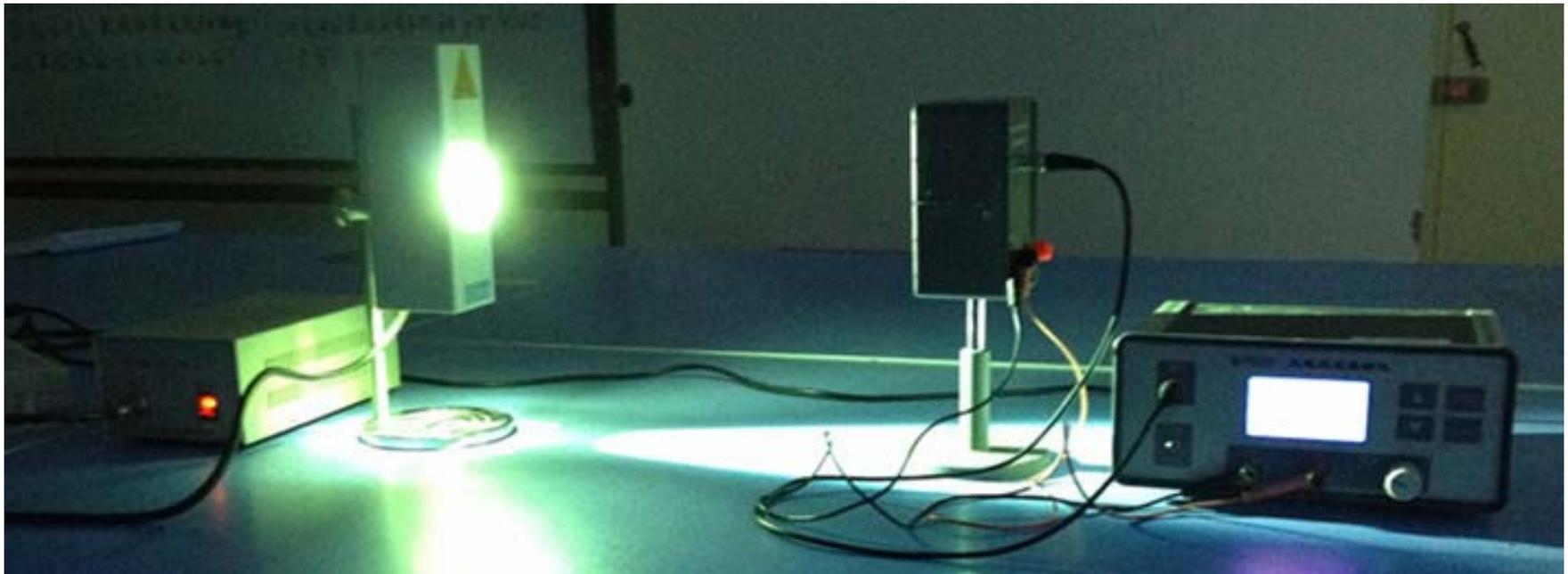


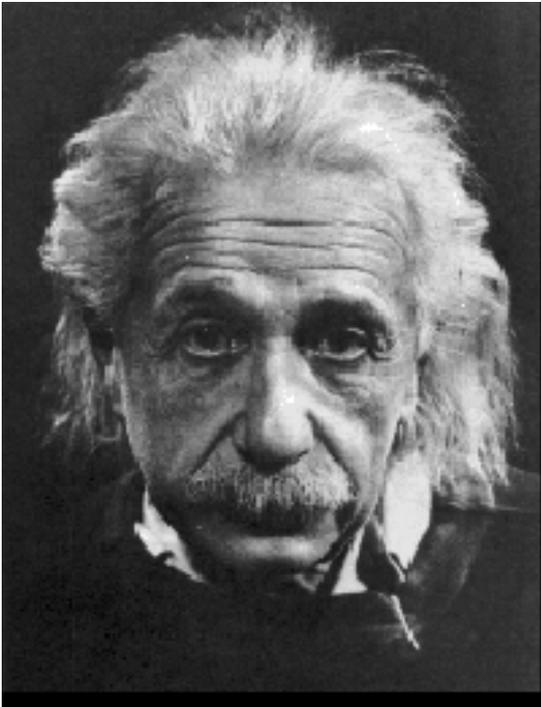


3.6 光电效应测普朗克常量





爱因斯坦简介



爱因斯坦 (1879-1955)

