

文章编号:1671 - 6590(2005)01 - 0077 - 04

影响 F - H 实验曲线的主要因素

陈海波,胡素梅*

(茂名学院计算机与电子信息学院,广东 茂名 525000)

摘要: F - H 实验是近代物理中对物理学有深远意义的实验之一。本文研究了夫兰克 - 赫兹实验中对 $I_A - V_{GK}$ 曲线影响的主要因素,得出了这些因素变化时实验曲线变化的规律,并解析了实验曲线变化的原因,得到了测量汞原子的第一激发电位的最佳条件。

关键词: 夫兰克 - 赫兹实验; $I_A - V_{GK}$ 曲线; 第一激发电位

中图分类号: TL375

文献标识码: A

目前关于夫兰克 - 赫兹实验的研究已引起人们的普遍关注^[1-3],现在各高校都开设了夫兰克 - 赫兹实验以让学生进一步加深对能量量子化的理解,但由于实验因素的复杂性,实验中影响 $I_A - V_{GK}$ 曲线的主要因素及其原因至今还未深入探讨,本文希望通过探讨影响夫兰克 - 赫兹实验的主要因素及原因,得出测量汞原子第一激发电位的最佳条件。

1 实验原理

玻尔的原子理论指出,原子只能较长久地停留在一些稳定状态(即稳态)。原子的每一状态具有一定的能量,称能级。各能级的能量值彼此分立,原子能量不论通过什么方式发生改变时,只能使原子从一个状态跃迁到另一个状态(一个能级跃迁到另一个能级)。原子从一个状态跃迁到另一个状态时发射或吸收的能量是一定的。若用 E_1 和 E_2 表示两个状态的能量,则发射和吸收的辐射光子频率由下式决定:

$$h \nu = E_2 - E_1$$

式中, h 为普朗克常数,1986 年推荐值为 $h = (6.6260755 \pm 0.0000040) \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

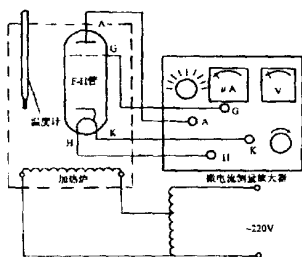


图 1 实验原理图

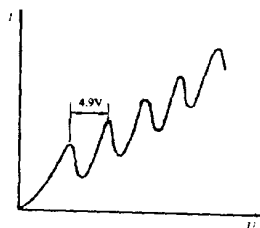


图 2 $I_A - U_{GK}$ 的特性曲线

* 收稿日期:2004 - 10 - 30;修回日期:2005 - 01 - 08
作者简介:陈海波(1977 -),男,湖南隆回人,本科。

实验装置如图 1 所示,它的核心是夫兰克—赫兹管(简称 F-H 管)。在密封的玻璃管内充有汞或其他惰性气体(如氩、氖等)。灯丝通电后炽热,使旁热式阴极 K 受热而发射电子。在阴极 K 和栅极 G 之间施加一加速电压 U_{GK} ,电子在 U_{GK} 的加速下,以动能 eU_{GK} 穿过栅极 G 而飞向板极 A。在 G 与 A 之间加一减速电压 U_{AG} ,形成一个减速电场。在穿越 G 的电子中,只有能量大于 eU_{AG} 的电子才能达到板极 A 而形成板极电流 I_A 。板流 I_A 用微电流测试仪测量。在保持 U_{AG} 不变的情况下,改变加速电压 U_{GK} 的大小,测出相应的板流 I_A ,将得到如图 2 所示的 $I_A - U_{GK}$ 的特性曲线。

当加速电压 U_{GK} 从零开始增大时,板流 I_A 随之增大,当 U_{GK} 增大到汞原子的第一激发电位时, I_A 转为下降,说明电子与汞原子发生了第一次非弹性碰撞。加速电压 U_{GK} 继续增大,板流 I_A 又逐渐回升,当 U_{GK} 增大到 $2U_0$ 时, I_A 又转为下降,说明电子与汞原子发生了第二次非弹性碰撞。同样的道理,随着加速电压 U_{GK} 的继续增大,电子会在栅极 G 附近与汞原子发生第三次、第四次、……非弹性碰撞,从而引起板流 I_A 的相应下跌。可见,凡满足加速电压 $U_{GK} = nU_0$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) 时,板流 I_A 都会相应下跌,形成规则起伏的 $I_A - U_{GK}$ 特性曲线,而与相邻两板流极大值(或极小值)所对应的加速电压的差值就是汞原子的第一激发电位 U_0 ,它的公认值为 4.90V。

2 实验方法

以汞气为被测气体,采用 FH-1A 型夫兰克—赫兹实验仪,用微电流测量放大器测量 I_A 和 V_{GK} ,改变炉温和灯丝电压得出不同条件下的 $I_A - V_{GK}$ 曲线。

