

# 夫兰克—赫兹实验中的高激发电位<sup>\*</sup>

王<sup>✉</sup> 张智力, 李达亮, 崔新图

(中山大学物理科学与工程技术学院, 广东 广州 510275)

**摘要:** 通过对现有夫兰克—赫兹实验设备改进和实验测量技术优化, 观测了贡原子高激发电位。讨论了实验结果的分析合理性, 同时研究了温度等因素对实验结果的影响。

**关键词:** 夫兰克—赫兹实验; 高激发电位

**中图分类号:** O561.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S1-0036-03

夫兰克—赫兹实验是近代物理发展史中的一个著名实验, 它的实验结果是玻尔理论重要的实验依据。夫兰克和赫兹更由于这一贡献而同获 1925 年的诺贝尔物理学奖。通常的夫兰克—赫兹实验都只是测量气体(例如汞蒸汽)的第一激发电位, 而事实上, 利用相同的实验装置, 通过对实验稍作改进和测量技术优化, 可以观测更高的激发电位。

## 1 测量原理

在多数数的夫兰克—赫兹实验中, 电子的加速和碰撞是同时进行的。因此, 一旦电子被加速到能量达到气体的第一激发能时, 多数已与原子发生碰撞, 使其激发而失去能量。随后电将再次被加速, 再次失去能量。因而很难获得高能电子, 也就很难观察到气体原子的更高的激发电位。为使电子获得更高能量, 对实验电路进行改进, 如图 1 所示。

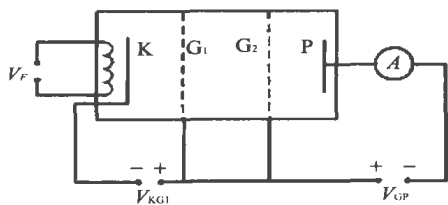


图 1 实验原理图

Fig 1 Expeniment scheme

改进后的主体是一个四极式 F—H 管。电子从旁热式阴极 K 射出, 在 K 与栅极 G<sub>1</sub> 之间被加速。G<sub>1</sub> 与 G<sub>2</sub> 被短接, 使 G<sub>1</sub> 和 G<sub>2</sub> 之间形成一个等势碰撞区。至于 G<sub>2</sub> 和阳极 P 之间仍然接一个反向减速电压。改进后的电路由于加速区很短, 而电子的平

均自由程远大于阴极和第一栅极之间的距离<sup>[1]</sup>, 电子在这样一个区域内发生碰撞的几率很小。由于电子可以被加速到相当高的能量, 发生碰撞时, 原子有可能被激发到较高的激发态<sup>[2,3]</sup>, 从而我们就可以观测到比第一激发电位更高的高激发电位。

## 2 实验技术和方法

在这个实验中使用了复旦大学 F—H 管(充汞)及实验装置, 通过 WMZK 温度指示控制仪, 使用 Keithley 2700 多通道数据采集仪记录试验数据。

实验中共有反向电压  $V_{G2P}$ 、灯丝电压  $V_F$  以及实验温度  $T$  这 3 个参数。为了观察某个因素对结果的影响, 固定另外两个而只改变此因素。

在清楚以上 3 个因素对实验的影响后, 选出最佳测量参数, 测量  $V_A \sim V_{G1K}$  曲线。从所得曲线观察汞的高激发电位。

由于实验中重要的是电流的相对大小, 我们采用测量负载压降并由 Keithley 2700 多通道数据采集仪记录。为方便计, 直接用输出电压表示阳极电流。

## 3 实验数据分析及讨论

### 3.1 不同反向电压的结果分析

因为有多组数据, 故只将实验中有代表性的几条曲线画在同一个图中, 如图 2 所示。

实验结果表明: 随着反向电压的增加①峰变窄而谷变宽, 但是峰和谷的位置没有改变; ②同一个加速电压下电流减小。加速电压越大减小得越明

\* 收稿日期: 2004—02—27

基金项目: 国家基础人才培养基金资助项目; 中山大学教学改革研究(一类)课题资助项目

作者简介: 王<sup>✉</sup> (1983 年生), 男, 本科生; E-mail: wanstr@21cn.net

显, 当加速电压较大时甚至电流出现负值。

这些影响的成因是容易理解的。与谷位相对应的是那些低能电子。增大反向电压则导致更多的低能电子被过滤, 则谷会变宽。另外, 当加速电压较大时, 部分汞原子被电离甚至二次电离。汞离子在电场的作用下撞向 P 极, 这样就造成了反向电流。自然反向电压越大, 反向电流就越大。两种电流叠加形成了所测得的电流。出现负值, 说明这时单位时间流向 P 极的离子比电子多。