爱因斯坦，瑞士物理学家，相对论的奠基人。1905年，年仅26岁的爱因斯坦，通过业余研究，创立了狭义相对论。1915年爱因斯坦建立了涉及非惯性系和引力问题的广义相对论。1921年爱因斯坦因光电效应研究而获得诺贝尔物理学奖，他的研究推动了量子力学的发展。



实验简介

当光照射到某种物质时，引起物质的电性能发生变化，这类现象称为**光电效应**。当一定频率的光照射到金属表面上时，有电子从金属表面逸出，这种现象称为**外光电效应**，逸出的电子称为光电子。当光照射到半导体材料时，虽无电子逸出但半导体的电导率发生了变化，这样的现象称为**内光电效应**。



本实验是汞灯发出的光入射真空光电管的金属材料阴极，通过外光电效应测量逸出阴极表面光电子形成的光电流计算出普朗克常量 h ，其理论基础是1905年爱因斯坦提出的光电效应方程。

$$h\nu = \frac{1}{2}mv_{max}^2 + W$$

当频率为 ν 的单色光照射金属时，金属中被束缚的单个电子吸收光子能量 $h\nu$ ，其能量的一部分消耗在摆脱束缚所必需做的功，一部分成为电子刚逸出金属表面时的初动能。



从1904年到1916年美国物理学家密立根经过十余年的实验工作，证实了爱因斯坦光电效应方程的正确性，并精确测出了普朗克常量 h 。而今利用光电效应制成的各种光电器件（光电管、光电倍增管、光电池、夜视仪等）已经被广泛应用于工农业生产、国防等领域。

普朗克常量公认值

$$h = 6.6260872(52) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$



实验目的

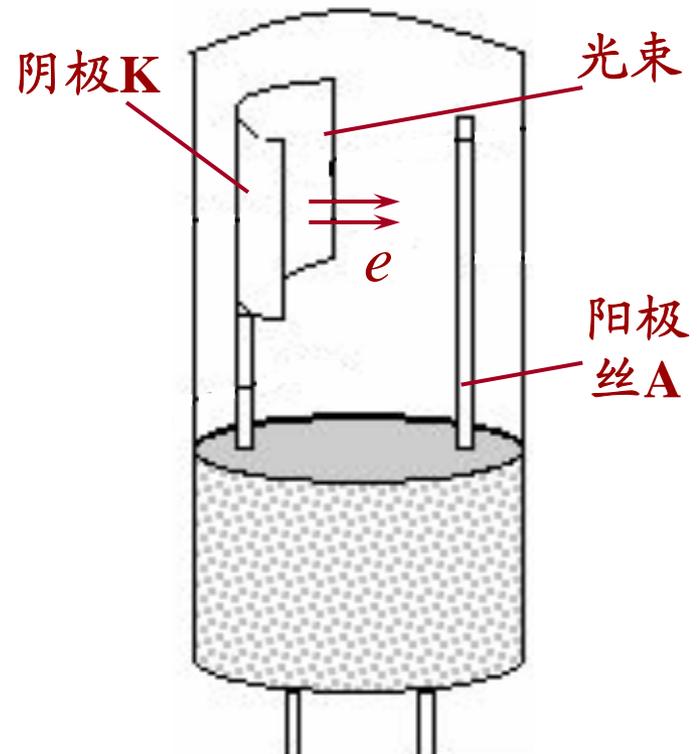
1. 加深对光电效应和光量子性的理解。
2. 学习光电效应方程的实验方法，并测定普朗克常量。



