

实验 06 夫兰克-赫兹实验

引言

在原子物理学的发展中，丹麦物理学家玻尔（N.Bohr）因为在 1913 年发表了原子模型理论而获得了 1922 年度诺贝尔物理学奖。在玻尔发表原子模型理论的第二年，德国科学家夫兰克(J.Franck)和赫兹（G.hertz）用慢电子与稀薄气体原子碰撞的方法，使原子从低能级激发到高能级。他们对电子与原子碰撞时能量交换的研究所发现的规律性，直接证明了原子能级的存在，即原子能量的量子化现象。后来他们又在同样的实验中测得被慢电子激发的原子返回基态时辐射的光频率，发现这种辐射服从玻尔假设的频率定则。夫兰克和赫兹的实验成为玻尔理论的一个重要实验依据，他们也因此获得了 1925 年度诺贝尔物理学奖。

这就是原子物理学上著名的“夫兰克-赫兹”实验。

实验目的

- 1 测定氩原子的第一激发电势，证明原子能级的存在，研究原子能量的量子化现象
- 2 学习测定原子激发电势的方法

实验原理

1 玻尔原子理论的要点

原子系统只能处于一系列具有分布且确定量值的稳定状态，即原子系统的定态，其相应的能量分别为 E_1 、 E_2 、 E_3 、……，原子从一个定态过渡到另一个定态称为跃迁，跃迁时原子吸收或辐射一定的能量：

$$\Delta E = h\nu = E_m - E_n$$

式中 h 为普朗克常数， ν 为辐射频率

2 原子的跃迁、激发电势和能级差

原子在正常情况下处于基态，当原子吸收电磁波或受其他粒子碰撞而发生能量交换时，可由基态跃迁到能量较高的激发态，所需的能量称为临界能量。

电子与原子碰撞时，如果电子动能小于临界能量，可视为两个质量相差悬殊的物体间发生的弹性碰撞，电子没有能量损失。如果电子动能大于临界能量，则碰撞过程中电子将转移给原子跃迁所需的临界能量，其余能量仍由电子保留，此种碰撞为非弹性碰撞。

初速度为 0 的电子在电势差为 U_0 的加速电场的作用下，获得能量 eU_0 ，当具有这种能量的电子与稀薄气体（如氩）的原子碰撞时就会发生能量交换，氩原子获得能量由基态跃迁到第一激发态，其获得的能量为：

$$\Delta E = E_2 - E_1 = eU_0$$

式中， E_1 为基态能量， E_2 为第一激发态能量， ΔE 称为第一能级差，电势差 U_0 称为氩原子的第一激发电势。

测定 U_0 ，就能得到氩原子系统的基态和第一激发态之间的能量差，也叫能级差。由此

方法还可测量其他元素的第一激发电势和能级差，如下表所示：

元素名称	钠(Na)	钾(K)	锂(Li)	镁(Mg)	氖(Ne)
第一激发电 U_0 (V)	2.12	1.63	1.84	3.20	18.6

测量原理和方法

1 实验曲线

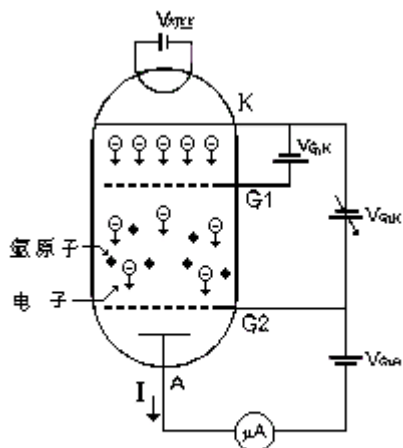


图 1 弗兰克-赫兹实验原理图

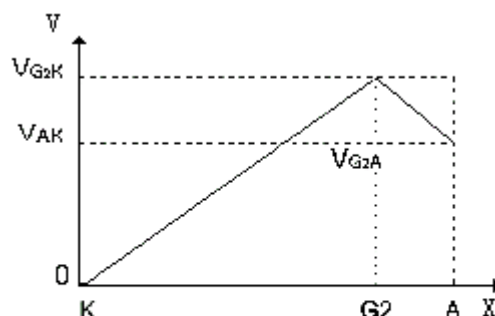


图 2 弗兰克-赫兹管管内电场分布

弗兰克-赫兹实验原理图如图 1，在充氖的弗兰克-赫兹管中，电子由阴极 K 发出，阴极 K 和第二栅极 G_2 之间的加速电压 V_{G_2K} 使电子加速。在板极 A 和第二栅极 G_2 之间设置反向拒斥电压 V_{G_2K} ，管内空间电位分布如图 2 所示。

