

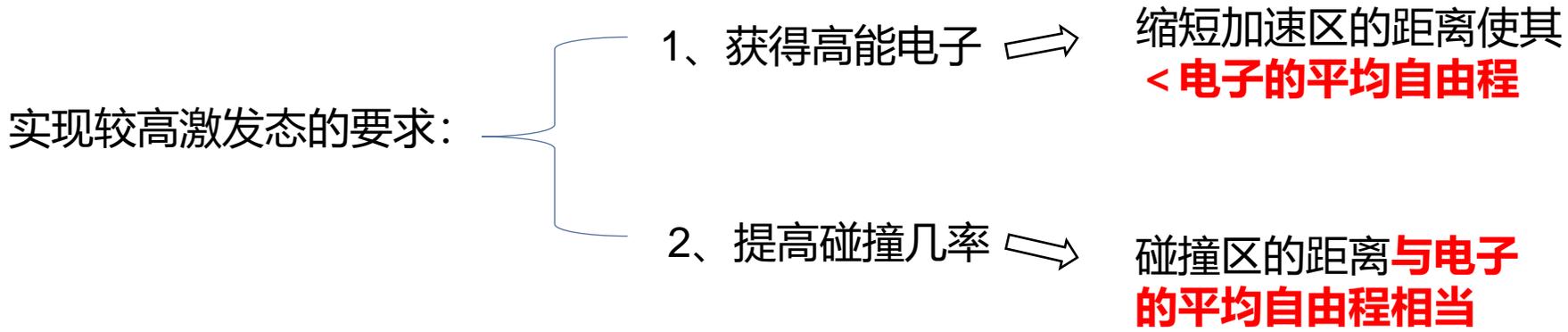
04

PART FOUR

测量汞的较高激发能

- 弗兰克-赫兹实验背景
- 弗兰克-赫兹实验意义
- 测量汞的第一激发能
- 测量汞的较高激发能**
- 测量电离能
- 结果与讨论

4.1 实验方法



设置T=130°C的原因：

根据电子平均自由程公式, $\bar{\lambda} = \frac{4kT}{\pi d^2 p}$,

蒸气压p的计算: $\log_{10} p = -\frac{3200}{T} + 10.125$

代入T=403K得出此时的平均自由程 $\lambda=0.45\text{mm}$,

$\lambda > G1K=0.3\text{mm}$

G1G2=5mm, 最大碰撞次数 $5/0.45 \approx 11$ 。



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

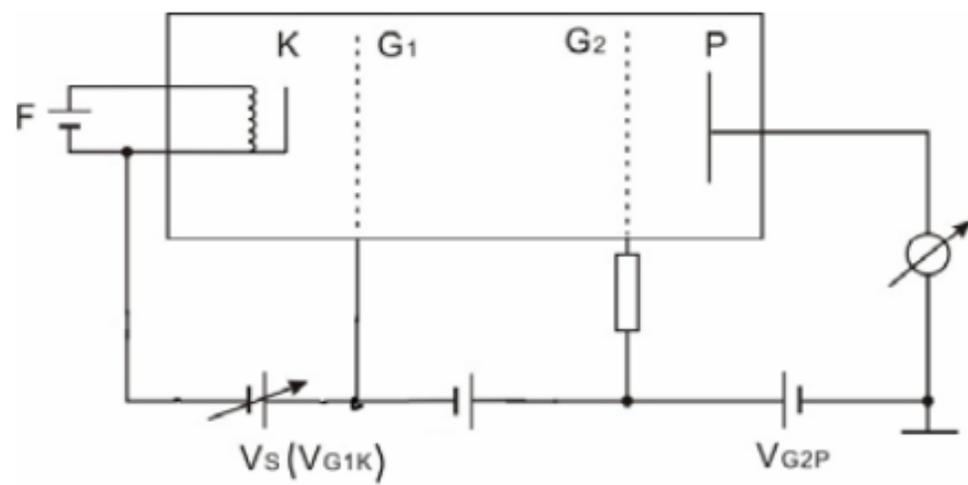
测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量电离能

结果与讨论

4.1 实验方法



F、K:电子发射阴极
 G1K:加速区
 G1G2: 碰撞区 (补偿电压 V_{G2G1} 用于消除阴极表面空间电荷)
 G2P: 减速区

表4.1.1 测量较高激发能实验参数(T=130°C)