实验仪器

MCPH20型光电效应实验仪由高压汞灯光源、光电管暗盒、暗盒中的真空光电管、滤波片盘和主机组成。

装在暗盒中的光电管阴极材料是Ag-O-K，丝状阳极材料是Ni。其结构如图所示。





光孔标记

滤波片

MCPH20光电效应实验仪主机

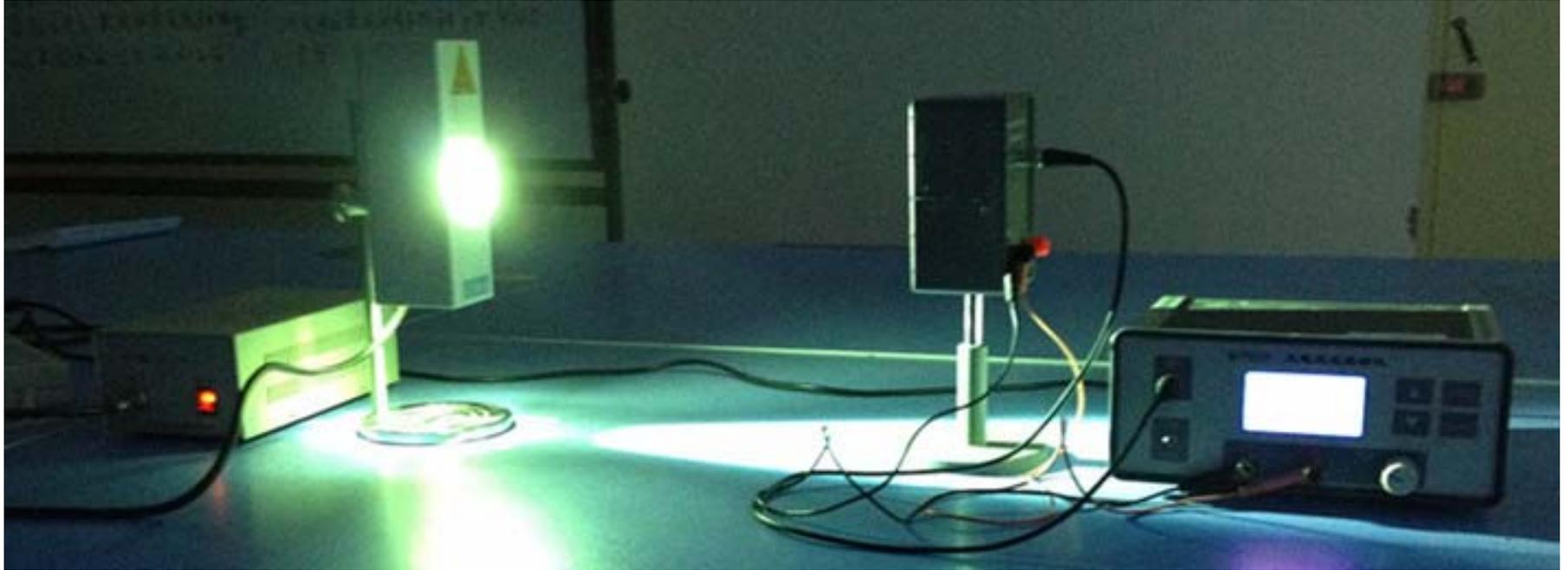


高压汞灯



光电管暗盒



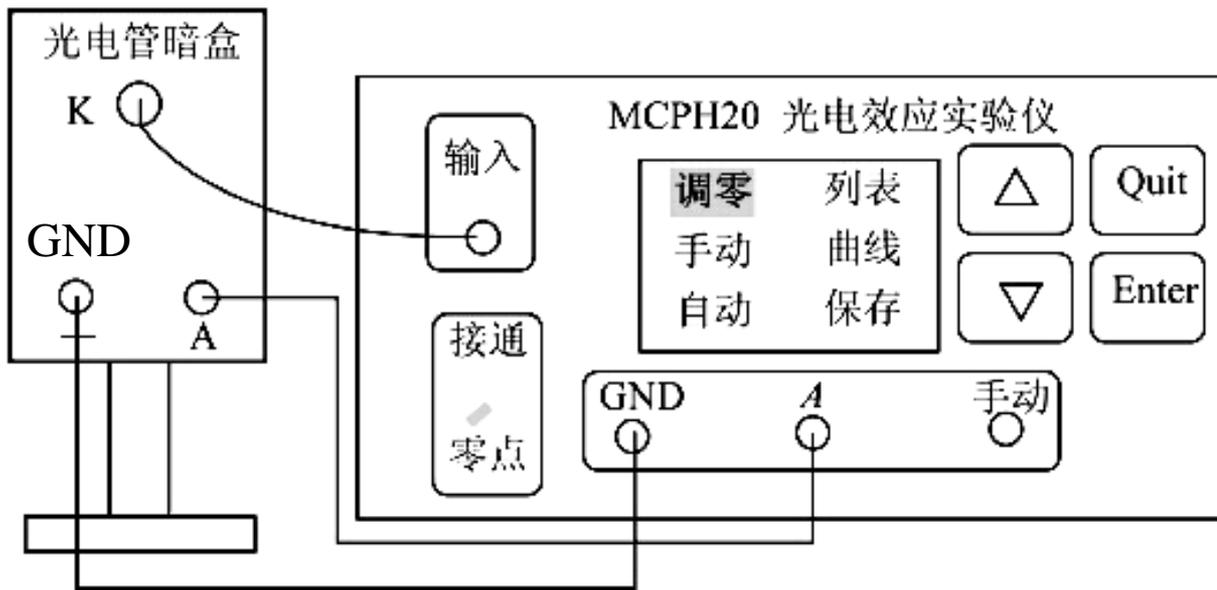




光电管暗盒上有一光孔(其位置由白色倒三角“▽”所标记), 并且安装着带有4种滤波片的旋转盘。汞灯经4种滤波片可生成4种波长(365, 405, 436, 546nm)单色光, 它们分别通过暗盒的光孔照射光电管阴极K产生光电效应。



