

夫兰克—赫兹高激发电位实验的改进和因素分析

刘兴杰 0457027 材料物理

摘要: 通过使用实验室的夫兰克—赫兹实验设备,在原来夫兰克—赫兹设备的基础上改进,可以观测贡原子高激发电位。并通过结果讨论实验中的问题和现象。同时也讨论了其他因素对实验结果、曲线的影响。

关键词: 夫兰克-赫兹; 激发电位; 炉温

Abstract: Higher excitation potentials of mercury were observed by improving the performance of the apparatus in Frank-Hertz experiment in the lab. The phenomenon and the problems from the results of the experiment were discussed. Other factors were also discussed in order to find the effects of the result and curve from experiment.

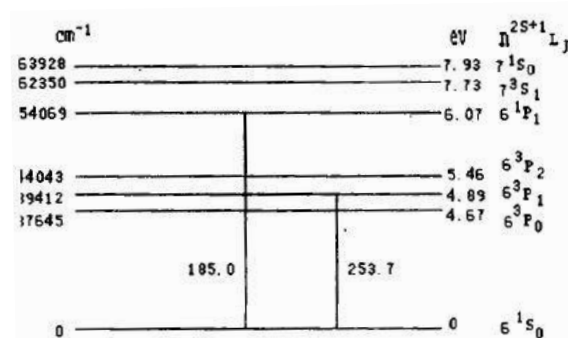
Key words: Frank-Hertz; radiclization electric potential; elastic collision level transition

引言: 夫兰克-赫兹在研究气体放电现象中低能的电子与原子间的相互作用时在充汞的放电管中,发现透过汞蒸汽的电子流随电子能量显现有规律的周期的变化,能量的间隔为 4.9eV。其原因就是电子的能量低于临界电势时,电子和原子之间的碰撞是近似弹性碰撞的,即碰撞后基本上不损失能量。而电子达到本实验中的汞能级激发电位时,相应的碰撞就不能看成是弹性碰撞,而是电子把能量传给了原子,失去能量。就是本实验主要的思路。在对仪器的分辨率进行提高后,在原先只能观察到汞的第一激发能的基础上可以观测到高能级激发的情况。

一、实验原理介绍和讨论

1. 汞能级的基本的结构认识

通过对汞能级的结构和能级的了解才能对本实验的基本作用的机理有更好的理解。



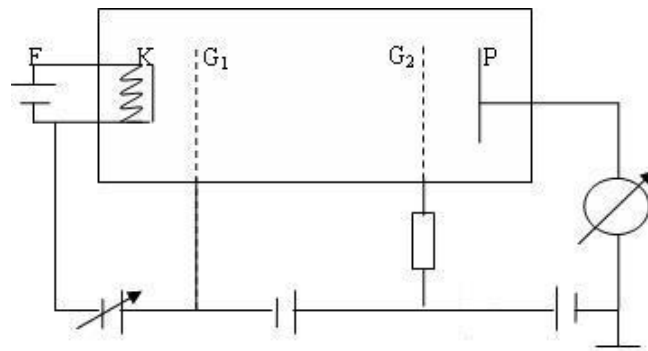
汞能级间跃迁示意图

在这里,我们只要考虑基本的几个能级,即6¹S₀, 6³P_{0, 1, 2} 和6¹P₁,在电子的能量不是很高的时,汞能级的跃迁主要是遵循的是6¹S₀到6³P₁的跃迁即第一激发状态。而相应的我现在要讲的就是汞的高能级的激发对应的是6¹S₀到6¹P₁的跃迁。相比于第一激发状态,这里的电子需

要更大的能量。从上面的汞的能级跃迁的能级图上可以很清楚的看出 $E(6^1P_1) > E(6^3P_1)$ ，所以在讨论的原子的高能级跃迁是就不可避免的要考虑试验中的参数和第一激发跃迁时的不同，诸如在加速区和电炉温度的方面要有所改变。

