

弗兰克-赫兹实验

1913年，丹麦物理学家玻尔（N.Bohr）提出的原子理论中，原子是由原子核和核外电子组成，核外电子以原子核为中心沿各自不同的轨道旋转，该理论模型在预言氢原子光谱中取得了显著的成功。

玻尔提出的原子理论中指出：原子只能停留在一些稳定状态（定态）中，不发射或吸收能量；各定态有一定的能量，其数值是彼此孤立的。原子的能量发生改变时，它只能从一个定态跃迁到另一个定态。当原子从一个定态跃迁到另一个定态而发射或吸收能量时，其辐射频率是一定的。辐射频率 ν 的大小决定于如下关系： $h\nu = E_m - E_n$ ， E_m 和 E_n 分别代表两定态的能量，普朗克常数 $h \approx 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ 。

原子不会自发从低能级向高能级跃迁，但可以让具有一定能量的电子与原子发生碰撞，二者进行能量交换以促使原子跃迁到高能级。假设初速度为零的电子在电位差为 U_0 的加速电场作用下可获得能量 eU_0 ，当加速后的电子与稀薄气体的原子发生碰撞时就会发生能量交换。我们以 E_1 代表气体原子的基态能量、 E_2 代表气体原子的第一激发态能量，那么当气体原子从加速后的电子接收到的能量恰好为 $eU_0 = E_2 - E_1$ 时；气体原子就会从基态跃迁到第一激发态，而相应的电位差称为此气体原子的第一激发电位。测量出这个电位差 U_0 ，就可以算出气体原子的基态和第一激发态之间的能量差。

原子跃迁到第一激发态后是不稳定的，会自发跃迁回稳定的基态，这种反跃迁的过程中，原子获得的来自于加速后的电子的能量将以电磁辐射的形式释放出来，即可以观察到能量为 $h\nu = eU_0$ 的光子。

1914年，德国物理学家弗兰克（J.Franck）和赫兹（G.Hertz）对勒纳用来测量电离电位的实验装置作出改进。同样采取慢电子（动能为几个到几十个电子伏特）与单元素稀薄气体原子碰撞的办法，但他们着重于观察碰撞后电子发生了什么变化。实验测量结果表明，电子和原子碰撞时会交换某一定值的能量，可以使原子从低能级跃迁到高能级。

这个实验直接证明原子能级跃迁时吸收和发射的能量是不连续的，证明了原子能级的存在，证明了玻尔原子理论的正确性。玻尔因其原子理论于 1922 年获诺贝尔物理学奖，弗兰克和赫兹也因其实验于 1925 年获诺贝尔物理学奖。玻尔理论和弗兰克-赫兹实验是物理学发展中理论与实验良性互动的极好示例，在近代物理学的发展中起到了重要作用。弗兰克-赫兹实验至今仍是探索原子结构的重要手段之一。

本实验中我们将了解弗兰克-赫兹实验的原理、方法，并使用弗兰克-赫兹管测量氩原子的第一激发电位，进而证实原子能级的存在，进一步加深对原子结构的了解。

实验中采用的弗兰克-赫兹实验仪，示波器等相关技术指标见前文实验设备介绍中部分。

【实验原理】

弗兰克-赫兹实验的原理图如右图所示。在充满氩的弗兰克-赫兹管中，电子由热阴极发出。阴极 K 和第一栅极 G1 之间存在加速电压 U_{G1K} ，阴极 K 和第二栅极 G2 之间存在加速电压 U_{G2K} ，都可以使电子加速。在板极 A 和第二栅极 G2 之间存在有减速电压 U_{G2A} 。