组别	V_F	V_{G2G1}	V_{G2P}
1 (对照组)	2.5V	1V	1.5V
2	2.5V	1V	0.5V
3	2.8V	1V	1.5V



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

4.1 实验数据

控制变量，对比图如下所示：

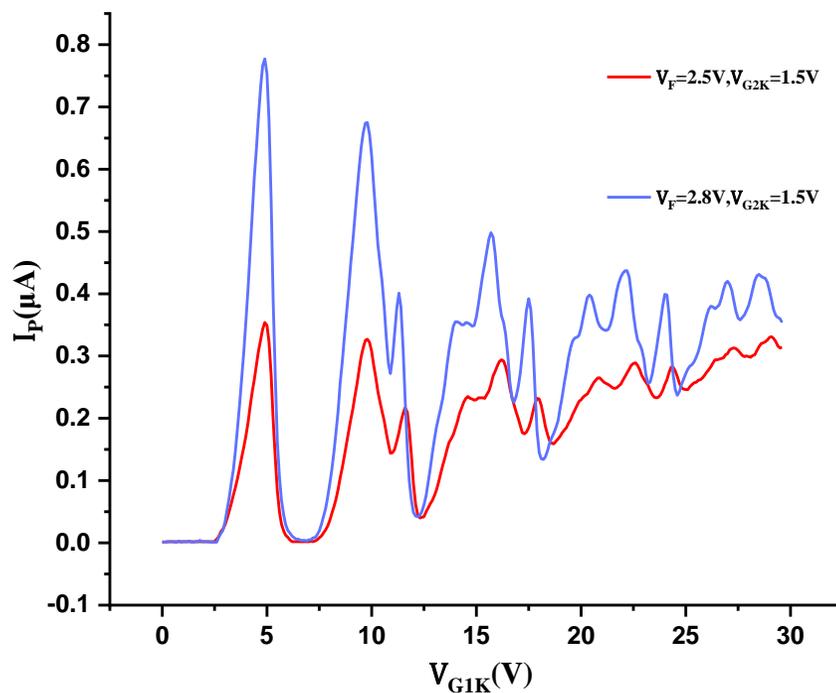


图4.1.1.(a)

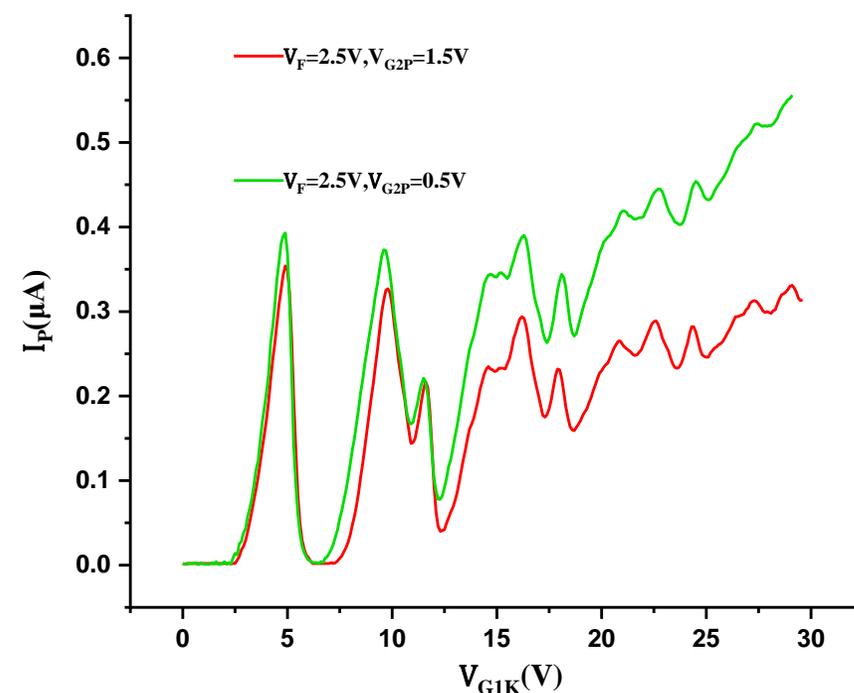


图4.1.1 (b)

