

测定汞原子的第一激发能

张蕾

(复旦大学光科学与工程系 06 级, 上海, 200433)

摘要 用夫兰克-赫兹实验的方法测定汞原子的第一激发能。改变实验参数, 观察实验曲线的变化并分析原因。用去除本底的方法, 计算汞原子的第一激发能, 与未去除本底的计算结果比较, 得到汞原子的第一激发能的数值为 4.93eV。

关键词 物理; 汞原子的第一激发能; 夫兰克-赫兹实验; 去除本底

引言

1914 年夫兰克(F.Franck)和赫兹(G.Hertz)用慢电子轰击稀薄气体原子的方法研究了电子与原子碰撞前后电子能量改变的情况, 测定了汞原子的第一激发电位, 从而证明了原子分立态的存在。后来他们又观测了实验中被激发的原子回到正常态时所辐射的光, 测出的辐射光的频率很好的满足了玻尔假设中的频率定则。弗兰克-赫兹实验的结果为玻尔的原子模型理论提供了直接的证据, 他们获得了 1925 年的诺贝尔物理奖。

本实验沿用了夫兰克-赫兹实验的思想和方法, 利用复旦自行设计的双栅柱面型四极式夫兰克-赫兹实验管完成对汞原子的第一激发能的测量。

理论/实验部分

1. 实验电路及原理

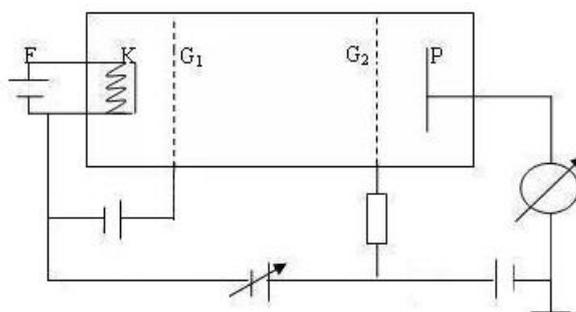


图 1 测量汞原子第一激发能电路图

电路图如上图 1。充汞 F-H 实验管中包括发射电子的阴极 K、控制电极 G1、加速栅极 G2、电子收集极 P。测定汞的第一激发能, 加速电压 V_s 应加在 G2K 上。G1K 距离较小, 电子主要在 G1 极和 G2 极之间与原子碰撞。G2P 间应加上反向的减速电压, 作为控制到达收集极电子数量的电压。G1K 间加上一个适当的控制电压, 起到清除空间电荷, 使阴极发射电子进入加速区的作用。

碰撞管中的电子由热阴极发射, 经 K 和加速栅极 G2 之间的电场的加速, 电子由 K 射向 G2。栅极 G2 与板极 P 之间则加有一减速电压, 形成一个减速电场,

使电子减速。当穿越 G2 的电子具有较大的能量而足以克服这一减速场时，就能到达板极形成管流 I_p 。

当发射电子动能小于汞原子第一激发能，无法激发原子，只发生弹性碰撞，电子可以不损失动能到达 G2 极，并有较高能量穿过 G2P 减速区，表现为收集电流的出现。随着加速电压增大，电子动能达到汞原子第一激发能，电子激发汞原子发生非弹性碰撞，电子动能减小，一些电子无法穿过 G2P 减速区，收集电流 I_p 减小。加速电压进一步增大，使电子发生非弹性碰撞，损失能量后仍有能量穿过 G2P 减速区，收集电流 I_p 又开始增大。碰撞后电子若在前进过程中又获得能量达到汞原子第一激发能，则可再次激发汞原子。这样，我们不断加大加速电压，收集电流 I_p 形成峰谷相间的周期振荡，周期即为第一激发能的大小。另外，由于存在接触电位差，真正加在电子上的加速电压不等于 V_{G2K} ，而是 V_{G2K} 与接触电位差的代数和。