2. 实验装置和电路的连接

在这次实验中我们主要的用到有：TYPE3036X-YRECOROER型的打印仪，F-H实验管，温度控制仪，扫描电源，微电流放大器，夫兰克-赫兹管电源等。



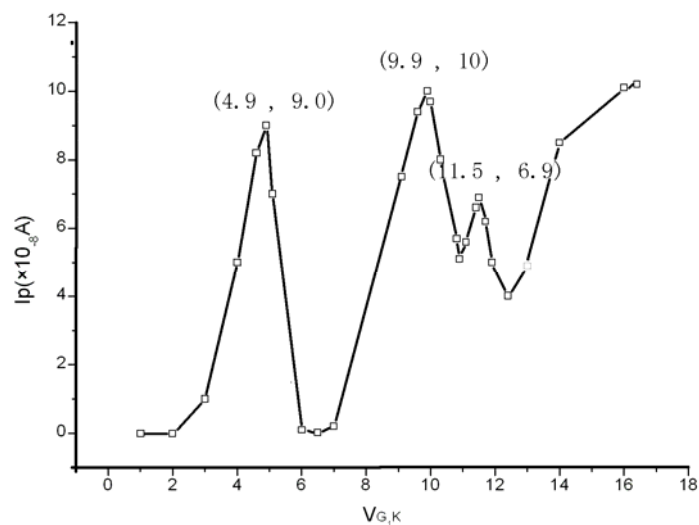
高激发测量线路示意图

从上面的实验图我们可以看到，和测量第一激发能时的电路图有明显不同，加速区局限于 KG_1 的一段，相应的 G_1G_2 成为了等势区， G_2P 还是减速区。灯丝电压 FK 控制着电子的供给数目，对实验中微电流的信号大小有影响。

二、实验数据和图像分析

(相对于第一激发电位的改进分析)

从下面的图上我们可以看到在 4.9V 和 9.9V 的时候，存在的两个峰，是和第一激发能下的实验的值是相符合的。即在汞的第一激发能时大约在 4.9eV 能量处，由于电子得到足够的能量与汞发生碰撞是会发生非弹性碰撞，使电子失去全部的能量。但在后面 11.5eV 处又出现了小峰，这个峰就是相应于汞的高能级激发态所对应的能级（其它一些峰没有记录，信号太小）据相关的资料了解，这个峰是对应于典型的 $6^1S_0 \rightarrow 6^1P_1$ 的跃迁，此峰相应于第一个 $6^1S_0 \rightarrow 6^3P_1$ 的跃迁峰能量间隔是 6.7eV，而上面拟合的两个峰值差是 6.6eV，所以较好的验证了这一点。



汞的较高激发电位时的 $I_p - V_{G,K}$ 曲线

相比较汞的第一激发电位实验，在以下几方面的区别上给予讨论：

1. 电原理图不同

在测量汞的较高激发电位时，我们把 $V_{G,K}$ 作为加速的电压；而在测量第一激发电位时，它只是引出阴极电子的“引出”电压。这里把 $V_{G_2G_1}$ 作为等势区（加补偿电压），作为电子与汞原子的碰撞区；而在测量第一激发电位时，我们把 $V_{G_2G_1}$ 作为电子加速区，使电子边加速边和汞原子碰撞。

把 $V_{G,K}$ 作为加速的电压，使电子在 KG_1 间进行加速，是因为 KG_1 距离很近，小于电子在汞气中的平均自由程，与汞原子碰撞的机会少，在 KG_1 间可以把能量加高，然后在较大的 G_2G_1 区域进行碰撞，以至可以观察到在测第一激发电位时所观察不到的能级。

把 G_2G_1 区域作为等势区域，是使电子和原子在这里以较大的几率和相同的能量进行碰撞，可以提高实验的分辨能力。

2. 电炉温度不同

炉温较测第一激发态电位（该实验炉温为 160°C 理论是 180°C ）低，实验中在 130°C 以保持夫兰克—赫兹管内汞蒸气稀薄，电子在一平均自由程内获得的能量可以近似为

$$E=eV_{G,K} \lambda / d$$

（式中 d 是 KG_1 间距离， λ 为平均自由程），所以从上面的公式来看，当温度较低时， λ 较长，电子获得的能量 E 就较大，电子就有较多的机会去激发高能级。

正是在上面的两个主要方面的改变，使电子的加速区域大大的增加，原本电子在第一激发电位是就会和汞原子碰撞失去能量，也就是说不能达到高于 4.89eV 的能量，若达到了，由于汞原子当时的环境温度较高，原子密度高，相对来说，这时电子的自由程很短，在相同的速度（相同能量）平均自由飞行时间短。最后导致碰撞几率很大，一有足够的能量就会和汞原子发生能量传递的非弹性碰撞。而改进后的接线方法克服了上面电子与汞原子的碰撞几率，使碰撞有可能发生在能量较高的电子状态，而是实验可测于汞的高能级激发。

