

夫兰克—赫兹实验曲线的影响因素及分析

0457040 材料物理 邱翔

摘要: 主要介绍了在夫兰克—赫兹实验中炉温、灯丝电压等因素对 I_p-V_{G2K} 曲线的影响, 得出了这些因素变化时实验曲线的变化规律, 并分析出现这种变化的原因。

关键词: 夫兰克—赫兹实验, 炉温, 灯丝电压

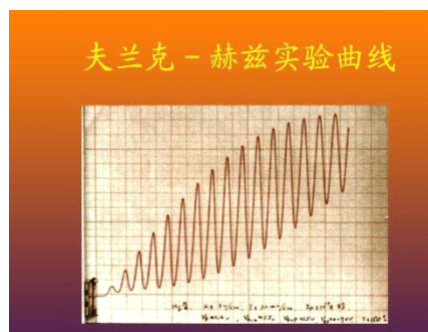
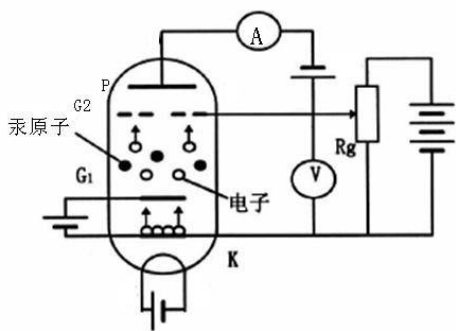
An Analysis of The Aspects Affecting the Curve in Franck - Hertz Experiment

Abstract: In this paper, several factors affecting the I_p-V_{G2K} curve are introduced. The transform regularity of the curve affected by above-mentioned factors is presented, and the reason for the changes is analyzed.

Keywords: Franck-Hertz experiment, furnace temperature, filament voltage

1 实验原理及装置

夫兰克—赫兹实验测量 Hg 第一激发能的实验装置如图一。图中夫兰克—赫兹管中充入待测的气体汞蒸气, 由于热阴极 K 发射电子, 发射出来的电子在加速的过程中和 Hg 蒸气的原子发生碰撞, 当加速电压比较小的时候, 电子和原子只能发生弹性碰撞, 当电压值达到或者超过 Hg 原子的第一激发电位时, 电子和原子发生非弹性碰撞, 电子碰撞损失的能量传递给 Hg 气体原子, 使其激发到第一激发态, 这时电子剩下的能量比较小, 通过 G_2 后能量较低的电子不能到达板极, 这样得到的板极电流 I_p 会随加速电压 V_{G2K} 的变化而呈现出规律性的变化, 如图二中所示。



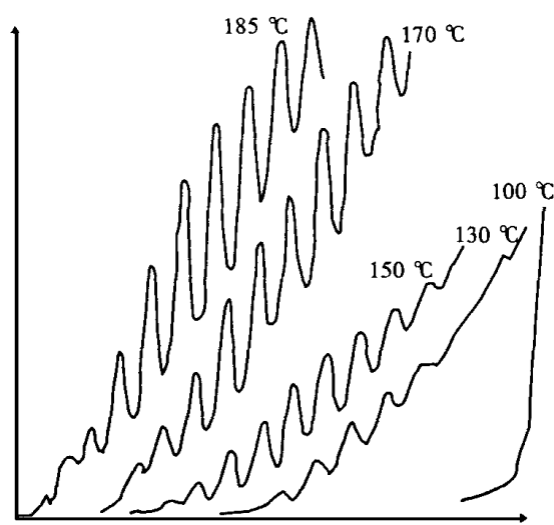
图一 测量 Hg 第一激发能原理示意图

图二 Hg 第一激发能态曲线 I_p-V_{G2K}

2 影响 I_P-V_{G2K} 曲线的因素及分析

I 炉温的变化对曲线的影响

保持灯丝电压 V_F 以及 V_{G1K} 、 V_{G2P} 等其他因素不变，改变炉温 T 来测量 Hg 原子第一激发能， I_P-V_{G2K} 所得到的曲线如下图(横坐标为 V_{G2K} ，纵坐标为 I_P):