图4.1.1 测量汞的较高激发能



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



4.1 实验数据分析

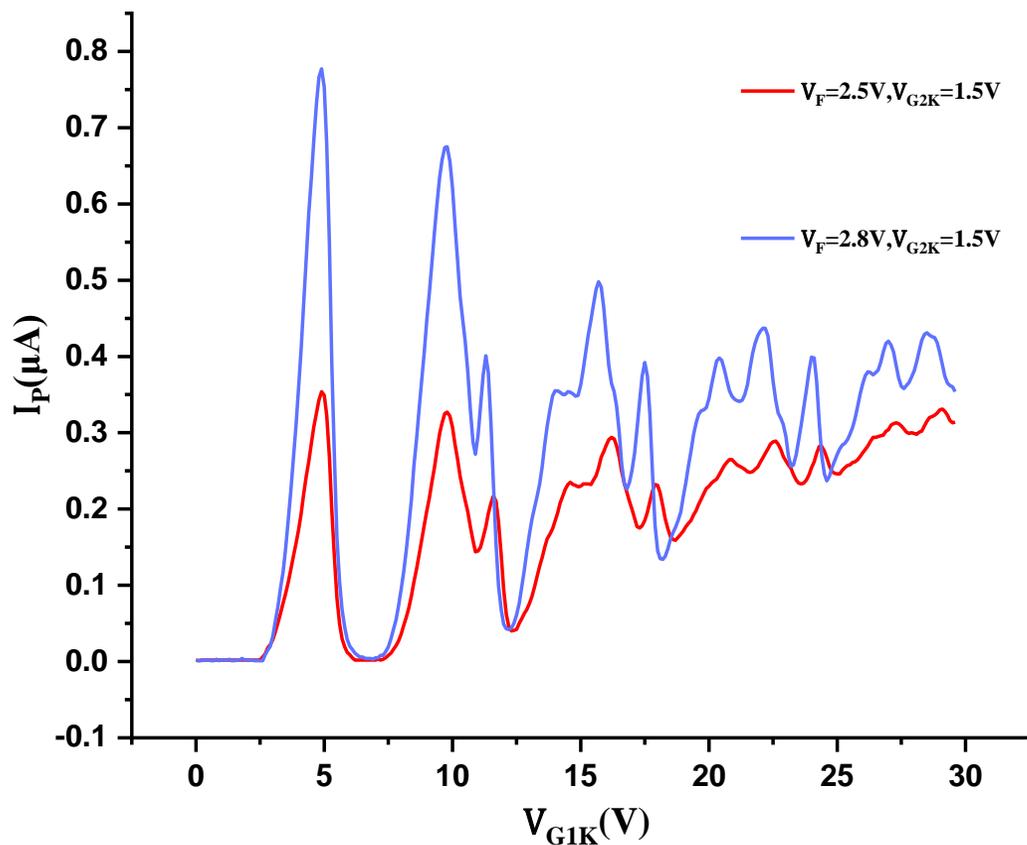


图4.1.1.(a)

实验现象:

- 1、灯丝电压升高时，电流增大；
- 2、谱峰高度随灯丝电压升高明显，分辨率增大

现象分析

灯丝电压升高导致发射电子数增加
→本底电流增加
电流与电压关系满足公式 $J_A = AT^2 \exp[-e(V_C - V_F)/kT]$ →
电流随电压增大呈指数型上升

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

4.1 实验数据

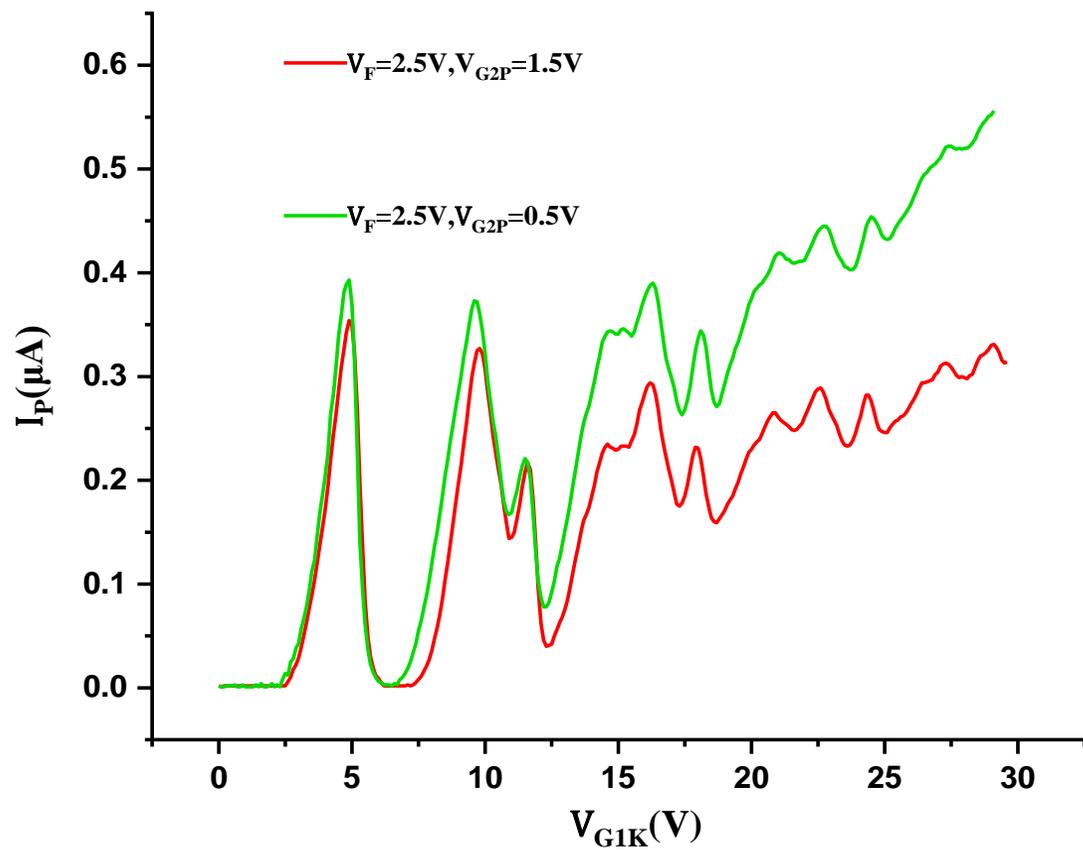


图4.1.1.(b)

