

夫兰克-赫兹实验中 Hg 的 第一激发电位的测量

个人计算机在近代物理实验中的应用

潘玉莲 王 煜 潘振元

(复旦大学物理系 上海 200433)

一、原理和装置

夫兰克-赫兹实验利用低能电子和汞蒸气原子的非弹性碰撞证实原子能级的量子化。当电子具有的动能为二个能级的能量差，且低能级有足够的原子布居时，就有较大的几率发生共振吸收，即电子将其动能传给汞原子，使汞原子激发至较高能级，电子则失去动能不能到达收集极而产生吸收信号。测量汞的第一激发能时采用的装置如图 1 所示。

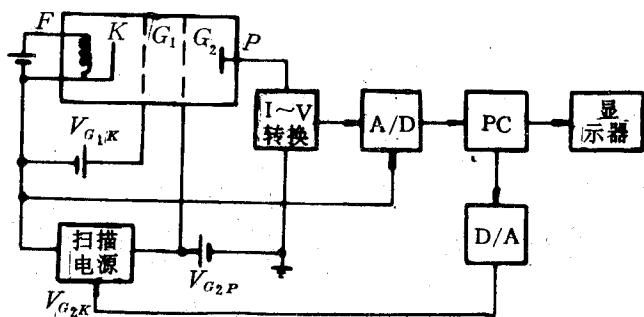


图 1 测量第一激发能的装置示意图

装置中 V_{G1K} 用以消除空间电荷对阴极发射的影响； V_{G2P} 为一反向电压，使能量较低的电子无法到达收集极 P； V_{G2K} 为由微机控制的扫描电压，电压变化由 A/D 一通道送入微机，或者直接由监控用数字电压表读出；收集极 P 上电流 I 的变化则由另一 A/D 通道送入微

• 154 •

机，或者由微电流计示值。由于实验中使用汞的蒸汽密度较高，电子的加速区和碰撞区合一，和汞原子发生非弹性碰撞而失去能量的电子可以在电场中加速又获得相当于第一激发能的能量再次发生共振吸收，如此反复…，因此随着加速电压由小变大产生多个 6^3P_1 激发峰的吸收曲线——I ~ V 曲线。见图 2。

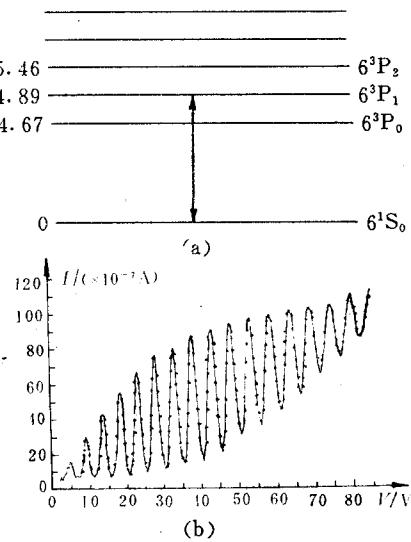


图 2 汞的 6^3P_1 能级(a)和它的多个激发峰(b)

二、第一激发电位的测量

1. 实验条件

先在手动档调节 V_F 、 V_{G1K} 、 V_{G2K} 和 V_{G2P} ，

物理实验 第 15 卷第 4 期

V_{G2P} 以不使实验管电离为限, 调整软件控制扫描电压和手动档 V_{G2K} 值相一致, 然后在微机档实验。用微机控制采集 V 和 I 数据, 实时屏幕显示, 反复调节各组电源输出, 微机可迅速给出优化组合得到的 $I \sim V$ 曲线。较为理想的吸收谱一般都具有峰多、峰形锐利的特征, 这有利于第一激发能的测量, 因为相邻两峰间隔相应于 6^3P_1 的能级和基态 6^1S_0 能级的能量差。图 2(b) $I \sim V$ 曲线的实验条件为: 炉温 $T = 190^\circ\text{C}$, $V_F = 2.7\text{V}$, $V_{G1K} = 1.2\text{V}$, $V_{G2P} = 1.2\text{V}$ 。

将 F-H 实验管置于 180°C 恒温炉中, 当 V_{G2P} 为 1V 时, V_{G1K} 为 1.5V , 而 V_E 为 2V 时, 一般就能得到十个以上的吸收峰。对阴极发射性能特别好的实验管灯丝电压 V_F 还可适当降低。

2. $I \sim V$ 曲线和第一激发能的测量

从获得的 $I \sim V$ 曲线可见: 峰点和谷点可以分别连成两根不同形状的包络线。峰包络先是迅速上升然后平缓变大; 谷包络则是先平缓变大后迅速上升。峰谷间的幅度是先增大后收缩, 间隔变化开始不明显, 随着扫描电压增加相邻间隔的增大明显起来。

峰值点渐升认为是由于 F-H 实验管有大致类似于理想二极管的发射特性以及氧化物阴极的发射特性所致; 图 3 给出了实验管在室温时[其它实验条件和图 2(b) 相同] 收集极电流 I 和扫描电压 V_{G2K} ($0 \sim 30\text{V}$) 的关系曲线。汞的第一激发能 $I \sim V$ 曲线峰峰值包络线还基本保持了它的轮廓。谷谷值包络线, 我们称之为第一激发能多重激发的本底曲线, 实验证明它的形状除受管子结构影响外, 还强烈依赖各极电源的施加值和控温炉的温度, 炉温愈低, 灯丝电压愈大本底曲线上升就愈快。

在测量汞第一激发能的实验中, 实验条件的设置有利于汞 6^3P_1 能级的激发, 因此在整个电压扫描过程中, 第一激发能级的激发占主导地位, 这正是 $I \sim V$ 曲线周期变化的

