

课程编号 1800450001

得分	教师签名	批改日期

# 深 圳 大 学 实 验 报 告

课程名称: 大学物理实验（二）

实验名称: 弗兰克-赫兹实验

学 院: 计算机与软件学院

指导教师: 高阳

报告人: 吴艇 组号: 19

学号 2020281061 实验地点 213

实验时间: 2021 年 11 月 10 日

提交时间: \_\_\_\_\_

## 一、实验目的

在原子物理的发展历程中，丹麦物理学家玻尔(Niels Henrik Da Vid Bohr, 1885—1962)在 1913 年发表了原子模型，并因此获得 1922 年度诺贝尔物理学奖。1914 年，弗兰克(James Franck, 1882—1964)和赫兹(Gustar Hertz, 1887—1975)在研究中发现电子与原子发生非弹性碰撞时能量的转移是量子化的。他们的精确测定表明，电子与汞原子碰撞时，电子损失的能量严格地保持 $4.9\text{ eV}$ ，即汞原子只接收 $4.9\text{ eV}$ 的能量。这个事实直接证明了汞原子具有玻尔所设想的那种“完全确定的、互相分立的能量状态”，是对玻尔的原子量子化模型的第一个决定性的证据。由于他们的工作对原子物理学的发展起了重要作用，曾共同获得 1925 年的诺贝尔物理学奖。

在本实验中，需要了解弗兰克—赫兹实验的原理和方法，测定氩原子的第一激发电位，验证原子能级的存在。

## 二、实验原理

### (一)玻尔的原子理论

玻尔的原子理论指出：

(1) 原子只能处于一些不连续的能量状态，即 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ 、...，处在这些状态的原子是稳定的，称为“定态”。其中 $E_1$ 叫基态， $E_2$ 、 $E_3$ 、...叫激发态。原子的能量不论通过什么方式发生改变，只能使原子从一个定态跃迁到另一个定态。

(2) 原子从一个定态跃迁到另一个定态时，它将发射或吸收一定频率的电磁波。如果用 $E_m$ 和 $E_n$ 分别代表原子的两个定态的能量，则发射或吸收辐射的频率由以下关系决定：

$$h\nu = E_m - E_n \quad (3-5-1)$$

式中 $h = 6.63 \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$ ，为普朗克常量。

### (二)弗兰克-赫兹实验的原理

原子在正常情况下处于基态，当原子吸收电磁波或受到其他有足够能量的粒子碰撞而交换能量时，可由基态跃迁到能量较高的激发态。从基态跃迁到第一激发态所需要的能量称为临界能量。原子从低能级向高能级跃迁，可以通过具有一定能量的电子与原子相碰撞进行能量交换来实现。本实验就是让电子在真空中与氩原子相碰撞。设氩原子的基态能量为 $E_1$ ，第一激发态的能量为 $E_2$ ，从基态跃迁到第一激发态所需的能量就是 $\Delta E = E_2 - E_1$ 。初速度为零的电子在电位差为 $V$ 的加速电场作用下具有能量 $eV$ ，若 $eV < E_2 - E_1$ ，则电子与氩原子只能发生弹性碰撞，二者之间几乎没有能量转移。当电子的能量 $eV \geq E_2 - E_1$ 时，电子与氩原子就会发生非弹性碰撞，氩原子将从电子的能量中吸收相当于 $E_2 - E_1$ 的那份能量，使电子从基态跃迁到第一激发态，而多余的部分仍留给电子。设使电子具有 $E_2 - E_1$ 能量所需加速电场的电位差为 $U_0$ ，则

$$eU_0 = E_2 - E_1 \quad (3-5-2)$$

式中 $U_0$ 为氩原子的第一激发电位，是本实验要测的物理量。

### (三)弗兰克-赫兹实验的方法

如图 3-5-1 所示，充氩气的 $F-H$ 管中，电子由热阴极发出，阴极 $K$ 和栅极 $G_1$ 之间的加速电压 $U_{G1}$ 使电子加速，在极板 $P$ 和栅极 $G_2$ 之间有减速电压（也叫拒斥电压） $U_P$ 。当电子 $G_2$ 通过栅极进入 $G_2P$ 空间时，如果剩余能量大于 $eU_P$ ，就能到达极板 $P$ ，即形成电流 $I_P$ 。电子在 $G_1G_2$ 空间与氩原子发生碰撞，电子把一部分能量给了氩原子，本身剩余的能量小于 $eU_P$ ，则电子不能到达极板 $P$ ，如果发生这样情况的电子很多，电流表中的电流将显著下降。