实验现象:

- 1、随减速电压的减小, 电流有所增长;
- 2、扫描电压大于20V后, 减速电压大的曲线谱峰更明显, 分辨率较大

现象分析

减速电压减小 \rightarrow 更多电子到达极板 \rightarrow 本底电流增加
单位时间内发射电子数目不变 \rightarrow 信噪比提升 \rightarrow 分辨率减小



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

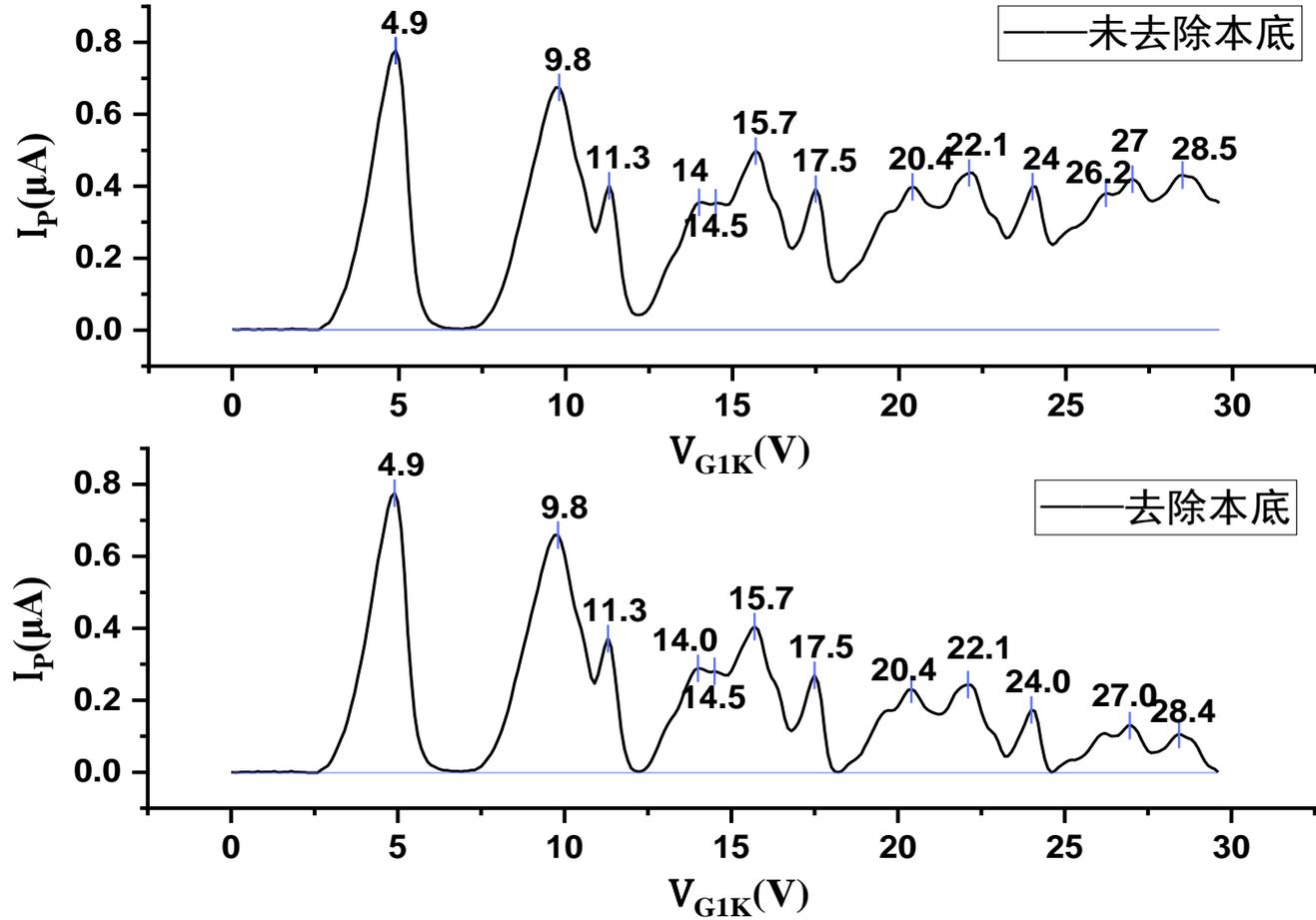
测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