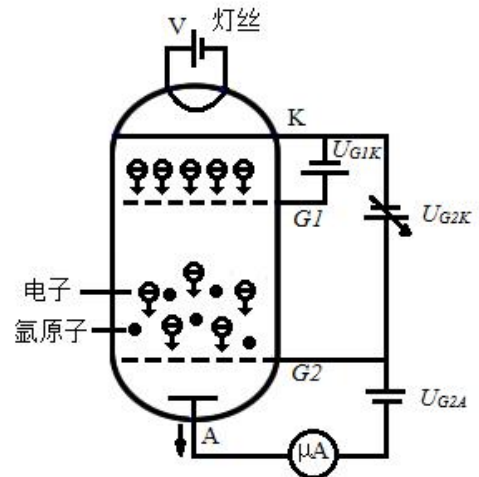


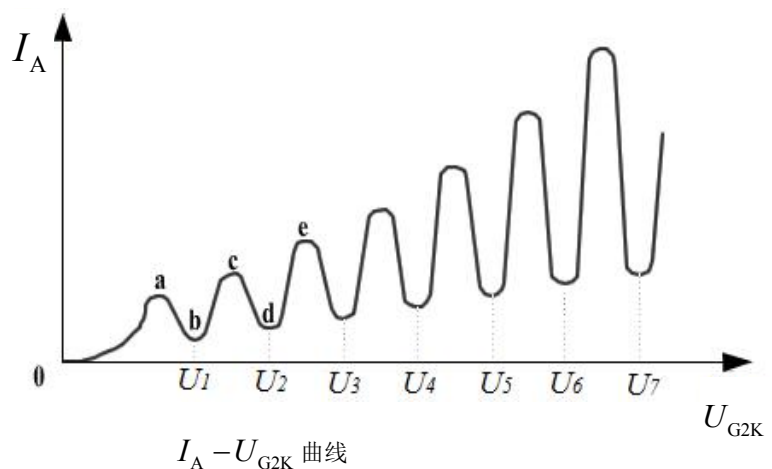
图6-11-1 弗兰克-赫兹原理图

当电子通过 KG2 空间进入 G2A 空间时，电子已被加速电场加速到一定动能；如果电子的动能较大 ($\geq eU_{G2A}$)，就能通过板极 A 和第二栅极 G2 之间的

减速电场而到达板极 A 并形成板极电流，可为微电流计 μA 表所检出。但如果电子在 KG2 空间中与氩原子发生碰撞，把一部分动能交换给氩原子而使后者能级跃迁的话，电子本身所剩余的动能就不足以通过减速电场而被折回第二栅极，此时微电流计 μA 表的电流值将显著减小。

实验中逐渐增加 U_{G2K} 电压并观察记录微电流计的电流值，会得到如下图所示的 $I_A \sim U_{G2K}$ 曲线，曲线反映了电子被加速后在 KG2 空间与氩原子能量交换的情况。初始阶段， U_{G2K} 比较小，

电子加速后动能较小，运动过程中即使与原子相碰撞也只有微小的能量损失（近似为弹性碰撞），不足以引起原子的能级跃迁。电子穿过第二栅极到达极板所形成的板极电流 I_A 将随栅极电压 U_{G2K} 的增加而增大



（图中 oa 段）。当 KG2 间的加

速电压增加到氩原子的第一激发电位 U_0 时，电子如在第二栅极附近与氩原子碰撞，将把从加速电场中获得的能量交换给氩原子，并使后者从基态激发到第一激发态。而电子本身由于在加速电场

中获得的能量全部损失，在穿过第二栅极后将不能够克服减速电场而被折回第二栅极。这时板极电流将出现显著的减少（图中 ab 段）。随着栅极电压 U_{G2K} 的进一步增加，电子在加速电场获得的能量也随之增加，能够在与氩原子发生碰撞损失能量后还留下足够的动能，可以克服第二栅极后的减速电场而达到板极 A，此时板极电流又开始增加（图中 bc 段）。直到 KG2 间加速电压是氩原子的第一激发电位的二倍时，电子在 KG2 间加速的过程中会因为与两个氩原子发生碰撞而损失加速电场中所获得的全部能量，因而造成第二次板极电流的减少（图中 cd 段）。