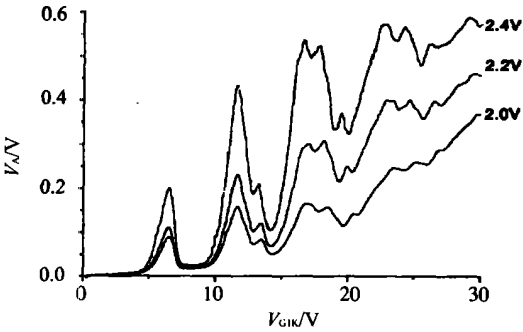


图2 不同反向电压下的实验结果

Fig. 2 Output voltage with different reverse potentials

3.2 不同灯丝电压的结果分析

同样地, 将部分曲线置于同一个图中, 如图 3 所示。

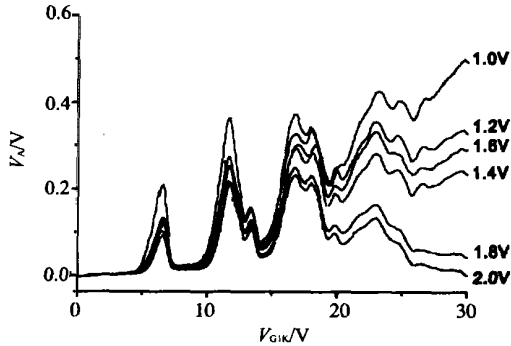


图3 不同灯丝下的实验结果

Fig. 3 Output voltage with different filament potatials

分析发现: 随灯丝电压的升高①电流增大; ②峰的数目增多并且位置发生了左移。从原理上考虑, 这是因为灯丝电压的高低决定了阴极的发射能力。电压越高则单位时间发射的电子数就越多, 电流就越大。

此外, 灯丝电压增大时, 电子与汞原子发生碰撞的机会增多, 因此一些原来被背景电流掩盖掉的峰将显现出来。至于峰的左移, 则是因为电子发生碰撞的能量是逸出初动能和从电场中获得的能量之和。当灯丝电压增大时初动能增大, 故对同一个峰

所需的电场的能量减小。

3.3 不同实验温度的结果分析

结果表明当温度升高时同一加速电压对应的电流下降并且峰的数目增多。

这也是可以理解的。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, 造成了电流的下降。同时, 由于温度增加时, 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多, 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, 所以会出现更多的峰。

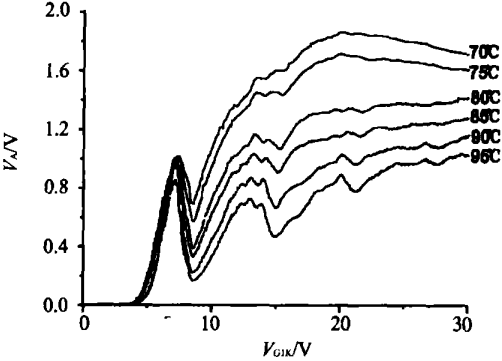


图4 不同温度下的实验结果

Fig. 4 Output voltage at different temperatures

3.4 汞高激发电位结果分析及讨论

根据前面对实验参数选择的分析, 选择了温度 125 °C, 反向电压 1.1 V, 灯丝电压 2.4 V 作为测量参数。其曲线如图 5 所示。

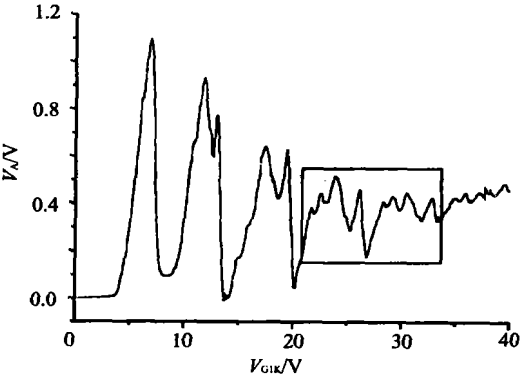


图5 最佳实验条件下的实验结果

Fig. 5 Output voltage under optimized condition

由于这些峰可能是多个能级所产生的峰的叠加, 因此不能够采用在求第一激发电位时求出各个峰之间的差值的方法。因为电子能产生多次激发, 故各个峰值将是激发电位的叠加。为此, 把各个峰的位置找出, 减去接触电势差后得到了不同的能级组合。在各种组合方式的理论值中找出与实际测量