4.2 测量汞的较高激发能

最佳参数: $V_F=2.8V, V_{G2G1}=1V, V_{G2P}=1.5V$



本底电流对谱峰位置的影响基本可以忽略不计

图4.1.2



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

4.2 测量汞的较高激发能

选取前十个明显的峰作数据分析，得到结果如下表所示：
a=4.9V, b=5.46V, c=6.7V, 分别对应 6^3P_1 、 6^3P_2 、 6^1P_1

峰序号	测量值/V	组合方式	理论值	绝对误差	相对误差/%
1	4.9	a	4.9	0	0
2	9.8	2a	9.8	0	0
3	11.3	a+c	11.6	-0.3	2.59
4	14.0	?	?		
5	14.5	3a	14.7	-0.2	1.36
6	15.7	a+2b	15.82	-0.12	0.76
7	17.5	2b+c	17.62	-0.12	0.68
8	20.4	$\frac{3a+b}{2a+2b}$	20.16/20.72	0.24/0.32	1.19/1.54
9	22.1	2a+b+c	21.96	0.14	0.63
10	24.0	$\frac{a+b+2c}{2b+2c}$	23.76/24.32	0.24/0.32	1.01/1.32



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



4.2 测量汞的较高激发能

测得谱峰数比理论值少的原因:

- 1、分辨率限制 (高能态能级接近) ;
- 2、部分峰以拐点的形式表现在曲线上

3、 6^3P_2 是汞的亚稳态能级

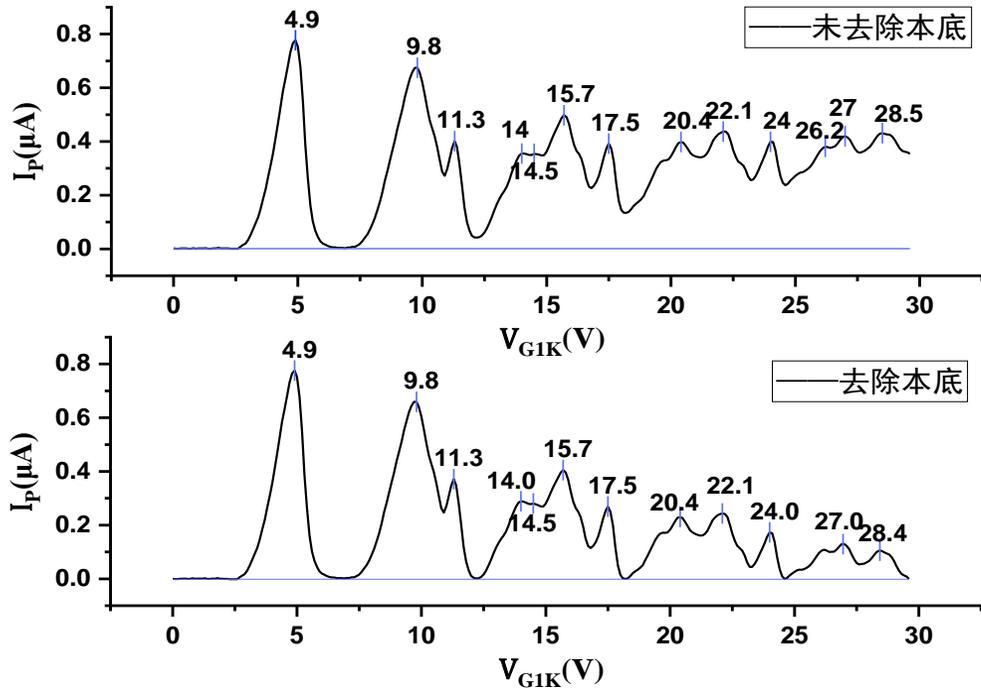
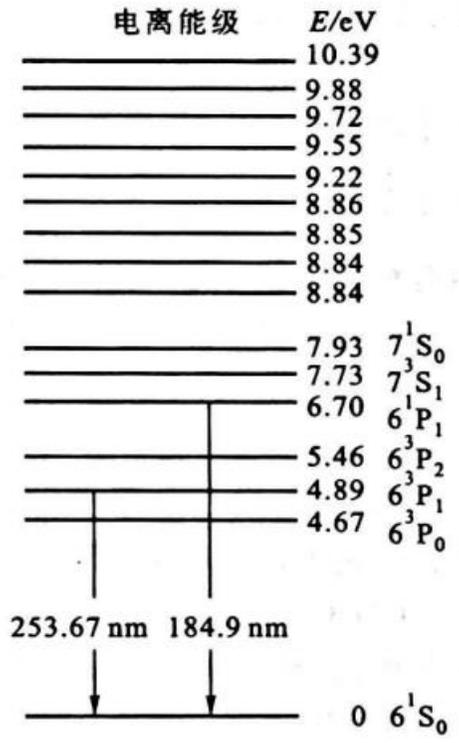