MCPH20型光电效应实验仪主机开机后，面板LCD显示与光电管暗盒的连接下图所示。



- (1) 按主机面板上的“ Δ ”、“ ∇ ”键选择项目，按“Enter”键进入所选项目。



- (2) 进入“调零”项目，LCD显示“ $I=...$, $U=...$ ”。将主机面板上左下角的“零点”开关钮向下扳置“零点”，使放大器调零，待显示电流值稳定后，按“Quit”键。再将“零点”开关钮向上扳置“接通”，接通光电管输出信号。
- (3) 进入“手动”项目，LCD显示内容如(2)。此时旋转主机面板右下方的“手动”调节钮，可逐点测量伏安特性曲线，面板显示有关数据。



- (4) 进入“自动”项目后，仪器自动采样测量，采样完成后面板自动显示步进电压0.05V的伏安特性曲线。进入“列表”项目，LCD显示自动测量的数据，按“ Δ ”和“ ∇ ”键翻页。“曲线”显示自动测量的曲线，按“ Δ ”和“ ∇ ”键调整光电流值的显示刻度。“保存”用于保存自动测量的数据，按“ Δ ”和“ ∇ ”键根据所用入射光波长选择保存位置，按“Enter”键保存。
- (5) 按“Quit”键退出当前操作。



实验测量原理

1. 实验测量原理

如果入射光子的能量恰好等于逸出功，即

$$h\nu_0 = W$$

光电效应方程中光电子最大初动能为零，

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = 0$$

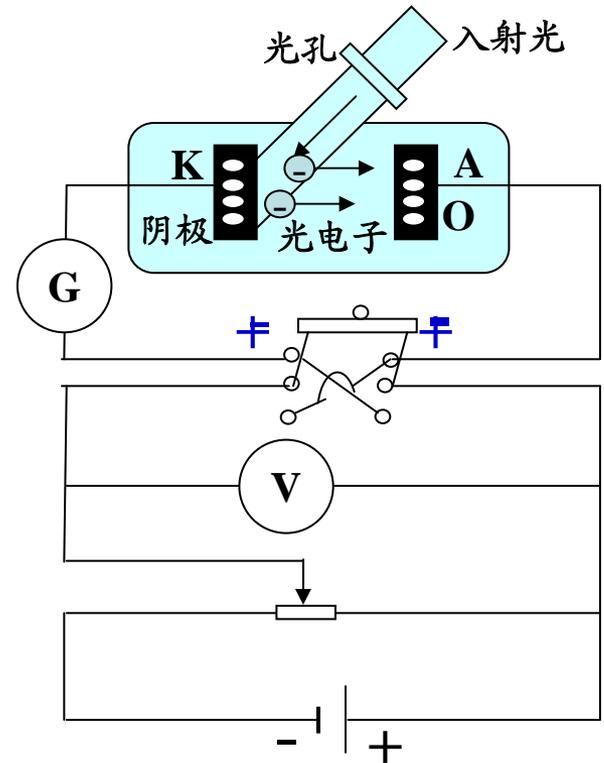
说明：只有频率大于 ν_0 的光入射阴极K才能出射光电子， ν_0 称为截止频率或红限频率。



当频率大于 ν_0 的单色光照射在K上，且阳极A加正电压，阴极出射的光电子都可以到达阳极形成光电流 I 。

若在阳极A和阴极K之间加一个阻碍电子到达阳极的反向电压 U ，光电流会迅速减小。当反向电压 U 达到某一值 U_c 使得外回路中的光电流 I 为零时，有

$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = e|U_c|$$





$$\frac{1}{2}mv_{max}^2 = e|U_c|$$

U_c 称为截止电压或者遏止电压。式中 e 是电子电量， $e = 1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ 。