2. 实验仪器

TYPE 3036X-Y RECORDER 1 个

F-H- II 夫兰克-赫兹实验仪 1 台

充汞 F-H 实验管 1 个

F-H- II 夫兰克-赫兹实验仪 微电流放大器 1 个

F-H- II 夫兰克-赫兹实验仪 F-H 管电源 1 个

PEI- I 物理实验接口 1 个

计算机 1 台

导线若干

3. 实验内容

用图 1 所示电路测量汞原子的第一激发能。实验时先根据实验室提供的各个参数：炉温（管内汞蒸气的温度） T 、灯丝电压 V_F 、控制电压 V_{G1K} 、减速电压 V_{G2P} ，测量 I_p - V_{G2K} 曲线，用去除本底和不去除本底两种方式，计算汞原子的第一激发能并比较。改变上述参数，观察参数改变对 I_p - V_{G2K} 曲线的峰位、峰数、曲线形状的影响，分析原因。

结果与讨论

1. 测量汞原子的第一激发能的 I_p - V_{G2K} 曲线

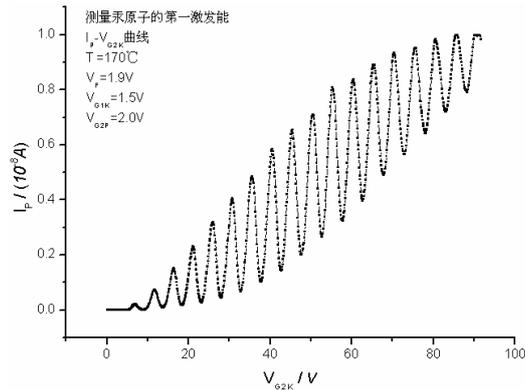


图 2 测量汞原子第一激发能 I_P - V_{G2K} 曲线

图 2 是在 $T=170^\circ\text{C}$ 、 $V_F=1.9\text{V}$ 、 $V_{G1K}=1.5\text{V}$ 、 $V_{G2P}=2.0\text{V}$ 时测得的汞原子的第一激发能 I_P - V_{G2K} 曲线。从图中看出随加速电压 V_{G2K} 增大，收集电流 I_P 呈峰谷相间的周期振荡。共有 18 个峰。收集电流 I_P 整体随 V_{G2K} 增大而增大。峰峰包络线表示了 I_P 极大值的变化趋势，即没有碰撞、到达收集极的电子的数量变化趋势。实验管本身就可以看成一个二极管，所以未经碰撞的电子数量变化与二极管的伏安特性曲线形状相似，都是先快速上升后趋于平缓。谷谷包络线表示了在发生非弹性碰撞后仍能到达收集极的电子数目趋势。因为加速电压较小时，碰撞后的电子能量分布离散程度低，加速电压较大时，碰撞后电子能量分布离散程度高，所以谷谷包络线初期上升缓慢，后期上升迅速。我们称谷谷包络线为第一激发态多重激发的本底曲线。

2. 改变灯丝电压

改变灯丝电压， I_P - V_{G2K} 曲线的变化如图 3 所示、可以看到灯丝电压 V_F 越高，收集电流 I_P 的本底曲线增长越快， I_P 曲线的振荡幅度越大，峰和谷的横坐标基本没有改变。这是因为 V_F 越高，灯丝温度越高，阴极发射的电子越多，能够在发生非弹性碰撞后到达收集极 P 的电子越多，故本底曲线增长越快， I_P 振荡幅度越大。

3. 改变控制电压

改变控制电压， I_P - V_{G2K} 曲线的变化如图 4 所示。可以看到相同 V_{G1K} 时， I_P - V_{G2K} 曲线的峰位置（横坐标）和谷位置（横坐标）基本上没有改变。但是按照理论分析，控制电压 V_{G1K} 的作用是将阴极发射出的电子引向加速区 $G1G2$ ，清除空间电荷。当 V_{G1K} 增大时，进入加速区的电子增多，经过与原子碰撞后能够到达收集极 P 的电子增多。虽然增加的程度显然不会比直接增加阴极发射电子数（即提高灯丝电压 V_F ）大，但随着 V_{G1K} 的提高， I_P 的本底曲线增长越快， I_P 曲线的振荡幅度也越大。这在 V_{G1K} 为 1.0V 和 1.5V 时，得到明显体现，但在 V_{G1K} 为 2.0V