图4.1.2



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

4.1 实验数据

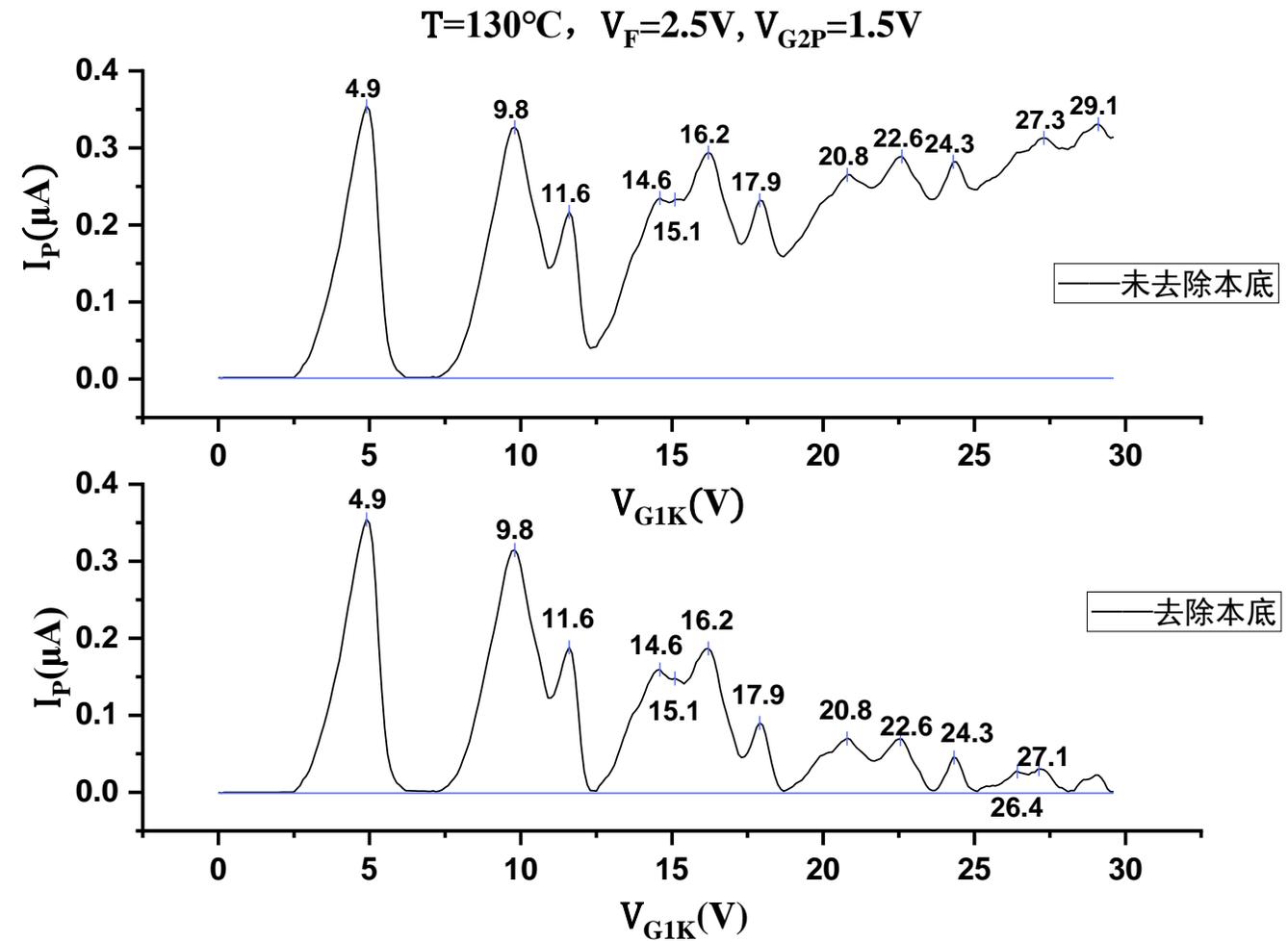


图4.1.2 测量汞的较高激发能



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



4.2 测量汞的较高激发能

选取前十个明显的峰作数据分析, 得到结果如下表所示:
 $a=4.9\text{V}$, $b=5.46\text{V}$, $c=6.7\text{V}$

峰序号	测量值/V	组合方式	理论值	绝对误差	相对误差/%
1	4.9	a	4.9	0	0
2	9.8	2a	9.8	0	0
3	11.6	a+c	11.6	0	0
4	14.6	3a	14.7	-0.1	0.68
5	15.1	2a+b	15.26	-0.16	1.05
6	16.2	2a+c/3b	16.5/16.38	-0.3/-0.18	1.82/1.10
7	17.9	2b+c/a+2c	17.62/18.2	0.28/-0.3	1.56/1.65
8	20.8	2a+2b	20.72	0.08	0.39
9	22.6	a+2b+c	22.52	0.08	0.35
10	24.3	2b+2c	24.32	-0.02	0.08