3 实验结果与讨论

3.1 合适的灯丝电压下、炉温对实验曲线的影响

图 3 是固定灯丝电压为 6.2V 和反向拒斥电压为 -3V,不同炉温下测得的实验数据得出的曲线,由图 3 可见,随着炉温的增加,实验曲线向下移,这是因为汞的饱和蒸气压 P 与炉温有关,二者的关系是^[4]:

$$\lg P = \frac{-3200}{T} + 10.125 \quad (1)$$

从该式不难看出,汞的饱和蒸气压随着炉温的升高而急剧上升,单位体积内汞原子数目也增大,即汞气原子数密度增大,根据气体分子运动论,气体分子的平均碰撞频率与分子数密度成正比,当汞气原子数密度增大时,电子与汞气原子碰撞的概率也增大,在灯丝电压等其它条件相同的情况下,单位时间内与汞蒸气碰撞的电子数目也增大,电子与汞原子发生非弹性碰撞使其跃迁到第一激发态的概率也增大,从而使单位时间内到达极板 A 的电子数目减少,即极板电流 I_A 减少以至实验曲线向下移的现象。

为了清晰可见,把图 3 对应的不同炉温下的 $I_A - V_{GK}$ 曲线的第一峰放大如图 4 所示,由图可见,随着炉温的增加,第一峰位向右移,这是因为电子与汞原子二者的质量相差很大,可以认为二者碰撞时,汞原子不动,在弹性碰撞过程中,电子仅改变其运动方向。由气体运动论可知,电子在气体中运动的平均自由程为^[4]

$$= \frac{KT}{R^2 P} \quad (2)$$

其中 R 为汞原子的半径, P 为汞的饱和蒸气压,把(1)式代入(2)式得:

$$\lg = \lg T + \frac{3200}{T} - 21 \lg R - 13.842 \quad (3)$$

从(3)式可以看出,炉温对电子的平均自由程影响极大,随着炉温的升高,电子的平均自由程显著减少,电子在一个自由程中从电场获得能量,因此,电子在一个自由程中可获得的能量随着平均自由程的减小而减小,电子因频繁的弹性碰撞,使激发气体原子的能力减弱,只有在加速电场中获得较高的能量才能使汞原子激发,因此所需的加速电压较大,从而导致实验曲线中第一峰位向右移。

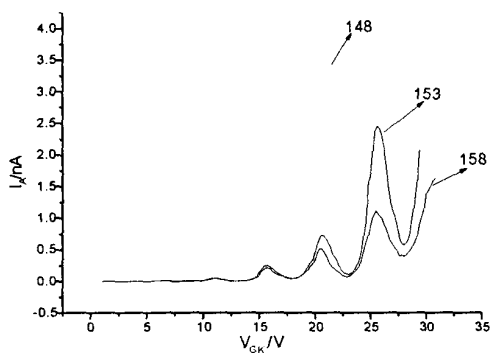


图 3 炉温对 IA - VGK 曲线的影响

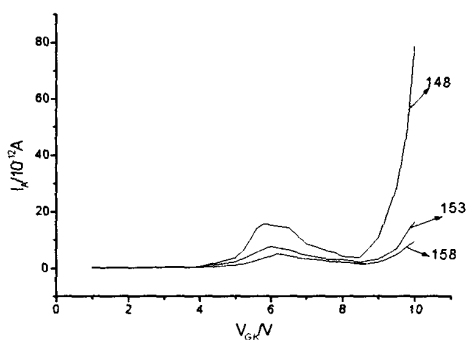


图 4 不同炉温下第一峰的放大图

表 1 是图 3 各曲线所对应不同炉温的峰位实验数据表及对应计算出汞的第一激发电位,从该表可以看出,炉温为 153 时与公认值最接近,因此,炉温选择 153 最佳。

表 1 相同灯丝电压、不同炉温的峰位实验数据表

峰位	炉 温					
	148		153		158	
	IA/nA	VGK/V	IA/nA	VGK/V	IA/nA	VGK/V
1	0.0092	5.8	0.0039	6.0	0.0026	6.2
2	0.132	10.8	0.0258	10.8	0.0235	11.0
3	0.61	16.0	0.126	15.8	0.105	15.6
4	1.92	20.8	0.364	20.6	0.260	20.6
第一激发电位	5.00V		4.87V		4.80V	

3.2 合适的炉温下,灯丝电压对实验曲线的影响

图 5 是保持炉温为 153 和反向拒斥电压为 -3V 时,改变灯丝电压的实验曲线,由图可见,随着灯丝电压减小,实验曲线向下移,这是因为灯丝电压的高低确定了阴极的工作温度,按照热电子发射的规律,影响阴极热电子的发射能力。如果灯丝电压低了,如图 5 中的 3.6V,灯丝电压所对应的 IA - VGK 曲线,既不理想,分辨率也低,因此,按照此曲线所求得汞原子的第一激发电位与其公认值 4.9V 误差就大,这是因为灯丝电压低,致使阴极的热电子发射能力减小,这不但不能使电子与汞原子在碰撞区保持一定的碰撞几率,而且使板极 A 所检测到的电流 IA 大大减少,使检测带来困难,从而致使 IA - VGK 曲线的分辨率下降,灯丝电压升高时,IA 的分辨率虽然提高了,但相邻峰值的差值都减小了,说明仍然没有使电子与汞原子在碰撞区保持一定的碰撞几率。因为灯丝电压高,致使阴极的热电子发射能力增大,同时电子的初速增大,引起逃逸电子增大所致。所以在实验中应选取合适的灯丝电压。