原因。而其它效应将组成本底电流干扰它的周期性。例如, 随着扫描电压增加, 部分电子积累了高的能量致使汞原子电离, 使收集极电流增大, 并随着



图 3 F-H 实验管在室温下的 $I \sim V_{G2K}$ 曲线

扫描电压的进一步增大, 大能量电子数增多, 电离的汞原子增多, 收集极电流也进一步增大; 一些未参与非弹性碰撞的电子直接到达收集极; 处于激发态的汞原子以辐射光子形式退激, 会因光电效应打出收集极电子, 这个效应又将使收集极电子流减少…。如果我们设定汞 6^3P_1 多重激发周期变化为 $y_1 = \sin x$, 本底曲线为 $y_2 = bx^m + c$ 则整体曲线为

$$y = y_1 + y_2 = \sin x + bx^m + c$$

极值点将在

$$\frac{dy}{dx} = \cos x + mbx^{m-1} = 0$$

处出现, 不同位置的极值点间隔不再具有周期性, 当 x 足够大时极值消失。

在各种实验条件下得到的 $I \sim V$ 曲线, 一般都可以 $y_2 = bx^m + c$ 方程来拟合本底曲线。由于本底的存在, 如果我们取全部峰(或谷)求得的汞第一激发能都会比理论值大很多。较合理的处理方法为先将 $I \sim V$ 曲线扣除本底, 然后用最小二乘方统计拟合, 然而传统的实验难以进行这方面的工作。

三、用微机进行数据处理

用微机进行夫兰克-赫兹实验不但能迅速获得理想的 $I \sim V$ 曲线, 而且能对数据进行综合处理, 得出较合理、准确的结果。

我们用计算机处理汞第一激发能 E_1 框图如图 4。

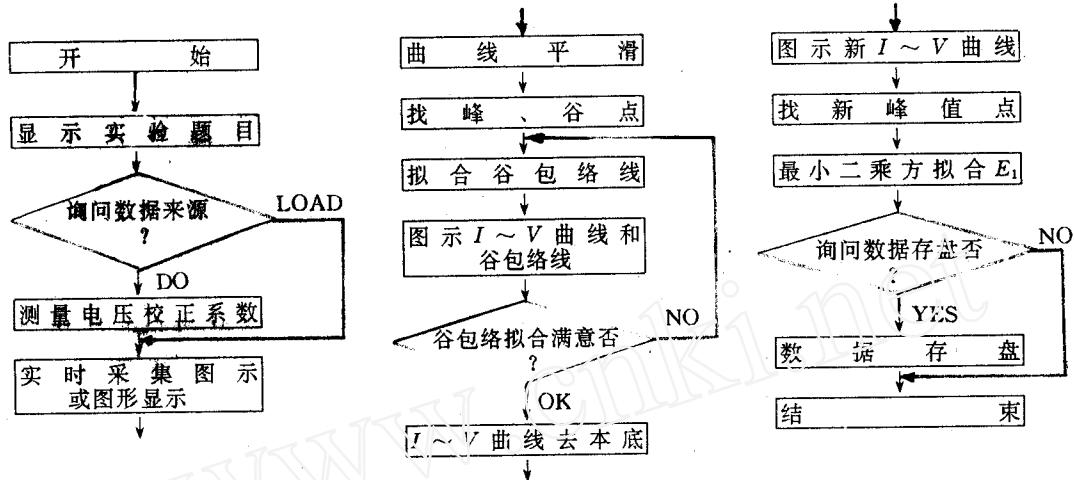


图 4 计算机处理框图

我们将采集到的数据进行平滑, 找出峰、谷值, 然后对各点进行曲线拟合得本底曲线, 再将 $I \sim V$ 曲线去本底, 去除本底后新的峰(谷)显示了好的周期性.

图 2 $I \sim V$ 曲线谷点处理得到的本底曲线如图 5, 本底曲线方程为^①

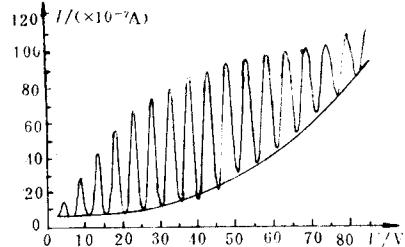


图 5 $I \sim V$ 曲线和它的本底曲线

$$y_2 = 0.000667x^{2.649} + 6.73$$

拟合相关系数 $r = 0.998$, 剩余标准离差 $s = 1.42 (n=16)$. 去除本底后的 $I \sim V$ 曲线如图 6.

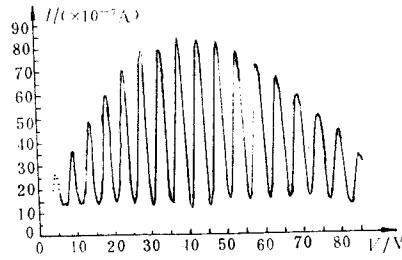


图 6 去除本底后的 $I \sim V$ 曲线

将相邻峰峰(或谷谷)间隔电压值进行最小二乘方拟合, 拟合方程为

$$V_n = \Delta V + nE_1$$

E_1 的拟合结果为

$$E_1 = 4.91 \pm 1.753 \times 0.05 \text{ V} \quad (90\%)$$

拟合相关系数 $r = 0.999 (n=17)$, 1.753 为 17 个峰拟合置信度为 90% 的 t 分布值. 实验结果和理论值 $E_1^* = 4.89 \text{ V}$ 在误差范围内相符.

(1995 年 2 月 28 日收稿)

^① 此处 x 和 y_2 为 A/D 量, 和真实的电流电压值相差一比例常数.