

## 实验 23 弗兰克—赫兹实验

1913 年丹麦物理学家尼尔斯·玻尔 (N·Bohr) 提出了原子能级的概念,指出原子处于稳定状态时不辐射能量,只有当原子从高能态  $m$  (低能态) 向低能态  $n$  (高能态) 跃迁时才辐射 (吸收) 频率为  $\nu$  的光子.辐射 (吸收) 的光子能量满足能级差

$$\Delta E = |E_m - E_n| \quad (23-1)$$

式中  $h$  为普朗克常量. 原子能级跃迁也可以通过使具有一定能量的电子和原子发生碰撞来实现.

1914 年德国物理学家弗兰克 (J·Franck) 和赫兹 (G·Hertz) 用慢电子穿过汞蒸气的实验, 测定了汞原子的第一激发电位, 证明了原子分立能态的存在. 后来他们又观测了实验中被激发的原子回到正常态时所辐射的光, 测出的辐射光的频率很好地满足了玻尔理论, 弗兰克—赫兹实验的结果为玻尔理论提供了直接证据.

玻尔因其原子模型理论获 1922 年诺贝尔物理学奖, 而弗兰克与赫兹的实验也于 1925 年获此奖.

夫兰克——赫兹实验与玻尔理论在物理学的发展史中起到了重要的作用.

### 【实验目的】

1. 测量氩原子的第一激发电位;
2. 证实原子能级的存在, 加深对原子结构的了解;
3. 了解在微观世界中, 电子与原子的碰撞几率.

### 【实验仪器】

DH4507 智能型弗兰克-赫兹实验仪, BY4320G 示波器

### 【实验原理】

夫兰克—赫兹实验原理(如图 23-1 所示), 阴极 K, 板极 A,  $G_1$ 、 $G_2$  分别为第一、第二栅极.

K- $G_1$ - $G_2$  加正向电压, 为电子提供能量. $U_{G_1K}$  的作用主要是消除空间电荷对阴极电子发射的影响, 提高发射效率. $G_2$ -A 之间加反向电压, 形成拒斥电场.

电子从 K 发出, 在 K- $G_2$  区间获得能量, 在  $G_2$ -A 区间损失能量. 如果电子进入  $G_2$ -A 区域时动能大于或等于  $eU_{G_2A}$ , 就能到达板极形成板极电流  $I$ .

电子在不同区间的情况:

1. K- $G_1$  区间 电子迅速被电场加速而获得能量.
2.  $G_1$ - $G_2$  区间 电子继续从电场获得能量并不断与氩原子碰撞. 当其能量小于氩原子第一激发

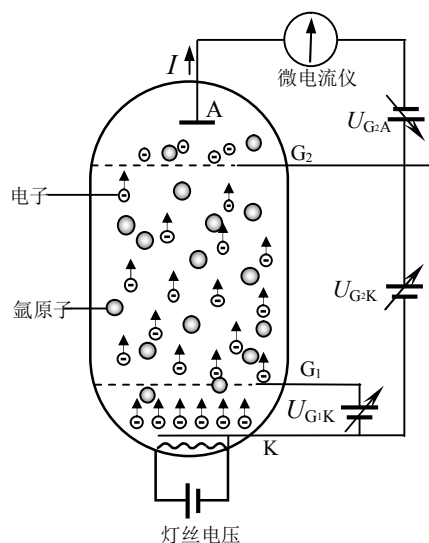


图 23-1 弗兰克-赫兹实验原理图

态与基态的能级差 $\Delta E = E_2 - E_1$ 时, 氩原子基本不吸收电子的能量, 碰撞属于弹性碰撞. 当电子的能量达到 $\Delta E$ , 则可能在碰撞中被氩原子吸收这部分能量, 这时的碰撞属于非弹性碰撞.  $\Delta E$ 称为临界能量.

3.  $G_2$ -A 区间 电子受阻, 被拒斥电场吸收能量. 若电子进入此区间时的能量小于  $eU_{G_2A}$  则不能达到板极.

由此可见, 若  $eU_{G_2K} < \Delta E$ , 则电子带着  $eU_{G_2K}$  的能量进入  $G_2$ -A 区域. 随着  $U_{G_2K}$  的增加, 板极电流  $I$  增加 (如图 23-2 中  $Oa$  段).

若  $eU_{G_2K} = \Delta E$  则电子在达到  $G_2$  处刚够临界能量, 不过它立即开始消耗能量了. 继续增大  $U_{G_2K}$ , 电子能量被吸收的概率逐渐增加, 板极电流逐渐下降 (如图 23-2 中  $ab$  段).