用 $e|U_c|$ 表示光电子最大初动能，用 $h\nu$ 代替 W ，带入爱因斯坦光电方程得

$$|U_c| = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

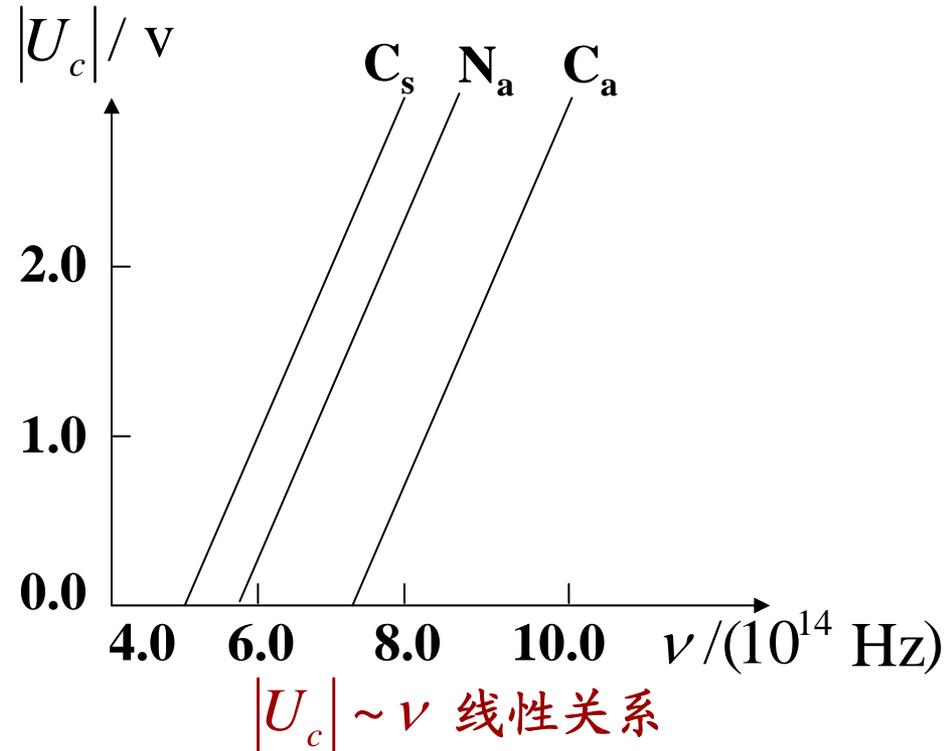
h 、 e 为常数，对同一光电管 ν_0 也是常数，截止电压 U_c 是入射光频率 ν 的单值线性函数。



不同金属材料的 ν 各不相同，但图中各线斜率 $b=h/e$ 都相同。

由直线斜率可求普朗克常量 $h=be$;

由各直线在坐标轴上的截距可求对应金属的截止频率 ν_0 。





本实验通过测量4种不同频率的单色光分别照射同一光电管阴极材料时的伏安特性曲线($U \sim I$)求出各自的 U_c 值, 通过

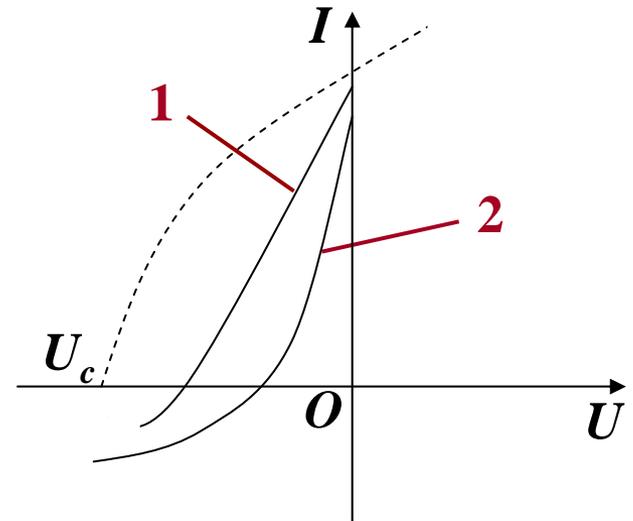
$$|U_c| = \frac{h}{e}(\nu - \nu_0)$$

表明的 $|U_c| \sim \nu$ 线性关系而完成普朗克常量 h 的测量。



2. 实际测量中 U_c 的确定

理论上 U_c 的值是光电管理理想伏安特性曲线(图中虚线所示)中光电流为零时的反向电压值。实际测量的曲线(图中1、2线)与理想状态有所不同,因为存在着干扰电流。



干扰电流主要是本底电流、暗电流和阳极的反向电流。



本底电流: 是由于周围杂散光进入光电管所形成的电流;