当电子能量足够大，就能越过拒斥电场到达阳极 A 而形成阳极电流 I_A ，如果有电子在 $K-G$ 空间中与氖原子发生碰撞，并把一部分能量传给氖原子，电子所剩的能量就可能很小，不能越过拒斥电场，达不到阳极 A ，不能形成阳极电流。这类电子增多，阳极电流 I_A 将明显下降。逐渐增加栅极电压 V_{G_2K} ，观测阳极电流随 V_{G_2K} 的变化，可得 $I_A \sim V_{G_2K}$ 曲线

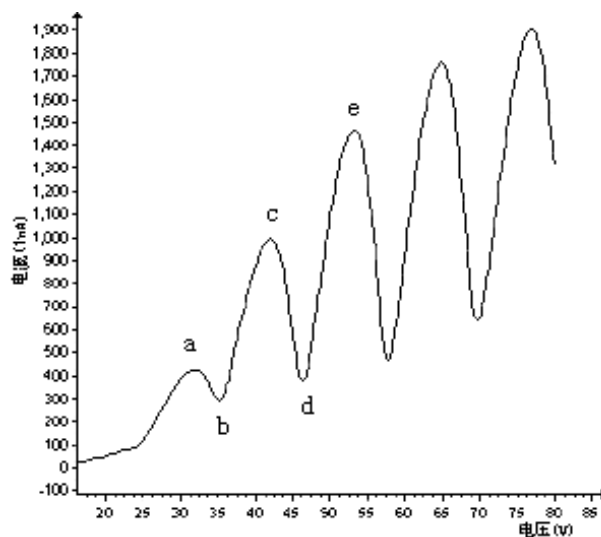


图 3 $I_A \sim V_{G_2K}$ 曲线

如图 3 所示。

2 曲线特点

- I_A 不是随着 V_{G_2K} 增加而单调增加，曲线中间出现了多次凹陷和凸现，即存在着若干个谷点和峰点。
- 相邻的 2 谷点或峰点之间对应的电势差都是 U_0 。

3 对曲线的解释

- 1) 当灯丝加热时, 阴极K的氧化层即发射电子, 在 G_2K 间的电场作用下被加速而取得越来越大的能量。但在起始阶段, 由于电压 V_{G_2K} 较低, 电子的能量较小, 即使在运动过程中, 它与原子相碰撞 (为弹性碰撞) 只有微小的能量交换。这样, 穿过第二栅极的电子所形成的极流 I_A 管内将随第二栅极电压 V_{G_2K} 的增加而增大 (见图3中的 oa 段)。
- 2) 当 V_{G_2K} 达到氩原子的第一激发电压时, 电子在第二栅极附近与氩原子相碰撞 (此时产生非弹性碰撞)。电子把从加速电场中获得的全部能量传递给氩原子, 使氩原子从基态激发到第一激发态。而电子本身, 由于把全部能量传递给氩原子, 它即使能穿过第二栅极, 也不能克服反向拒斥电场, 因而被折回第二栅极。所以, 此时极板电流 I_A 将显著减小 (见图3中的 ab 段)。原子处于激发态是不稳定的, 在实验中被电子轰击到第一激发态的原子要跃迁回基态。
- 3) 随着第二栅极电压 V_{G_2K} 的增加, 电子能量也随着增加, 与氩原子相碰后还留下足够的能量。这就可以克服拒斥电场的作用力而达到极板 A, 这时极板电流 I_A 又开始上升 (bc 段)。
- 4) 直到 V_{G_2K} 是氩原子第1激发电压的2倍时, 电子在 G_2K 之间又会因为第2次非弹性碰撞而失去能量, 因而又造成第2次板极电流的下降 (cd 段)。

可见, 阳极电流 I_A 随着加速电压 V_{G_2K} 的增加而呈现周期性变化, 两相邻谷点 (或峰点) 之间的加速电压差值, 就是氩原子的第一激发电位值, 由此可得出氩原子的第一激发电势。

这个实验利用弗兰克-赫兹管内的缓慢电子与氩原子碰撞, 通过测量氩的第一激发电位, 证明了玻尔的假设。

实验内容

1 手动测量

采用不同的实验参数多次用手动方式测量氩原子的第一激发电位, 同时用示波器观测 $I_A \sim V_{G_2K}$ 曲线。

2 自动测量

用计算机数据采集、数据处理。

3 处理实验数据

1) 作图法

将在不同状态下所得的 I_A 和 V_{G_2K} 测试的对应值画在同一坐标纸上, 描绘出 $I_A \sim V_{G_2K}$ 曲线, 并在图上标出 U_0 值。分析灯丝电电压、拒斥电压的改变对实验曲线的影响。