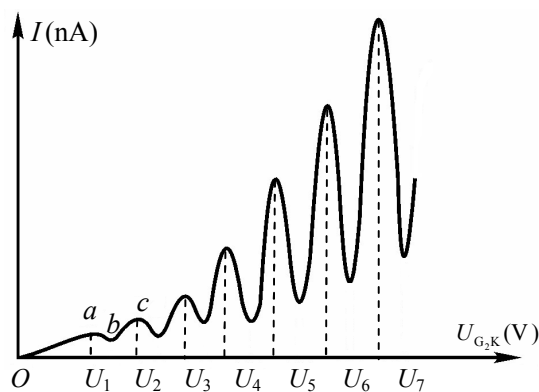


图 23-2 弗兰克-赫兹实验  $I \sim U_{G_2K}$  曲线

继续增大  $U_{G_2K}$ , 电子碰撞后的剩余能量也增加, 到达板极的电子又会逐渐增多 (如图 23-2 中  $bc$  段).

若  $eU_{G_2K} > n\Delta E$  则电子在进入  $G_2$ -A 区域之前可能  $n$  次被氩原子碰撞而损失能量. 板极电流  $I$  随加速电压  $U_{G_2K}$  变化曲线就形成  $n$  个峰值, 如图 23-2 所示. 相邻峰值之间的电位差  $\Delta U$  称为氩原子的第一激发电位. 氩原子第一激发态与基态间的能级差

$$\Delta E = e \Delta U \quad (23-2)$$

### 【实验内容与步骤】

1. 将面板上的四对接线插孔 (灯丝电压, 第二栅压  $U_{G_2K}$ , 第一栅压  $U_{G_1K}$ , 拒斥电压  $U_{G_2A}$ ) 与电子管测试架上的相应插孔用专用连接线连好. 将仪器的“电流输入”与测试架上的接线端子“ $I$ ”相连接. 将仪器的“电流输出”与示波器的“CH1 输入 (X)”相连; 仪器的“同步输出”与示波器的“CH2 输入 (Y)”相连.

**注意: 各对插线应一一对号入座, 切不可插错! 否则会损坏电子管或仪器 (灯丝电压极性不限).**

2. 打开仪器电源和示波器电源.
3. 将“自动/手动”键置于“手动”状态.
4. 按电子管测试架铭牌上给出的灯丝电压值、第一栅压  $U_{G_1K}$ 、拒斥电压  $U_{G_2A}$  预置相应电压值,

预置  $U_{G_2K}$  为 0V.

5. 仪器预热十分钟. 按“自动/手动”键到“自动”状态, 开始自动测量, 同时注意观察示波器上显示的曲线是否有六个峰值.

6. 观测到示波器曲线正常后, 按“自动/手动”键到“手动”状态.

7. 用手动方式增加  $U_{G_2K}$  值, 同时观察微电流  $I$  的变化, 先进行一次粗略和全面的观察, 要求在这一过程中先粗测峰值电流  $I$  对应的  $U_{G_2K}$  电压值.

8. 改变第二栅压从 0 开始到 82V 结束, 要求每改变 1V 记录相应  $I$  和  $U_{G_2K}$  值.

**注意:** 在曲线的峰值附近多记录一些数据 (建议每隔 0.2V 记录一组数据, 不少于 10 组).

9. 实验结束后, 将各组电压降为 0V, 关闭仪器电源.

### 【数据记录与处理】

1. 作出  $I - U_{G_2K}$  曲线, 确定出  $I$  极大时所对应的电压  $U_{G_2K}$ .

2. 用最小二乘法求氩原子的第一激发电位, 并计算不确定度.

$$U_{G_2K} = a + n\Delta U$$

式中  $n$  为峰序数,  $\Delta U$  为第一激发电位.

### 【思考题】

1.  $I - U_{G_2K}$  曲线电流下降并不十分陡峭, 主要原因是什么?

2.  $I$  的谷值并不为零, 而且谷值依次沿  $U_{G_2K}$  轴升高, 如何解释?

3. 第一峰值所对应的电压是否等于第一激发电位? 原因是什么?

4. 写出氩原子第一激发态与基态的能级差.

### 【参考文献】

1. 余虹. 大学物理学. 北京: 科学出版社, 2001.

2. 褚圣麟. 原子物理学. 北京: 高等教育出版社, 1979.