值相近的，将相应的组合方式列于表 1<sup>[4]</sup>。

表 1 中 a、b、c 分别表示第一、第二、第三激发电位的理论值。

表 1 能级的理论值和测量值的比较  
Tab 1 Theoretic values and observed values of energy levels

| 理论值/V | 测量值/V | 偏差/V  | 组合方式    |
|-------|-------|-------|---------|
| 4.89  | 4.89  | 0     | a       |
| 9.78  | 9.81  | 0.03  | 2a      |
| 10.35 | 11.01 | 0.66  | a+b     |
| 15.24 | 15.49 | 0.25  | 2a+b    |
| 17.05 | 17.50 | 0.45  | a+b+c   |
| 20.13 | 19.70 | -0.43 | 3a+b    |
| 20.70 | 20.65 | -0.05 | 2a+2b   |
| 22.51 | 21.85 | -0.66 | a+2b+c  |
| 24.32 | 24.20 | -0.12 | 2b+2c   |
| 26.26 | 26.33 | 0.07  | 4a+c    |
| 27.4  | 27.19 | -0.21 | 2a+2b+c |
| 28.54 | 28.51 | -0.03 | 4b+c    |
| 31.02 | 30.84 | -0.18 | 2b+2c+c |

从表 1 中可以看出理论是和实际测量值是相差得比较小的。可以认为，前 3 个激发电位都已观察到了。值得一提的是，虽然用理论值 4.89、5.46 和 6.70 V 这前 3 个激发电位来组合与实验结果符合得较好，但是组合方式并不是惟一的。例如对于 15.49 V，如果看作 2 个第 4 激发电位之和，即 (7.73+7.73) V，则理论值和测量相差得更小。只不过在观察过程中发现，对于所有情况下得到的曲

线，只要出现了图 5 中小框图内这 2 组共 8 个峰，则对应峰相减全部都非常接近 6.70 V<sup>[5]</sup>，于是估计这个时候 6.70 V 的激发截面较大，并由此认为在此之前 7.73 V 的激发截面更小，所以采用 7.73 V 的组合。

4 结 论

通过独立调整各个参数的大小，本实验找出了反向电压、灯丝电压、实验温度对实验结果的影响。同时，观察到了更高级的激发电位，但是在更高级激发电位的数值方面只能作为理论的一种验证。更高激发电位的确切位能需要结合其它测量技术才能确定。

致 谢：感谢李潮锐博士的实验建议、老师们的帮助和中山大学珠海校区基础物理实验室提供的技术支持。

参考文献:

[ 1] 吴思诚, 王祖铨. 近代物理实验 [ M]. 北京: 北京大学出版社, 1995.  
[ 2] 杨福家. 原子物理 [ M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.  
[ 3] 郑裕芳, 李仲荣. 近代物理实验 [ M]. 广州: 中山大学出版社, 1988.  
[ 4] 戴乐山, 戴道宣. 近代物理实验 [ M]. 上海: 复旦大学出版社, 1995.  
[ 5] NICOLETOPOULOS P. Critical potentials of mercury with a Franck-Hertz tube [ J]. Eur J Phys, 2002, 23: 533—548.

Higher Excitation Potentials in Frank Hertz Experiment

WANG Min, ZHANG Zhi-li, LI Da-liang, CUI Xin-tu

(School of Physics Science and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

**Abstract:** Higher excitation potentials of mercury were observed by optimizing measurement techniques and improving the performance of the apparatus in Frank Hertz experiment. The effects of the temperature and other factors were systematically investigated, and the rationality of the experimental results was discussed.

**Key words:** Frank Hertz experiment; higher excitation potentials