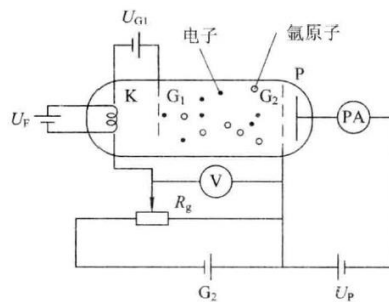


图 3-5-1 弗兰克-赫兹实验原理图

实验时，把 $U_{G2}$ 的电压逐渐增加，电子在 $G_1G_2$ 空间的电场作用下被加速而获得越来越大的能量。但在起始阶段。电压 $U_{G2}$ 较低，电子的能量较小，即使在运动过程中与氩原子相碰撞（为弹性碰撞），也只有微小的能量交换。这样，穿过第二栅极 $G_2$ 的电子所形成的电流 $I_P$ 随第二栅极电压 $U_{G2}$ 的增加而增大（见图 3-5-2 中 $oa$ 段）。当 $U_{G2}$ 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（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了氩原子，它即使穿过第二栅极，也不能克服反向拒斥电压 $U_P$ 而被折回第二栅极。所以电流 $I_P$ 将显著减小（见图 3-5-2 中 $ab$ 段）。氩原子在第一激发态不稳定，会跃迁回基态，同时以光子形式向外辐射能量。以后随着第二栅极电压 $U_{G2}$ 的增加，电子的能量也随之增加，与氩原子相碰撞后还留下足够的能量，这就可以克服拒斥电压 $U_P$ 的作用力而到达极板 P，这时电流又开始上升（见图 3-5-2 中 $bc$ 段），直到 $U_{G2}$ 是 2 倍氩原子的第一激发电位时，电子在 $G_1G_2$ 空间会因两次非弹性碰撞而失去能量，结果板极电流 $I_P$ 第二次下降（见图 3-5-2 中 $cd$ 段），这种能量转移随着加速电压的增加而呈周期性的变化。以 $U_{G2}$ 为横坐标.以板极电流 $I_P$ 为纵坐标就可以得到谱峰曲线，两相邻谷点（或峰尖）间的加速电压差值，即为氩原子的第一激发电位值。实验发现第一激发电位是个定值，这就证明了氩原子能量状态的不连续性。

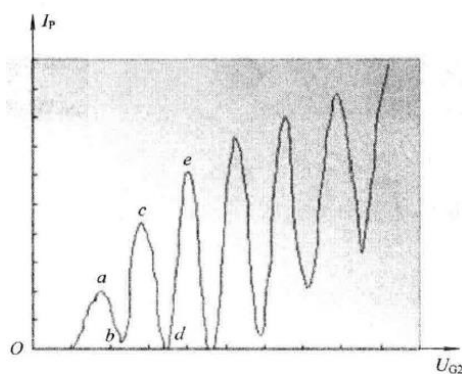


图 3-5-2 弗兰克-赫兹管的  $I_P - U_{G2}$  曲线

注意：第一栅极 $G_1$ 和阴极 $K$ 之间的加速电压 $U_{G1}$ 约为 1.5 V，用于消除阴极电压散射的影响。

### 三、实验仪器：

#### (一) 技术指标

##### 1. F-H 管用电源组

提供 F-H 管各电极所需的工作电源电压和性能如下所示。

- (1) 灯丝电源电压  $U_F$ ，直流，1.3~5V，连续可调。
- (2) 栅极  $G_1$ —阴极间电源电压  $U_{G1}$ ：直流，0~6V，连续可调。
- (3) 栅极  $G_2$ —阴极间电压电源  $U_{G2}$ ：直流，0~90V，连续可调。

##### 2. 扫描电源和微电流放大器

扫描电源提供可调直流电压或输出锯齿波电压作为 F-H 管电子加速电压。直流电压供手动测量，锯齿波电压供示波器、X-Y 记录仪和微机用。微电流放大器用来检测 F-H 管的板流  $I_P$ ，性能如下所示。