暗电流: 是指在完全没有光照射光电管情况下由于阴极本身的热电子发射和阳极与阴极之间的漏电现象等因素引起的电流;



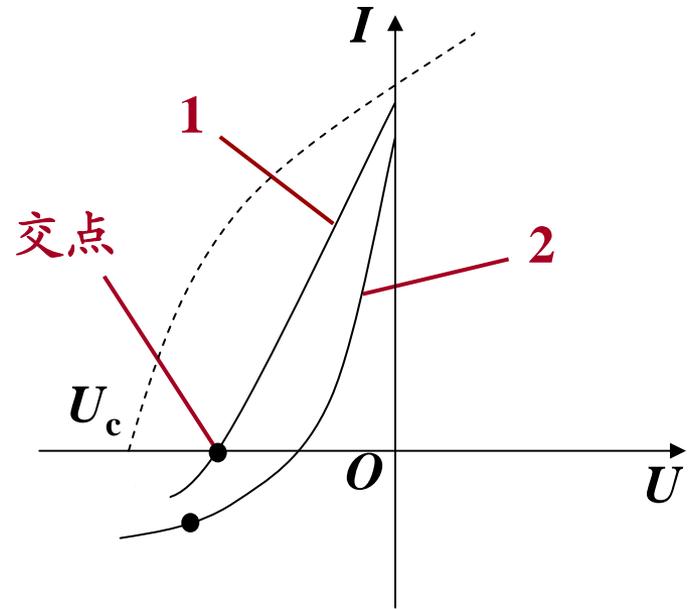
反向电流：是因为在制造和使用过程中阳极不可避免地被阴极材料所污染(而且这些污染在使用过程中会日趋严重)，受污染的阳极在光照射下也会发射光电子，这些光电子在A、K反向电压加速作用下加速飞向阴极，**构成与阴极光电子流向相反的电流。**

实验中实测的电流是这两种流向电流的叠加，正是反向电流的影响使得图中1、2实测光电流出现了负电流值。



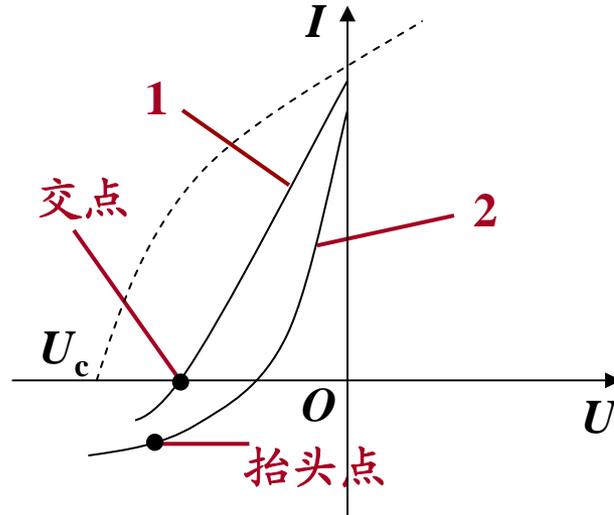
实验中采用近似方法确定 U_c ，一般采用“零电流法”和“抬头法”。

- (1) 若在截止电压点附近光电流上升很快，如曲线1所示，则实测电流曲线与横轴的交点非常接近于 U_c ，以此点电压代替 U_c ，为“零电流法”。





(2) 若反向电流饱和很快，如曲线2所示，沿着电压增大的方向电流曲线存在一个“抬头点”。在“抬头点”之前，电流线基本上是斜率很小的斜线，在之后电流曲线开始偏离其线性斜线。此“抬头点”所对应的电压值可以近似代替 U_c 。这种方法称为“抬头点”法。