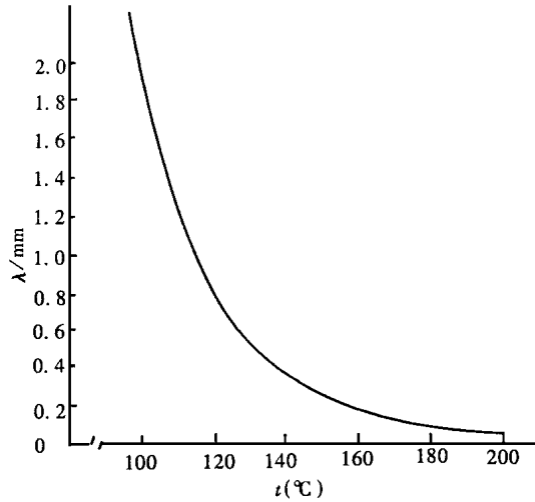
显然在上图中可以发现，炉温在 130°C 以上才可以得到比较好的 I_P-V_{G2K} 曲线，并且伴随着炉温的上升，曲线整体向下移动，曲线的第一个峰位向右方移动，并且峰间距逐渐减小。

从气体分子运动的理论可知，气体分子之间碰撞的频率和气体分子的平均运动速率以及气体分子的密度成正比。当炉温升高的时候，Hg 蒸气的蒸气压升高，这样单位体积内的 Hg 蒸气原子数目也增多，即 Hg 蒸气原子的密度增大，从而使电子与 Hg 蒸气原子碰撞的几率增大，在灯丝电压 V_F 以及 V_{G1K} 、 V_{G2P} 等其他条件不变的条件下，单位时间内与 Hg 蒸气碰撞的电子数增多，电子与 Hg 原子发生非弹性碰撞从而使其跃迁到第一激发态的几率也增大。单位时间内能够到达板极的电子数目减少，也就是把板极电流 I_P 减小，从而所测得的实验曲线随着炉温的升高而整体向下移动。

根据气体分子运动论可知，电子在气体中运动的平均自由程为： $\lambda = KT / \pi R^2 P$ ，其中 $K = 1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$ ，为玻尔兹曼常数， T 为汞蒸气的绝对温度（实验中即为炉温）， R 为汞原子的半径（取为 $1.49 \times 10^{-10} \text{m}$ ）， P 为汞的饱和蒸气压；同时我们又知道汞的饱和蒸气压 P 和炉温的关系为： $\lg P = (-3200/T) + 10.125$ ，根据上面两式，可求出 T 和对应的 λ ：

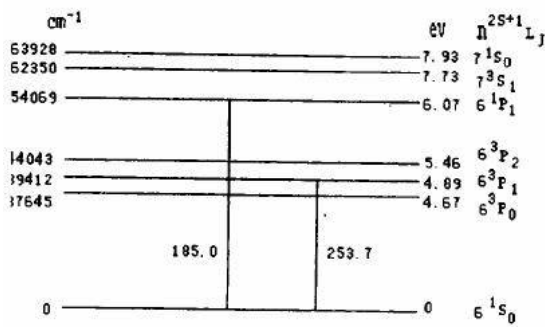
T/°C	100	130	150	180	200
P/Pa	35.429	153.995	365.317	1156.966	2300.473
λ /mm	2.084	0.518	0.229	0.0775	0.0407

因此我们作出电子平均自由程和炉温之间的关系曲线，如下图^[1]：



当加速电压比较小时，电子在加速场中所获得的能量小于汞原子的第一激发能，二者只能发生弹性碰撞，电子在加速场中所获得的能量必须大于经历一次弹性碰撞所损失的能量，这样电子就有可能集聚齐足够的能量去激发汞原子。当炉温升高的时候，由上图可知电子的平均自由程减小，电子的一个自由程中所获得的能量就会减小，这时电子激发汞原子的能力减弱，因此只有在较高的加速电压下，电子才可能获得足够的能量来激发汞原子，所以实验曲线中的第一个峰位随着炉温的升高而向右移动。但是当炉温过高时，由于电子的弹性碰撞很多，弹性碰撞损失了很多能量，虽然 V_{G2K} 到达一定的数值，电子仍然不能进行有效的能量交换，从而导致第一个峰位消失。