05

PART FIVE

测量汞的电离能

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



5.1 实验方法

实现电离的要求:

1、获得高能电子



缩短加速区的距离使其
< 电子的平均自由程

2、提高碰撞几率



碰撞区的距离**与电子**
的平均自由程相当

实验装置图:

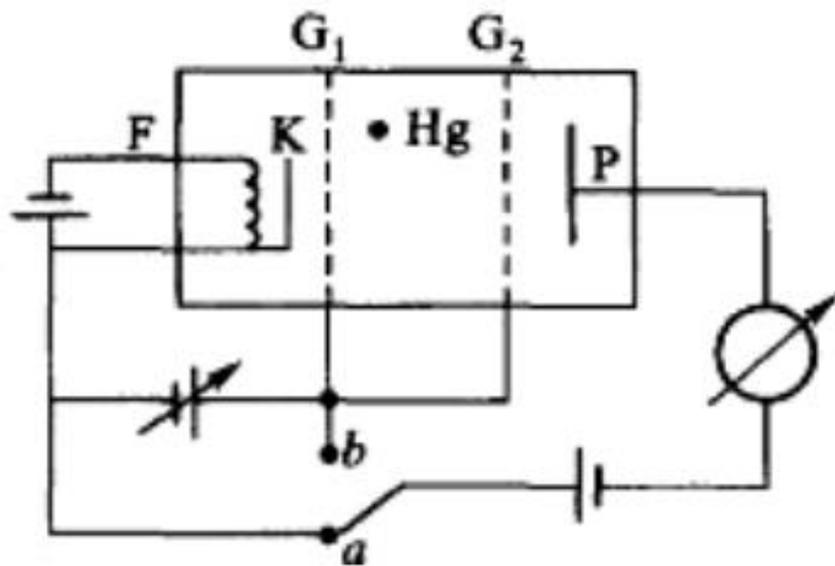


图5.1.1 **四极式离子流探测法**
测汞原子电离电压

F、K:阴极, 发射电子
G1:相对于K有正电势,
可消除阴极表面的空间
电荷

G1G2:等势区, 电子与
汞原子碰撞

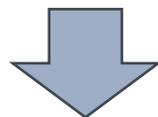
P:相对于K呈负电势, 使
正离子到达极板



5.1 实验参数的选择

各参数的作用:

- 1 温度 T : 控制电子的平均自由程
- 2 V_F : 改变发射电子数量
- 3 V_{KP} : 改变离子流大小



- (1) 温度控制在 $70-110^{\circ}\text{C}$ 区间内, 平均自由程 $\lambda > d_{G1K}$
- (2) V_F 、 V_{KP} 控制在适当区间, 防止电离曲线增长过快

组别	$T/^{\circ}\text{C}$	V_F/V	V_{KP}/V
1	80	2	10
2	70	1.2	5
3	90	1.2	5
4	110	1.4	5

