

实验 CA2 弗兰克-赫兹实验：原子定态能级的观测

【实验目的】

1. 学习弗兰克-赫兹实验仪的使用方法。
2. 测量氩原子的电流-加速电压关系曲线，计算第一激发电位。

【仪器用具】

弗兰克-赫兹实验仪，氩管，汞管及控温装置，数字示波器

注意：本实验的弗兰克-赫兹实验仪有 2 种，分别为世纪中科的 ZKY-FH-2（共 10 套）和博洋光电的 BEX-8502（共 2 套）；

【原理概述】

通过测量电子和原子碰撞时传递的能量值，得出原子能态跃迁的能量吸收和发射是固定值，并且是不连续的。利用实验验证波尔的原子轨道理论。

1911 年提出了原子的核模型结构后，玻尔在 1913 年发展了氢原子理论，提出氢原子能级量子化。1914 年，夫兰克(J. Frank)和赫兹(G. Hertz)利用低能电子碰撞原子，并观察在这种相互作用下受激原子发出的辐射，直观地证明了汞原子的量子化能级的存在，同时还得出汞原子第一激发态与基态间的能量差为 4.9eV，为玻尔理论提供了直接而独立的实验证据。这一卓有成效的实验使他们荣获 1925 年诺贝尔物理奖。

原子吸收一定频率的光子后，能从一个定态跃迁到另一个定态。能级的跃迁必须满足公式：

$$h\nu = E_n - E_m \quad (1)$$

式中 h 为普朗克常数， ν 为辐射频率， E_n 、 E_m 为原子的能级。

原子状态的改变，也可以是原子与其它粒子发生碰撞而交换能量这种情况。夫兰克—赫兹实验就是利用原子与电子发生碰撞来实现原子状态改变的。只要加速电子使其能量 eU 等于 $(E_n - E_m)$ 并与原子碰撞，原子就能从能态 E_m 跃迁到玻尔理论 E_n 。

此时有： $eU = E_n - E_m \quad (2)$

若原子吸收由电子传递的能量 eU 从基态跃迁到第一激发态，则相应的 U 称为第一激发电位。夫兰克-赫兹实验原理如图 1 所示。在充氩的夫兰克—赫兹管中，电子由热阴极发出，阴极 K 和第二栅极 G₂ 之间的加速电压 U_{G_2K} 使电子加速。在板极 A 和第二栅极 G₂ 之间加有反向拒斥电压 U_{G_2A} 。管内空间电位分布如图 2 所示。当

电子通过 KG_2 空间进入 G_2A 空间时, 如果有较大的能量 ($\geq eU_{G_2A}$), 就能冲过反向拒斥电场而到达板极形成板极电流, 为微电流计 μA 表检出。如果电子在 KG_2 空间与氩原子碰撞, 把自己一部分能量传给氩原子而使后者激发的话, 电子本身所剩余的能量就很小, 以致通过第二栅极后已不足于克服拒斥电场而被折回到第二栅极, 这时, 通过微电流计 μA 表的电流将显著减小。