从图中发现当温度较低时，实验曲线的平均峰间距较宽(电压差值)，甚至超出了第一激发电势的理论值(4.89 V)，而且随着温度的升高，峰间距逐渐变小。从理论

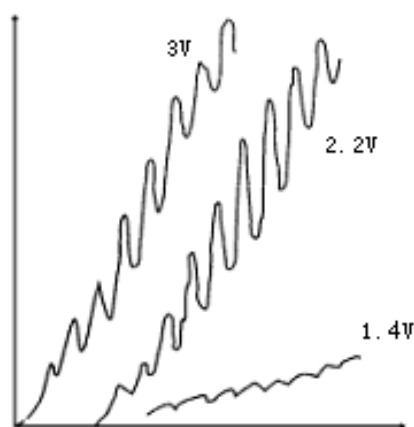


上讲，对于单一的激发态，这种现象是不可能的，但因汞原子的原子序数为 80，原子结构最外层有两个价电子，其基态为 6^1S_0 ，最低的激发态是三重态 $6^3P_{2,1,0}$ 。在夫兰克—赫兹实验中，汞原子由非弹性碰撞引起的能级跃迁不受选择定则的限制，可以从基态分别跃迁到 $3P_0$ ， $3P_1$ ，和 $3P_2$ 能态，所对应的激发能量阈值分别是 4.67 eV，4.89 eV 和 5.46 eV，汞原子能级如左图。

当温度偏低,汞原子的饱和密度很小,电子与汞原子的碰撞机会很少,弹性碰撞损失的能量很小.此时电子的平均自由程较大,在每个自由程中,电子积聚较大的能量,当一部分电子的能量能够使原子跃迁到 3P_2 能态时($> 5.46\text{ eV}$), 3P_2 态的激发几率增大,此时原子的平均激发能增大,两次有效激发之间的平均电势差值增大,即峰间距变宽.随着温度的升高,电子的平均自由程变短,使得电子积聚能量减小,原子的 3P_1 态的激发几率增加,经测量,温度在 180°C 附近时,峰间距约在 4.9V 左右,与汞原子的 $3P_1$ 态激发电势理论值吻合得较好.当温度继续增大时,汞原子的饱和密度较大,电子与汞原子的弹性碰撞损失的能量也较大,平均自由程又小,使 3P_1 态的激发几率下降,而 3P_0 态的激发几率增加,此时,原子的平均激发能减小,两次有效激发之间的平均电压差值变小,即峰间距变小,但是从理论上讲,峰间距不应小于 4.67 V .^[2]

II 灯丝电压变化对曲线的影响

保持炉温 T 以及 V_{G1K} 、 V_{G2P} 等其他因素不变,改变灯丝电压来测量 Hg 原子第一激发能, $I_p - V_{G2K}$ 所得到的曲线如下图(横坐标为 V_{G2K} , 纵坐标为 I_p):



从图中可以发现,当灯丝电压升高的时候,所得到的 $I_p - V_{G2K}$ 曲线整体向上移动,同时第一峰位向左移动。

曲线会随着灯丝电压的升高而向上移动的原因是:当灯丝的电压升高时,灯丝的温度会相应的升高,这样单位时间内阴极发射的电子数目增多,同时热阴极发射的电子平均初动能也增加,从而使单位时间内能够到达板极的电子增多,即板流 I_p 也会增大,从而使所得到的 $I_p - V_{G2K}$ 曲线整体向上移动。但同时我们应该注意的是,灯丝电压并不是越高越好,灯丝电压过高会使阴极温度高,致使阴极发射物质因为蒸发太快而容易剥落,管子容易老化而使寿命减短,所以我们必须选择好合适的灯丝电压。

当灯丝电压增大时,阴极温度会升高,热阴极发射的电子平均初动能增大,从而电子在较小的加速电压下即可获得足够的能量把汞原子激发到第一激发态,因此所需的加速电压就减小,故实验曲线的第一峰位会随着灯丝温度的升高而向左移动。

3 实验总结

由上述对夫兰克-赫兹实验现象的分析可以看出,用夫兰克-赫兹管来测量汞原子的第一激发电位时,选择合适的灯丝电压,并且使炉温升高并稳定在一合适的温度,也就是说在此温度下电子平均自由程的大小有利于把汞原子激发到第一激发态,而把激发到较高能态和电离的几率限制到最小,同时实验中可以使 V_{G2K} 的变化范围适当增大,以获取较多的峰来减小实验的误差。

4 参考文献

- [1] 李治学. 炉温和灯丝电压对夫兰克-赫兹实验结果的影响. 四川师范大学学报(自然科学版), 2000, 23(2): 184-187.
- [2] 陈廷侠, 冯绍亮, 刘保福. 温度对夫兰克-赫兹实验的影响. 河南师范大学学报(自然科学版), 2004, 32(3): 127-130.