实验内容与数据处理

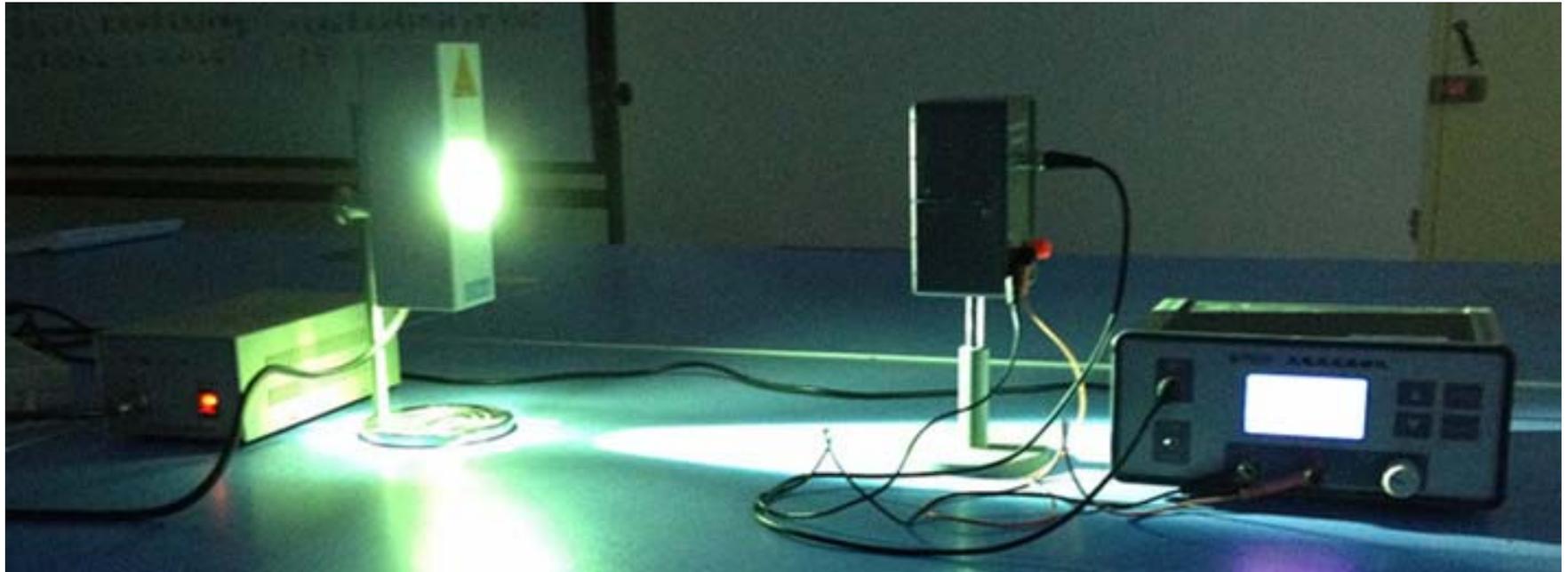
1. 测试前的准备

- (1) 按照图连接线路。调节光电管暗盒与汞灯的距离为30~35cm，使汞灯出光口正对光电管暗盒光孔。





(2) 将滤波盘转到遮光位置，如果有遮光盖就用它罩住汞灯出光口。打开汞灯和光电效应实验仪主机，**预热15~20min后进行调零。**







2. 测定光电管伏安特性曲线并确定截至电压 U_c

- (1) 转动滤波盘，将某一波长滤光片转至倒三角白色箭头正下方，即选择好一种波长的入射光通过光孔照射光电管。





- (2) 选择“自动”项目，按“Enter”键进入自动测量模式。待LCD显示伏安特性曲线后，选择进“列表”项目，并通过翻页将 I 随 U 变化的数据记录于表3-10中。