2) 解析法

用最小二乘法原理处理所得数据, 求出金属电极的接触电势差 U_c 以及氩原子的第一激发电势 U_0 值。为此, 令 $U_c = a$, 第一激发电势 $U_0 = b$, 峰点顺序为 x , 各峰点的电压 V_{G_2K}

为 Y ，则有线性函数关系：

$$Y = a + bx \quad (x = 0, 1, 2, \dots)$$

计算待定系数 a 和 b 以及线性相关系数 γ ，从而求得第一激发电势 U_0 和接触电势差 U_c ，并验证线性关系

$$U_{G2K} = U_c + U_0 x$$

是否成立。

仪器简介

1 系统组成

智能夫兰克-赫兹实验测试仪由主机、计算机和示波器组成。主机单独使用可进行手动测试，配上计算机可进行自动测试。用示波器可在测量的同时观测实验曲线。

2 系统工作状态

电流量程： $10\mu A$ （小部分情况下）或 $1\mu A$ （大部分情况下）

灯丝电源电压：4.0V 左右

V_{G1K} 电压：1.5V 左右

V_{G2A} 电压：6.0V 左右

V_{G2K} 电压： $\leq 80.0V$

具体见仪器标签。

仪器使用方法

1 与示波器连接

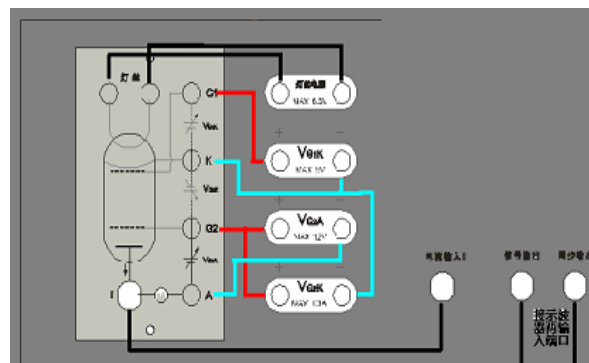
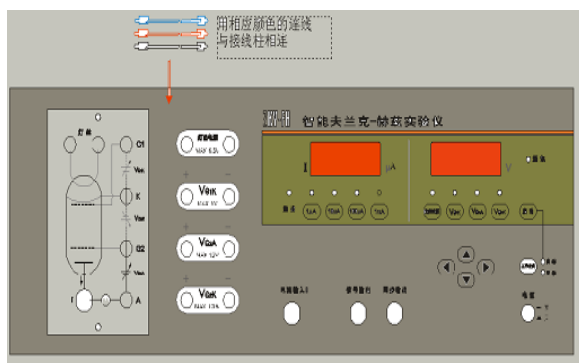
主机面板见图 4。用仪器配备的连接线将“信号输出”和“同步输出”与示波器相连。用“同步信号”作为触发信号，将示波器调试到外触发方式。

2 手动测试

连接面板上的连接线(连线图见图 5)。检查连接无误后按下电源，开机。用面板上的 $\uparrow/\downarrow/\leftarrow/\rightarrow$ 键设置电流量程、灯丝电压、反向拒斥电压，预热 1 分钟。增加栅极电压，记录栅极电压及相应的阳极电流。

3 自动测试

在仪器面板上选择“自动”，启动夫兰克-赫兹实验控制软件。输入用户名和密码后，设置好参数既可进行联机测试。读出各峰值电压并进行数据校验，计算机自动算出氩原子第



一激发电势。

图 4 夫兰克-赫兹实验仪主机面板

图 5 夫兰克-赫兹实验面板连线图

注意事项

1 $F-H$ 管很容易因电压设置不合适而遭到损害，所以，一定要按照规定的实验步骤和适当的状态进行实验。

2 测试时， A 、 $G1$ 、 $G2$ 、 K 及灯丝接线柱不要接错或短路，以免损坏仪器。

思考题

- 1 灯丝电压的改变对夫兰克-赫兹实验有何影响？
- 2 拒斥电压和第一栅极电压的改变对夫兰克-赫兹实验有何影响？
- 3 你从夫兰克-赫兹实验的构想和设计中受到什么启迪？