



廣西師範大學

GUANGXI NORMAL UNIVERSITY

夫兰克—赫兹实验



前言

- ✓ 光谱学的研究证明了**原子能级**的存在。原子光谱的**每根谱线**都对应原子从某一**较高能态**向另一**较低能态**跃迁时的**电磁辐射**。然而，原子能级的存在，除了可由光谱研究推得外，**1914年夫兰克 (James Franck) 和赫兹 (G L Hertz)** 还通过用**慢电子与稀薄气体原子碰撞**的方法，实现了对原子的可控激发，证明了**原子发生跃迁时吸收和发射的能量完全是确定的和不连续的**，从而简单巧妙地**直接证明了原子能级**的存在。这是对量子理论的有力支持。这一杰出的研究成果使夫兰克和赫兹共获**1925年诺贝尔物理学奖**。
- ✓ 原子内部存在**不连续能级**的**量子状态**。**量子态**的概念是**量子论**对**经典物理学**的一场重大的改革。它不但有深刻的理论意义，而且人们已逐渐找到了它的实际应用。例如，已经有人在探索一种新型计算机——量子计算机的设计思路。



实验目的

1. 了解电子与原子之间的弹性碰撞和非弹性碰撞。
2. 通过对氦原子第一激发电位的测量，证明原子能级的存在。



实验原理

- ◆ 夫兰克—赫兹 (F-H) 管是一只充有稀薄气体的真空三极管。本实验的目的是测量氩原子的第一激发电位，因此F-H管里充的是氩气。
- ◆ 阴极由灯丝加热后发射的电子在电场中加速，并与气体原子发生碰撞。碰撞过程可以用以下能量守恒方程表示：

$$\frac{1}{2}m_e v^2 + \frac{1}{2}MV^2 = \frac{1}{2}m_e v'^2 + \frac{1}{2}MV'^2 + \Delta E$$

- ❖ 式中是 m_e 电子质量； M 是气体原子质量； v 是电子碰撞前的速度； V 是气体原子碰撞前的速度； v' 是电子碰撞后的速度； V' 是气体原子碰撞后的速度； ΔE 为气体原子内能的变化。



实验原理

- 根据碰撞理论，注意到 $M \gg m$ ，碰撞前后原子的动能变化不大，主要是电子的动能和原子内能发生变化。由于原子的能级是不连续的，当电子的动能小于原子的第一激发态能量时，气体原子与电子发生的碰撞属于弹性碰撞，即 $\Delta E = 0$ 。只有当电子的动能大于原子的第一激发态能量时才会发生非弹性碰撞，即电子与气体原子碰撞后，电子相当一部分的动能转换为气体原子的内能 $\Delta E = E_1$ 。 E_1 为气体原子的第一激发态能量。令 $U_0 = E_1/e$ ，式中 e 为电子电量， U_0 称为气体原子的第一激发电位。

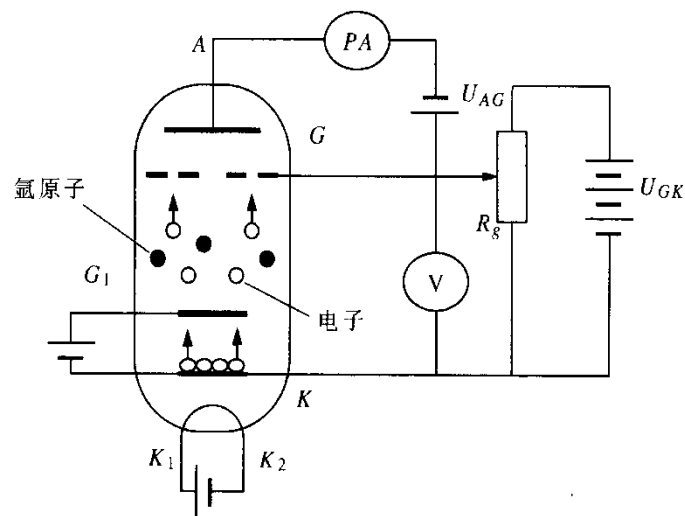
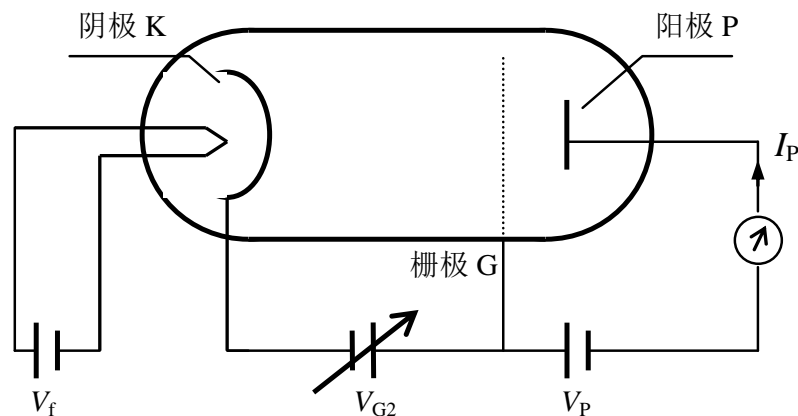