同理，只要 KG2 间加速电压 $U_{G2K} = nU_0$ ($n = 1, 2, 3 \dots$)，微电流计 μA 表测出的板极电流 I_A 都会相应减少，形成规则变化的 $I_A \sim U_{G2K}$ 曲线。两个相邻的板极电流 I_A 下降时所对应峰尖，之间的加速电压差值就应该是氩原子的第一激发电位 U_0 。本实验就是通过加速电压和板极电流的测量，测出氩原子的第一激发电位（公认值为 $U_0 = 11.6V$ ），来证明电子和原子碰撞能使原子从低能级跃迁到高能级，来证明原子内部存在不连续的能级，即玻尔原子能级的存在。

【实验内容】

1、实验准备

认真阅读仪器说明书，熟悉弗兰克-赫兹实验仪的使用方法。按照仪器说明书要求，连接弗兰克-赫兹管各组工作电源线，检查无误后开机。手动测试前先预热实验仪 10 分钟。开机后的正常初始状态如下：

实验仪的“1mA”电流档位指示灯亮，表明此时电流的量程为 1mA 档；电流显示值为 $0000.(10^{-7} A)$ ；实验仪的“灯丝电压”档位指示灯亮，表明此时准备修改的电压为灯丝电压；电压显示值为 000.0V，最后一位在闪动，表明现在修改位为最后一位；“手动”指示灯亮表明仪器工作正常。

2、氩元素的第一激发电位测量

a、设置仪器为“手动”工作状态，按“手动/自动”键，“手动”指示灯亮。

b、设定电流量程（电流量程可参考仪器机箱盖上提供的数据）。按下相应电流量程键，对应的量程指示灯点亮。

c、设定电压值（设定值可参考仪器机箱盖上提供的数据）。用 \uparrow/\downarrow 、 \leftarrow/\rightarrow 键完成电压源设定，需设定的电压源有：灯丝电压 U_F 、加速电压 U_{G1K} 、减速电压 U_{G2A} 。

d、按下“启动”键，开始测试。先用 \uparrow/\downarrow 、 \leftarrow/\rightarrow 键完成 U_{G2K} 电压值的调节，从0.0V起，按步长0.5V（或1.0V）的节奏增大加速电压 U_{G2K} ，每次增大加速电压即同步记录 U_{G2K} 值和对应的 I_A 值，同时观察比较板极电流值 I_A 的变化趋势（可用示波器观察）。加速电压调节过程中，为保证实验数据的唯一性， U_{G2K} 电压只能从小到大单向调节，电压值不可反向减少；记录完成最后一组数据后，请立即将 U_{G2K} 电压快速归零。

e、在手动测试的过程中，按下启动按键， U_{G2K} 的电压值将被设置为零，内部存储的测试数据和示波器上显示的波形也被清除，但 U_F 、 U_{G1K} 、 U_{G2A} 、电流档位等的状态不发生改变。这种情况下操作者可以在该状态下重新进行测试，或修改状态后再进行测试。建议手动测试 $I_A \sim U_{G2K}$ 一次或修改 U_F 值再进行一次。

【注意事项】

- 1、仪器接通电源后如发现指示灯不亮，应立即切断电源，待查明原因后方可使用。
- 2、灯丝电压不宜过高，否则会加快弗兰克-赫兹管老化。
- 3、 U_{G2K} 不宜超过85V，否则管子易被击穿。

【思考题】

- 1、结合所学物理知识，该如何正确理解玻尔原子理论？
- 2、 $I_A \sim U_{G2K}$ 曲线极板电流下降后并没有变成0，原因是什么？
- 3、 $I_A \sim U_{G2K}$ 曲线的第一峰值所对应的加速电压是否是氩原子的第一激发电位？为什么？
- 4、极板电流的峰值依次沿 U_{G2K} 轴升高，该如何解释？