(1) 具有“手动”和“自动”两种扫描方式：“手动”输出 0~90V 直流电压，连续可调；“自动”输出 0~90V 锯齿波电压，扫描上限可以设定。

(2) 扫描速率分“快速”和“慢速”两挡：“快速”是周期约为 20 次/秒的锯齿波，供示波器和微机用；“慢速”是周期约为 0.5 次/秒的锯齿波，供 X-Y 记录仪用。

(3) 微电流放大器测量范围有 1nA，10nA，100nA，1μA 四挡。

#### (二) 面板及功能

FD-FH-I 弗兰克-赫兹仪的控制面板如图 3-5-3 所示。

- (1)  $I_P$  显示表头（表头示值×2）指示挡后为实际值；
- (2)  $I_P$  微电流放大器量程选择开关，分 1μA、100nA、10nA、1nA 四挡；

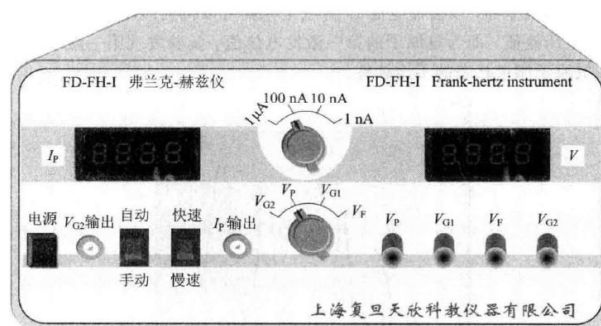


图 3-5-3 FD-FH-I 弗兰克-赫兹仪

- (3) 数字电压表头：可以分别显示  $U_F$ 、 $U_{G1}$ 、 $U_P$ 、 $U_{G2}$  值。其中  $U_{G2}$  值为数字式表头示值×10V；
- (4)  $U_{G2}$  电压调节旋钮；
- (5)  $U_P$  电压调节旋钮；
- (6)  $U_{G1}$  电压调节旋钮；
- (7)  $U_F$  电压调节旋钮；
- (8) 电压示值选择开关，可以分别选择  $U_F$ 、 $U_{G1}$ 、 $U_P$ 、 $U_{G2}$ ；
- (9)  $I_P$  输出端口，接示波器 Y 端，X-Y 记录仪 Y 端或者微机接口的电流输入端；
- (10)  $U_{G2}$  扫描速率选择开关，“快速”挡供接示波器观察  $I_P-U_{G2}$  曲线或微机用，“慢速”挡供 X-Y 记录仪用；
- (11)  $U_{G2}$  扫描方式选择开关，“自动”挡供示波器、X-Y 记录仪或微机用，“手动”挡供手测记录数使用；
- (12)  $U_{G2}$  输出端口，接示波器 X 端、X-Y 记录仪 X 端或微机接口电压输入端；
- (13) 电源开关。

### (三) 仪器操作说明

#### 1. 示波器演示法

(1) 连好主机的后面板电源线, 用  $Q9$  线将主机正面板上 “ $U_{G2}$  输出” 与示波器上的 “ $X$  相” (供外触发使用) 相连, “ $I_P$  输出” 与示波器 “ $Y$  相” 相连;

(2) 将扫描开关置于 “自动” 档, 扫描速度开关置于 “快速” 挡, 微电流放大器量程选择开关置于 “ $10nA$ ” 挡;

(3) 分别将示波器 “ $X$ ”、“ $Y$ ” 电压调节旋钮调至 “ $1V$ ” 和 “ $2V$ ”, “扫描周期” 旋钮调至 “ $x-y$ ”, “交直流” 全部打到 “ $DC$ ”;

(4) 分别开启主机和示波器电源开关, 稍等片刻;

(5) 分别调节  $U_{G1}$ 、 $U_P$ 、 $U_F$  (可以先参考给出值) 至合适值, 将  $U_{G2}$  由小慢慢调大 (以  $F-H$  管不击穿为界), 直至示波器上呈现充氩管稳定的  $I_P-U_{G2}$  曲线。