图 2.1-1 夫兰克-赫兹实验原理图



实验原理

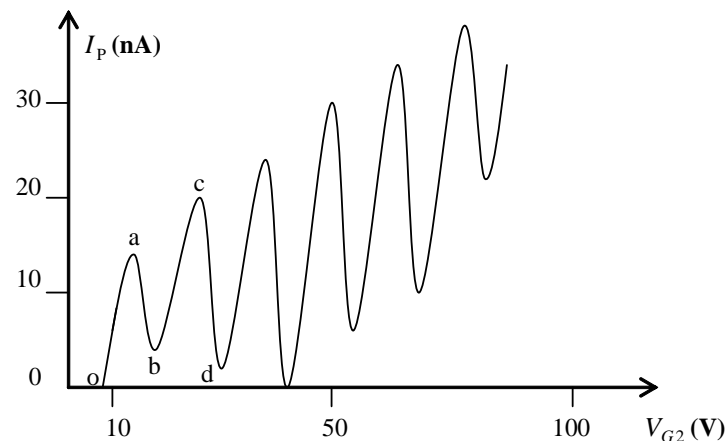
- 图中 V_f 用于加热灯丝。栅极G很靠近于阳极P，K-G之间有较强的空间距离。在阴极K与栅极G之间加可调的加速电压 V_{G2} ，热电子从阴极出发经过K-G之间的电场逐渐加速并与原子碰撞。电子在电势差为 U 的电场中获得的动能为 eU ，当电子的动能大于等于原子的第一激发态的能量即 $eU \geq eU_0$ ，这时电子将自身动能的一部分转换为原子的内能，使氩原子由基态跃迁到第一激发态，整个体系的动能因此而损失。这一过程发生的是非弹性碰撞。此后电子在电场的作用下重新加速获得动能，直到电子的动能重新等于原子的第一激发态的能量，将会又一次与气体原子发生非弹性碰撞。





实验原理

- 在G-P间加一个不太高的减速电压 V_P ，电子穿过栅极G后受到G-P减速电场的作用，只有动能大于 eV_P 的电子才能到达阳极P形成阳极电流 I_P 。由此，我们可以得到如右图所示的 I_P-V_{G2} 的曲线。

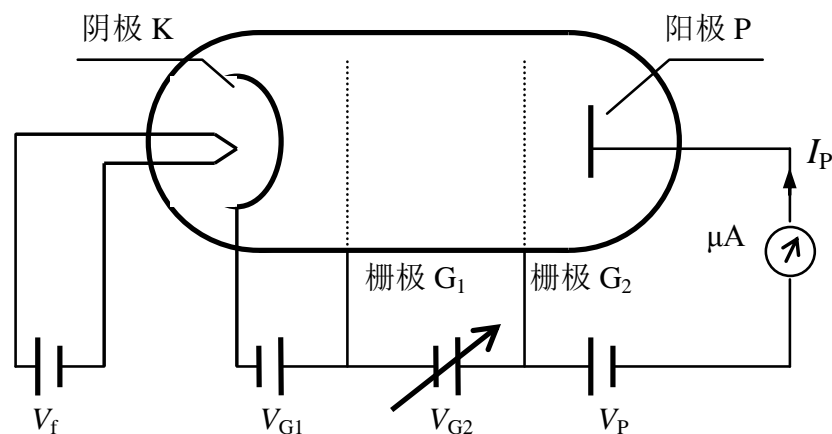


- ❖ 该曲线的明显特征是出现一系列的电流**峰、谷**。**谷**的出现，表明此时电子与原子发生了**非弹性碰撞**，大部分电子的动能损失到不足以穿过G-P间的减速电场；**峰**的出现则表明**大量的电子有足够的动能穿越G-P空间**，这是电子在电场中重新加速获得动能但又不足以与原子发生非弹性碰撞的结果。可见曲线**相邻两峰值或相邻两谷值之间的电压差值等于待测气体的第一激发电位 U_0** ，从而直接证明了**原子内部能量状态的不连续性**。