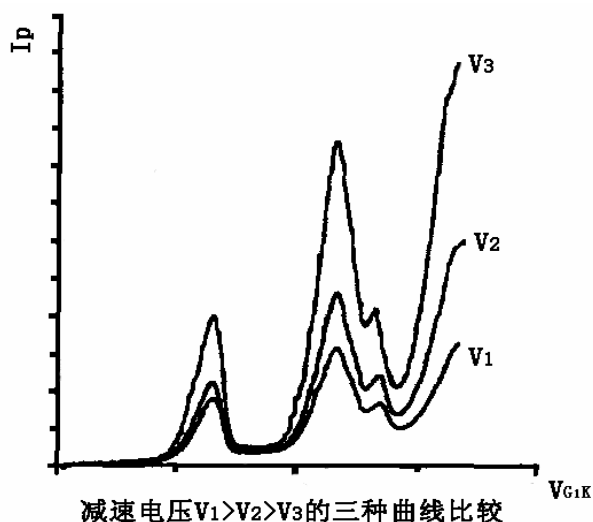
三、实验影响因素分析

仅从上面的实验数据来看，我们得到了我们要的实验结果。现在就进一步设想：改变电炉的温度，改变减速电压会对实验的曲线产生什么影响。

1. 不同减速电压时

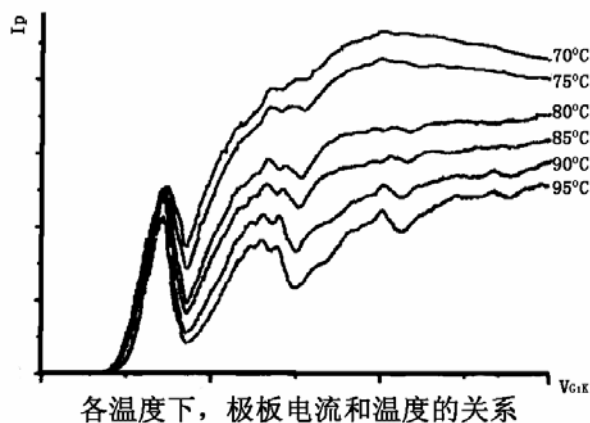
1) 随着反向电压的增加，上述的谷的位置会相对峰的位置变宽，但是峰和谷的位置不会改变。原因可以这样理解。谷位相对应的是那些低能电子。增大减速电压则导致更多的低能电子被过滤，则谷的位置会相对峰的位置变宽。

2) 同一个加速电压下电流减小。容易想到，即在同样的加速电压下，减速电压上升时，一部分原本正好可以克服减速电压的电子，由于减速电压的上升就不能到达极板 P 了，从而导致 P 极接收到电子数减少，电流 I_p 就减小了。我们可以看一下示意图。



2. 不同实验炉温时

可以分析，同一加速电压下，温度升高时，板极电流 I_p 的下降，并且峰会多一些。我们可以这样理解的。当温度升高时，平均自由程减小，相应地和汞原子碰撞的机会也就增多，导致了电流的下降。同时，由于温度在小范围内增加时，而汞的蒸汽压会增加得非常明显，电子和汞原子碰撞的机会增加，在一定温度范围内，把汞原子激发到更高能级的机会就增多，从而使峰更加明显。根据相关的资料的类似图形，可以看到这里分析的是合理的。



四、小结

通过讨论在电原理图的改进，可以观测到汞高能级跃迁的曲线峰值，进而比较高能级激发和较低能级激在产生机理上基本差别。由于加速区改变，碰撞区也同时改变，电炉温度的影响，可以得到汞的高能级激发电位的相应峰位。并在此基础上分析讨论了在实验过程中改变减速电压，和不同的炉温时对汞的较高激发电位的 $I_p - V_{G1K}$ 曲线的影响。电子与原子碰撞进行能量交换的过程，是一个非常复杂的物理过程，涉及的因素很多，这里只是就反向减速电压和炉温的影响对 F-H 实验进行了粗浅的讨论，在以后的实验中，要对更多的影响因素进行分析。

参考文献

[1] 曹尔第，近代物理实验[M]．上海：华东师大出版社，1992.

- [2] 戴乐山, 戴道宣近代物理实验[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1995.
- [3] 郭战营. 对夫兰克-赫兹解释的一点浅见. 焦作教育学报九五年第二版, 74-76.
- [4] 贺梅英, 王军宇. 汞原子较高激发态的观测. 井冈山师范学院学报(自然科学). 2001, 22(6), 30-31.
- [5] 王蕊, 张智力, 李达亮, 崔新图. 夫兰克-赫兹实验中的高激发电位. 中山大学学报(自然科学版). 2004, 43(增刊), 36-38.