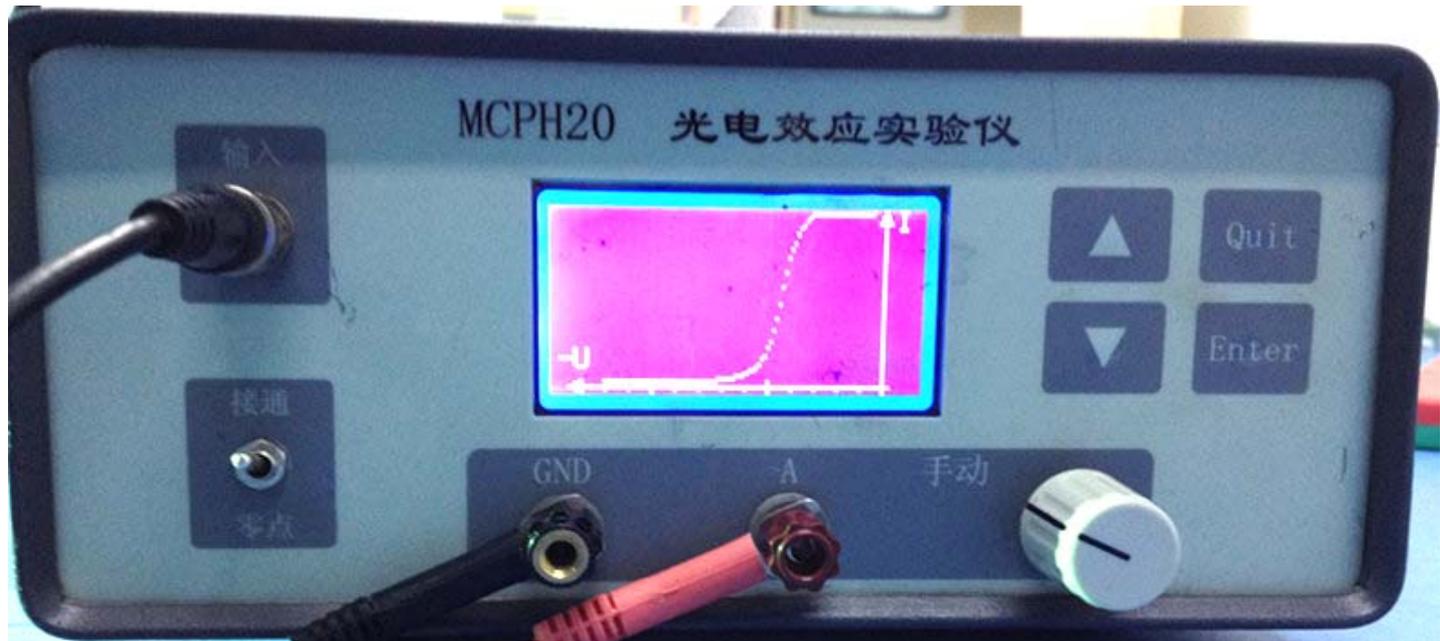




表 3-10 不同波长、电压值下的光电流值

| U/V | | -2.50 | -2.45 | -2.40 | ... | -0.10 | -0.05 | -0.00 |
|--------|--------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|
| I/pA | 365 nm | | | | ... | | | |
| | 405 nm | | | | ... | | | |
| | 436 nm | | | | ... | | | |
| | 546 nm | | | | ... | | | |

(3) 转动滤波盘，选择其他波长滤波片，调零后重复第(2)项实验内容。



(4) 利用“抬头点”法确定各波长对应的截止电压 U_c 。将结果记于表3-11中。

表 3-11 不同波长（频率）的截止电压值

| | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|
| λ / nm | 365 | 405 | 436 | 546 |
| $\nu / 10^{14} \text{Hz}$ | 8.219 | 7.407 | 6.897 | 5.494 |
| U_c / V | | | | |

(5) 以(4)确定的各截止电压 U_c 为依据，分别在紧邻它们的左、右两侧各选3个电压值 U ，用手动模式测量对应的电流值，试与上面自动模式的数据作比较。



3. 数据处理

- (1) 利用表 3-10 的实验数据，以电流 I 为纵坐标、以电压 U 为横坐标，利用 Excel 软件插入“图表”功能把各波长 $I-U$ 曲线绘于同一坐标系中。
- (2) 以表 3-11 中的数据，以 ν 为横坐标、以 $|U_c|$ 为纵坐标，做出 $|U_c|-\nu$ 函数图像。
- (3) 用最小二乘法求 $|U_c|-\nu$ 线性函数的斜率 b ，由斜率求出普朗克常量 h 。
- (4) 与普朗克常量公认值 $h = 6.6260872(52) \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 比较，求出相对误差 E 。



注意事项

1. 本仪器不得在强光照射下工作。
2. 测量结束后必须将滤波盘转到遮光位置，避免各种光直接进入暗盒。
3. 测量时不要触动连线和振动仪器，不要改变仪器放置的方位，因为测量结果对这些因素是敏感的。
4. 手动测量时待显示稳定后再读数。



5. 注意保护滤波片，防止触碰光学面。
6. 开机后需预热15min仪器才能正常工作，汞灯也要在点亮15min后才能正常出光。汞灯打开后，直至实验完成再关闭，如果中途关闭电源至少等5min后再开启。



思考题

1. 光电流是否随光源的强度变化？截止电压 U_c 是否因光源强度不同而改变？
2. 在实验过程中若改变了光源与光电管之间的距离，会产生什么影响？
3. 当加在光电管两端的电压为零时，光电流不为零，这是为什么？
4. 什么是阳极反向电流？它是怎样影响测量结果的？