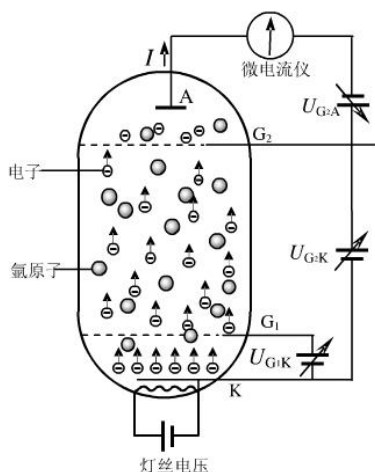


图 1 夫兰克赫兹实验原理图

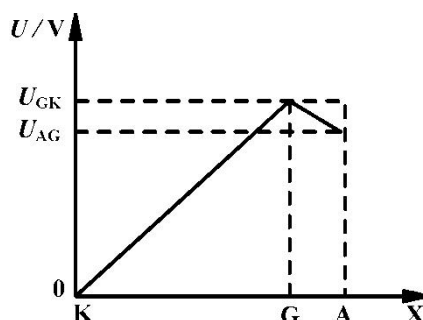
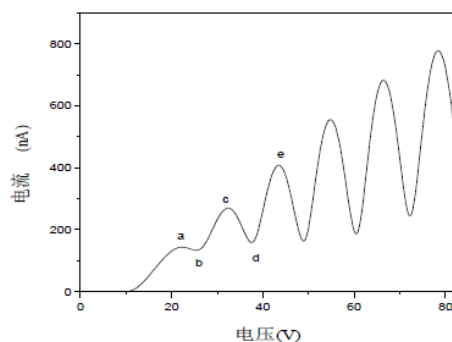


图 2 F-H 管内空间电位分布

图 3 所示的曲线反映了电子进入 KG_2 空间与氩原子进行能量交换的情况。当 KG_2 空间电压逐渐增加时, 电子在 KG_2 空间被加速而获得更大的能量。但起始阶段, 由于电压较低, 电子的能量较少, 即使在运动过程中它与原子相碰撞也属弹性碰撞只有微小的能量交换。穿过第二栅极的电子所形成的板极电流 I_A 将随第二栅极电压 U_{G_2K} 的增加而增大 (如图 3 的 $0a$ 段)。当 KG_2 间的电压达到氩原子的第一激发电位时, 电子在第二栅极附近与氩原子相碰撞, 将自己从加速电场中获得的全部能量交给后者, 并且使后者从基态激发到第一激发态。而电子本身由于把全部能量给了氩原子, 即使穿过了第二栅极也不能克服反向拒斥电场而被折回第二栅极。所以板极电流将显著减小 (图 3 所示 ab 段)。随着第二栅极电压的增加, 电子的能量也随之增加, 在与氩原子相碰撞后还留下足够的能量, 可以克服反向拒斥电场而达到板极 A , 这时电流又开始上升 (bc 段)。直到 KG_2 间电压是二倍氩原子的第一激发电位时, 电子在 KG_2 间又会因二次碰撞而失去能量, 因而又会造成第二次板极电流的下降 (cd 段)。以此类推当 KG_2 间电压达到氩原子第一激发电位整数倍时, 电流表检测出的电流都 I_A 都会下降, 形成规则起伏变化的 $I_A \sim U_{G_2K}$ 曲线。

图 3 夫兰克-赫兹管 I_A - V_{GK} 曲线

具体可参考《基础物理实验（沈韩主编）》中第 11 章 311 页。

【实验装置】

博洋光电的 BEX-8502（共 2 套）：实验电路连接请参考 BEX-8502 弗兰克-赫兹实验中文手册。

世纪中科的 ZKY-FH-2（共 10 套）：参考《基础物理实验（沈韩主编）》中第 11 章 313 页的内容。

注意：连线时务必注意，接错线路容易毁坏 F-H 管。

【实验内容和步骤】

1 基本操作

- 1) 开机初始化
- 2) 选择合适电流量程
- 3) 设置氩管工作电压

2 氩原子第一激发电位测量

- 1) 按照出厂参数逐点测量 I_A - V_{G2K} 关系曲线。
- 2) 重复测量

3 灯丝电压对 I_A - V_{G2K} 关系曲线的影响

4 两种品牌的 F-H 实验仪的数据采集方式不同。

2 套博洋光电的 BEX-8502 仪器，请结合自己记录手动调整输入电流，手动记录数据；

10 套世纪中科仪器的数据采集方法参考《ZKY-FH-2 弗兰克赫兹实验仪软件操作说明书》。

提示：本实验进行较快，鼓励教师检查数据无误后，当堂完成实验报告。

【思考题】

1 何为 F-H 的最佳工作点，实验中如何确定？

2 为什么其 $I(V)$ 曲线不是断崖式的下落? (2) 为什么电流不会下降为零?