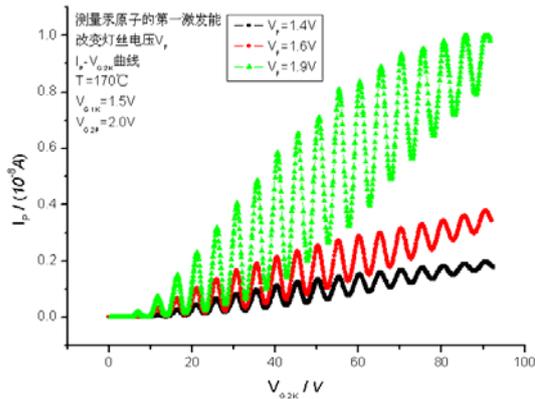


图 3 改变灯丝电压的 I_p - V_{G2K} 曲线

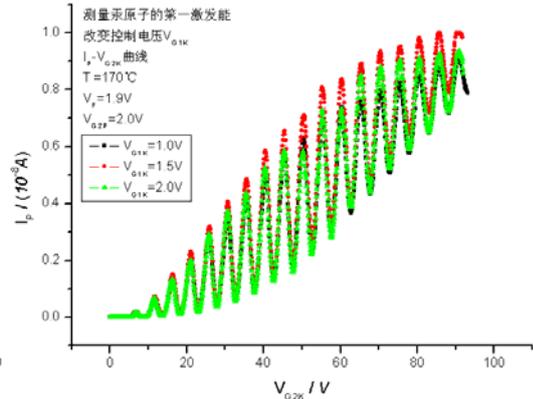


图 4 改变控制电压的 I_p - V_{G2K} 曲线

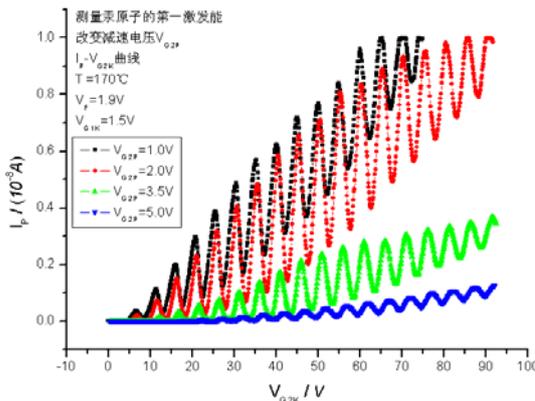


图 5 改变减速电压的 I_p - V_{G2K} 曲线

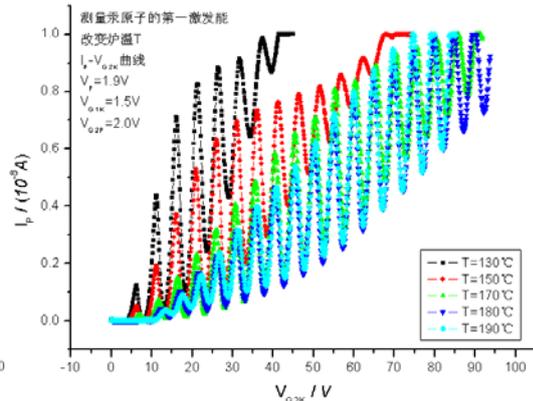


图 6 改变炉温的 I_p - V_{G2K} 曲线

时不明显，不知是何原因。

4. 改变减速电压

改变减速电压， I_p - V_{G2K} 曲线的变化如图 5 所示。可以看到减速电压 V_{G2P} 增大时， I_p - V_{G2K} 曲线的振荡幅度明显减小，本底曲线的增长速度明显减慢。