#### 2. 手动测量法

(1) 调节  $U_{G2}$  至最小, 扫描开关置于 “手动” 挡, 打开主机电源。

(2) 选取合适的实验条件, 分别调节  $U_{G1}$ 、 $U_P$ 、 $U_F$  至合适值 (可以先参考给出值), 以手动方式逐渐增大  $U_{G2}$ , 同时观察  $I_P$  的变化。适当调整预置  $U_{G1}$ 、 $U_P$ 、 $U_F$  值, 使  $U_{G2}$  由小到大能够出现 5 个以上峰。

(3) 选取合适实验点, 分别从数字式表头上读取  $I_P$  和  $U_{G2}$  值, 再作图可得  $I_P-U_{G2}$  曲线, 注意示值和实际值的关系。

例  $I_P$  表头示值为 “3.23”, 电流量程选择 “ $10nA$ ” 挡, 则实际测量  $I_P$  电流值应该为 “ $32.3nA$ ”;  $U_{G2}$  表头示值为 “6.35”, 实际值为 “63.5V”。

#### (四) 仪器使用注意事项

(1) 仪器应该检查无误后才能接电源, 开、关电源前应先各电位器逆时针旋转至最小值位置。

(2) 灯丝电压  $U_F$  不宜放得过大, 一般在 3V 左右, 如电流偏小再适当增加。

(3) 要防止  $F-H$  管被击穿 (电流急剧增大), 如发生击穿应立即调低  $U_{G2}$  以免  $F-H$  管受损。

(4)  $F-H$  管为玻璃制品, 不耐冲击, 应重点保护。

(5) 实验完毕, 应将各电位器逆时针旋转至最小值位置。

### 四、实验内容:

手绘或使用记录仪测氩的  $I_P-U_{G2}$  曲线, 并观察原子能量量子化情况, 由此求出氩 (Ar) 原子的第一激发电位。

实验要求有以下几点。

(1) 实验条件:  $U_F$  为 3 V 左右,  $U_{G1}$  以为 1 V 左右,  $U_P$  为 8 V 左右 (每台仪器有所差别, 仪器外壳上有给出的参考值)。用手动方式改变  $U_{G2}$ , 同时观察微电流计上的  $I_P$  随  $U_{G2}$  的变化情况。如果增加  $U_{G2}$  时电流迅速增加, 则表明  $F-H$  管产生击穿, 此时应立即降低  $U_{G2}$ 。如果希望有较大的击穿电压, 可以通过降低灯丝电压来达到。

(2) 适当调整实验条件, 使微电流计能出现 5 个峰以上, 波峰波谷明显。

(3) 选取合适的实验点记录数据, 使之能完整真实地绘出  $I_P-U_{G2}$  线或用记录仪记下  $I_P-U_{G2}$  曲线。

(4) 处理  $I_P-U_{G2}$  曲线, 求出氩的第一激发电位。

(5) 降低或增加灯丝电压, 观察  $I_P-U_{G2}$  曲线的变化, 记录第一峰和最末峰的位置, 大概推断灯丝电压对曲线的影响。

## 五、数据记录：

组号： 19 ； 姓名 吴艇

灯丝电压：  $3.2V$        $V_{G1K} = 1.5V$        $V_{G2A} = 7V$        $V_{G2K} = 82V$

$V_{G2K}(V)$	$I_A(nA)$	$V_{G2K}(V)$	$I_A(nA)$	$V_{G2K}(V)$	$I_A(nA)$	$V_{G2K}(V)$	$I_A(nA)$
0		20		40		60	
1		21		41		61	
2		22		42		62	
3		23		43		63	
4		24		44		64	
5		25		45		65	
6		26		46		66	
7		27		47		67	
8		28		48		68	
9		29		49		69	
10		30		50		70	
11		31		51		71	
12		32		52		72	
13		33		53		73	
14		34		54		74	
15		35		55		75	
16		36		56		76	
17		37		57		77	
18		38		58		78	
19		39		59		79	

波峰波谷位置

波峰一	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波谷一	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波峰二	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波谷二	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波峰三	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波谷三	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波峰四	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波谷四	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波峰五	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波谷五	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					
波峰六	$V_{G2K}(V)$					
	$I_A(nA)$					