实验原理

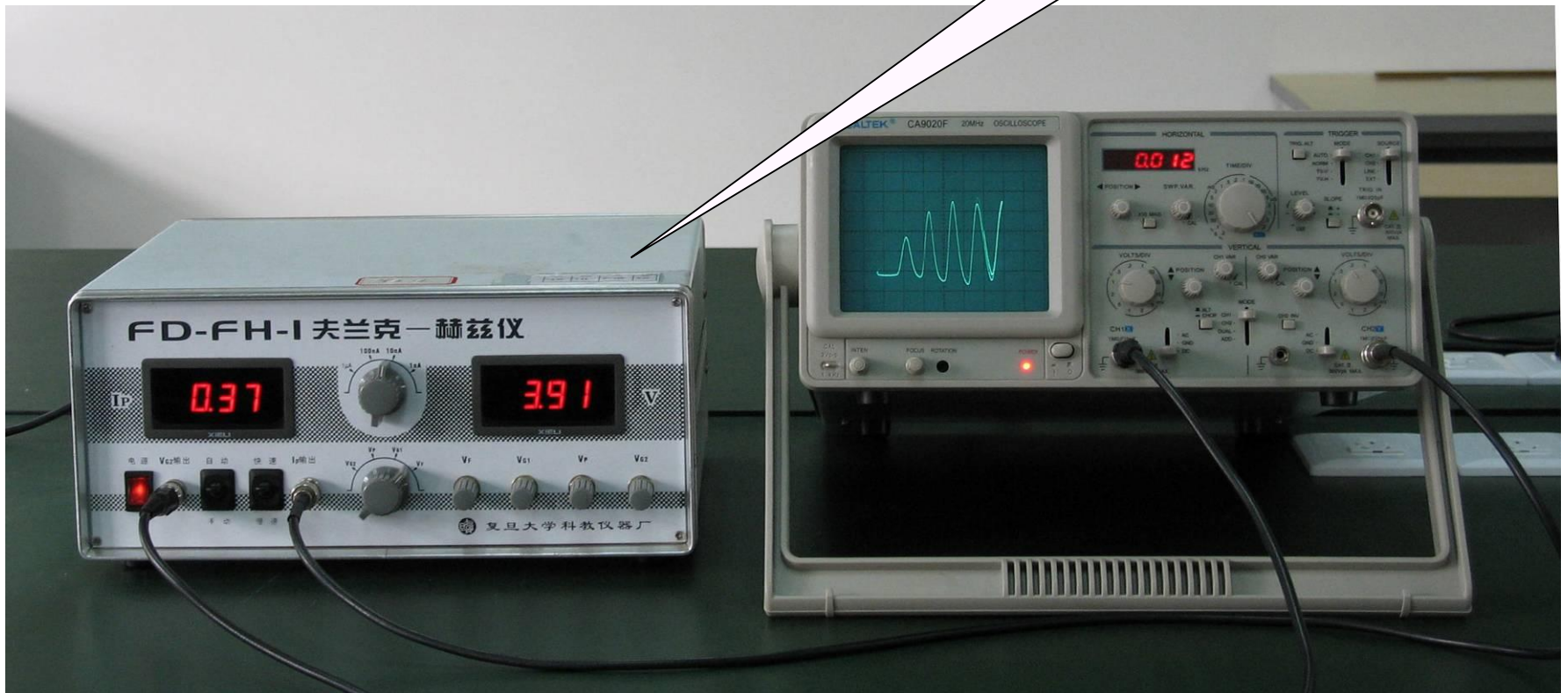
- 也可以在三极管的F-H管的阴极附近加一控制栅极改为四极管，如图。图中 G_1 为控制栅极，其作用是加一个正向电压 V_{G1} ，用以消除电子在阴极附近的堆积效应，并起到控制电子流大小的作用。