同一个峰， V_{G2P} 越大，峰对应的加速电压越大。 V_{G2P} 的作用是限制到达收集极 P 的电子数目。故 V_{G2P} 增大时，很多电子没有足够能量去克服反向电压而无法到达板极 P，收集电流 I_p 明显下降，本底曲线增长越慢。 V_{G2P} 越大，同一峰对应的加速电压越大，是由于 V_{G2P} 越大，第一个峰出现越晚（即第一个峰对应的加速电压越大）。另外，后面将算出汞原子第一激发能，它小于 5V，在减速电压为 5V 时不应有曲线，应都为零，说明仪器本身存在一些偏差。

5. 改变炉温

改变炉温， I_p - V_{G2K} 曲线的变化如图 6 所示。可以看到，基本上，温度越低，本底曲线上升越快，曲线中振荡幅度最大的区域对应的加速电压越小，曲线峰峰包络线和谷谷包络线会合越快。计算得到不同温度下，峰峰间距如表 1 所示。

从表 1 中看出来，温度越低峰峰间距越大。

改变炉温将改变蒸气原子密度，而汞蒸气原子密度将影响电子平均自由程。炉温越低，蒸气密度越小，电子与原子碰撞几率越小，平均自由程越大。相同加速电压下未经碰撞到达收集极 P 的电子也越多，所以温度越低，峰峰包络线上升越快。相同加速电压下经过碰撞后能到达收集极 P 的电子也越多，所以温度越低，谷谷包络线上升也越快。

表 1

温度/°C	峰峰间距/V
130	5.16
150	5.12
170	4.93
180	4.85
190	4.78

峰峰间距反映第一激发能的大小。温度较低时，易发生高能级的激发，所以峰峰间距变大。温度越高，发生高能级的激发的概率较小，第一激发能受影响较小。另为，红色曲线最后一个峰与趋势相比偏高，与加速电压高、电子能量大、使汞原子电离有关。

6. 计算第一激发能

因为加速电压为 V_{G2K} ，电子在管子里不断与汞原子碰撞，传递能量，不易达到较高能量，故主要发生最低能级的激发。 I_P-V_{G2K} 曲线的峰峰间距就是这个能量。

当加速电压较大时，会有一些未碰撞的高能量电子和电离了的汞原子到达收集极，原子退激时发出的光子也会在收集极上产生电光效应。这些作用的结果就是收集电流的极小值随加速电压增大而很快增大，形成本底。本底与周期振荡的收集电流叠加，使电流峰峰间距发生变化。为得到更均匀的间距可以设法去掉本底。一般取测量所得振荡电流的极小值作为本底，用方程 $y=a+bx^c$ 拟合，扣除本底后测量峰峰间距，对缝序数和峰位置做线性拟合，斜率即为第一激发能的数值。

计算得到去除本底时，

第一激发能 = (4.93 ± 0.01) eV，拟合相关系数 $r=0.999939$ 。

计算得到不去除本底时，

第一激发能 = (4.94 ± 0.02) eV，拟合相关系数 $r=0.999932$ 。

汞原子第一激发能理论值为 4.89eV，用上面两个结果与之比较，如下表 2 所

示。证明去除本底的处理方式更佳。

表 2

	第一激发能/eV	拟合相关系数 r	$\left \frac{\text{实验值} - \text{理论值}}{\text{理论值}} \times 100\% \right / \%$
去除本底	4.93±0.01	0.999939	0.8
不去除本底	4.94±0.02	0.999932	1.0

致谢

感谢实验指导老师白翠琴老师的悉心指导，感谢课程的所有指导教师的辛勤工作，你们的努力让我收获很多。感谢我的实验合作者杜焯同学。

参考文献

- [1]戴乐山,戴道宣.近代物理实验[M].上海:复旦大学出版社,1995.
- [2]杨福家.原子物理学（第三版）[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [3]郑广恒.近代物理（上册）[M].上海:复旦大学出版社,1991.
- [4]潘玉莲,王煜,潘正元.夫兰克-赫兹实验中 Hg 的第一激发电位的测量[J].物理实验,1995,15:154-156.
- [5]梁曦东.高电压工程[M].北京:清华大学出版社,2003.