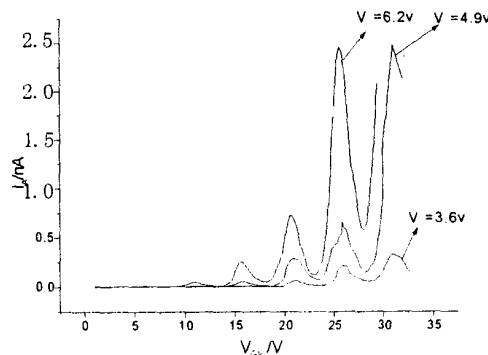


图 5 灯丝电压对 IA - VGK 曲线的影响

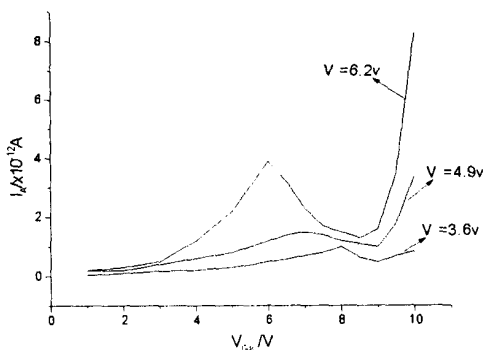


图 6 不同灯丝电压下第一峰的放大图

为了清晰可见,把图 5 对应的不同灯丝电压下的 $I_A - V_{GK}$ 曲线的第一峰放大如图 6 所示,由图可见,随着灯丝电压增大,第一峰位向左移。这是因为当灯丝电压增大,灯丝的温度升高,灯丝所发射热电子的平均动能增大,在较小加速电压下电子就能获得足够大的能量使汞原子激发到第一激发态。因此,所需的加速电压值减小,曲线的第一峰位向左移。

表 2 是图 2 各曲线所对应的不同的灯丝电压的峰位实验数据表及对于计算出的汞的第一激发电位。从该表可以看出,灯丝电压为 6.2V 与公认值 4.9V 最接近,因此,灯丝电压选择 6.2V 最佳。

表 2 相同炉温、不同灯丝电压的峰位实验数据表

峰位	灯丝电压					
	3.6V		4.9V		6.2V	
	I_A/nA	V_{GK}/V	I_A/nA	V_{GK}/V	I_A/nA	V_{GK}/V
1	0.00072	8.0	0.00075	7.0	0.0039	6.0
2	0.0011	11.5	0.005	11.0	0.0258	10.8
3	0.0045	16.2	0.0269	16.0	0.126	15.8
4	0.031	21.2	0.144	20.9	0.364	20.6
5	0.106	26.0	0.33	25.9	1.23	25.5
第一激发电位	4.50V		4.80V		4.87V	

4 结论

从上面夫兰克 - 赫兹实验现象的分析可知,用夫兰克 - 赫兹管测量汞的第一激发电位时,炉温和灯丝电压是影响实验曲线的主要因素(针对目前实验室的仪器,温度在 153 最佳,灯丝电压在 6.2V 最佳)。当然每一个夫兰克 - 赫兹管的结构和参数有差异,炉温和灯丝电压的选取只有通过实验来确定,这样才能保证在实验中得到精确度较高的实验结果。

[参考文献]

- [1] 侯春,朱雯兰,梅振林. 夫兰克 - 赫兹实验装置的优缺点比较与改进[J]. 大学物理实验,2004,17(1): 61.
- [2] 宋文福,冯正南,朱力. 夫兰克 - 赫兹实验的研究[J]. 大学物理实验,2004,17(2): 34.
- [3] 高向明. FH-1A 型夫兰克 - 赫兹实验仪的改进[J]. 重庆师范学院学报,2000,17(4): 94.
- [4] 戴乐山,戴道宣. 近代物理实验[M]. 上海:复旦大学出版社,1995.

The Main Factors Affecting Flank - Hertz Experiment Curves

CHEN Hai - bo , HU Su - mei

(Maoming College , Maoming , 525000 , China)

Abstract: F - H experiment is one of the important experiments in modern physics. In this paper , the main factors affecting $I_A - V_{GK}$ curves of Flank - Hertz experiment are studied. The transform regularity of the curve affected by the factors is presented , and the analysis is given to the experiment curves. The best condition of measuring the first stimulated voltage of the Hg atom in the laboratory is thus acquired.

Key Words: Flank - Hertz experiment ; $I_A - V_{GK}$ curves ; the first stimulated voltage