仪器介绍

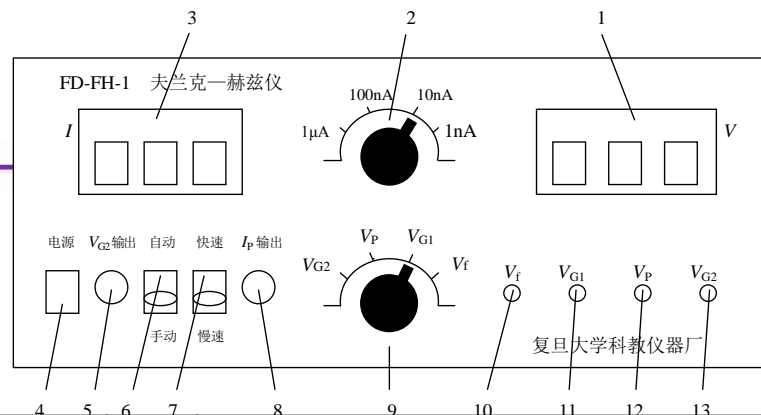
电压参数表





仪器介绍

F-H仪面板结构



1	电压指示：通过波段开关9的选择，可分别指示 V_{G2} (衰减10倍)、 V_P 、 V_{G1} 和 V_f 。 注意： V_{G2}被衰减10倍，故 V_{G2}=电压表读数$\times 10$	2	I_p 电流增益波段开关：1 μ A、100nA、10nA、1nA。
3	I_p 电流指示： 电流=波段开关值\times电流表示值/100 (如 $3.00 \times 10\text{nA}/100=0.3\text{nA}$)。	4	总电源开关。
5	V_{G2} 输出：接示波器、记录仪、或计算机接口，输出电压 = $V_{G2}/10$ 。	6	V_{G2} 扫描开关：拨至“手动”时，由 V_{G2} 电压调节旋钮13调节；拨至“自动”时，在13所调定的电压与0V间扫描
7	V_{G2} 扫描速度开关。	8	I_p 输出：接示波器、记录仪、或计算机接口。
9	电压指示波段开关。	10	V_f 电压调节旋钮。
11	V_{G1} 电压调节旋钮	12	V_p 电压调节旋钮。
13	V_{G2} 电压调节旋钮。		

即使波段开关9不在相应的位置调节电压旋钮依然可以改变电压值，



实验步骤

1. 将所有电压调节电位器逆时针旋至底；扫描开关6拨至自动； I_p 电流增益波段开关2拨至100nA/10nA。 I_p 输出8、 V_{G2} 输出5连接至示波器。
 2. 打开电源，按实验室给出的参考参数将 V_{G1} 、 V_P 调节至参考值；将 V_{G2} 调节至最大值。由示波器观测 I_p 曲线。
 3. 扫描开关6拨至手动，慢速。 V_{G2} 从0开始调节，逐渐增加至100伏，观察 I_p 随 V_{G2} 的变化关系。
- 参考表1记下 I_p 和 V_{G2} 的读数。为便于作图，计算待测气体（氙）的第一激发电位 U_0 的平均值和不确定度。



测量数据表

测量值							
		次序					
1	V_{G2}/V	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
	I_P/nA						
2	V_{G2}/V						
	I_P/nA						
3	V_{G2}/V						
	I_P/nA						
4	V_{G2}/V						
	I_P/nA						
5	V_{G2}/V						
	I_P/nA						
6	V_{G2}/V				100.0
	I_P/nA						

附注：Ar的第一激发电位（光谱波长104.8nm换算）为 $U_0=11.8V$ 。



注意事项

1. V_f 不可过高，否则会导致灯丝烧毁。
2. V_{G2} 高到一定程度时，部分电子会积累到相当高的能量，与气体原子碰撞的结果，会引起气体原子的电离。气体电离后，电子管电流会自发增大直至烧毁。虽然线路中加了保护措施，但是电离对阴极具有极大的破坏性，所以一旦发现 I_p 超过 $10\mu A$ 应迅速把 V_{G2} 降到0，5分钟后再重新做实验。
3. 尽量避免示波器荧光屏上光点长时间停留不动（遇到这种情况可关闭示波器或把辉度调小），以保护示波器。
4. 实验完毕后请将所有电压调节到最小值再关掉电源。



思考题

1. 拒斥电压 V_P 增大时， I_P 如何变化？
2. 为什么 I_P-V_{G2} 曲线不是从原点开始的？
3. 为什么 I_P 的下降不是陡然的？



作业

- 根据实验要求完成相应的实验报告撰写。