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



5.1 实验结果

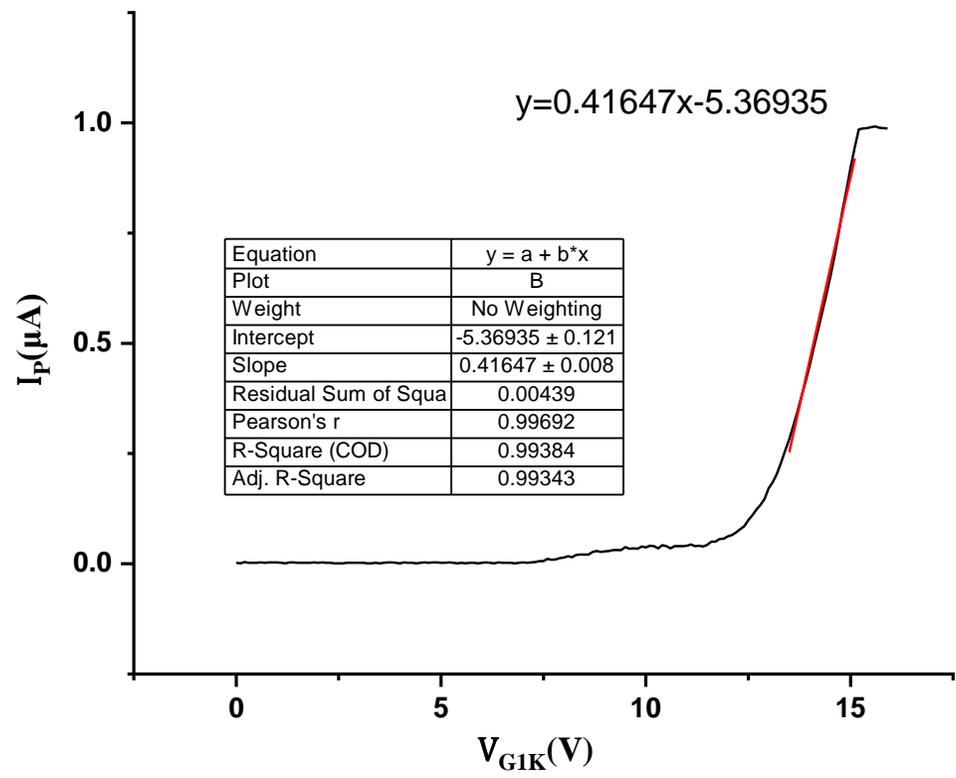


图5.1 组别1电离曲线

曲线分析

- 1 电压小于7.4V时，极板P电位低于阴极，电子无法通过反向电压区，故没有电流
- 2 电压 > 7.4V时，电子能量足以把汞原子激发到 6^3P_1 态，产生了光子，光子打在极板上形成了光电流，表现为一段平缓的曲线
- 3 电压大于电离电压时，电子使汞原子电离，正离子到达极板产生电流



5.1 实验结果

电离电压计算公式:

$$E_i = e(V_{A_i} - V_{A_0}), V_{A_0}: \text{起始电压}$$

$$V_{A_0} = V_E - 4.89V, V_E: \text{曲线开始上升处电压}$$

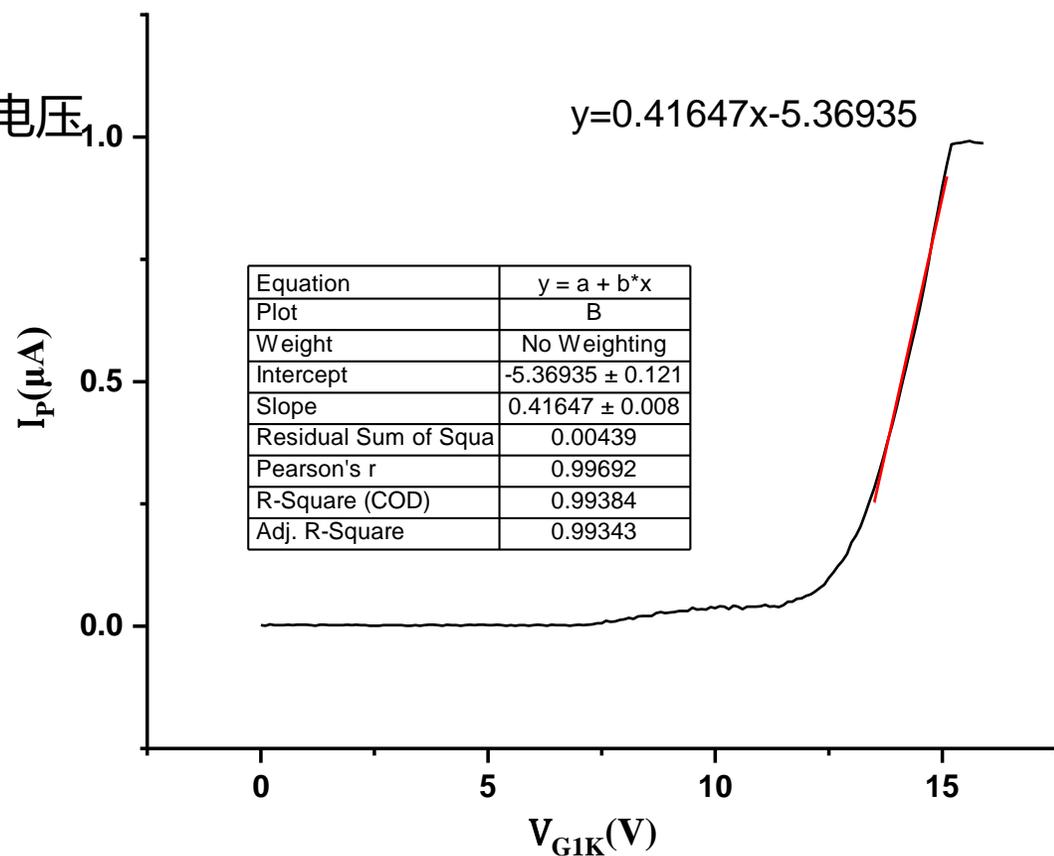
$$\text{X轴截距: } V_{A_i} = 12.89V$$

$$\text{曲线开始上升电压: } V_E = 7.4V$$

$$\begin{aligned} \text{测量值: } E_i &= e(12.89V - 7.4V + 4.89V) \\ &= 10.38eV \end{aligned}$$

$$\text{理论值: } E_i = 10.4V$$

$$\text{相对误差 } \delta = 1.92\%$$



弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



5.1 实验结果

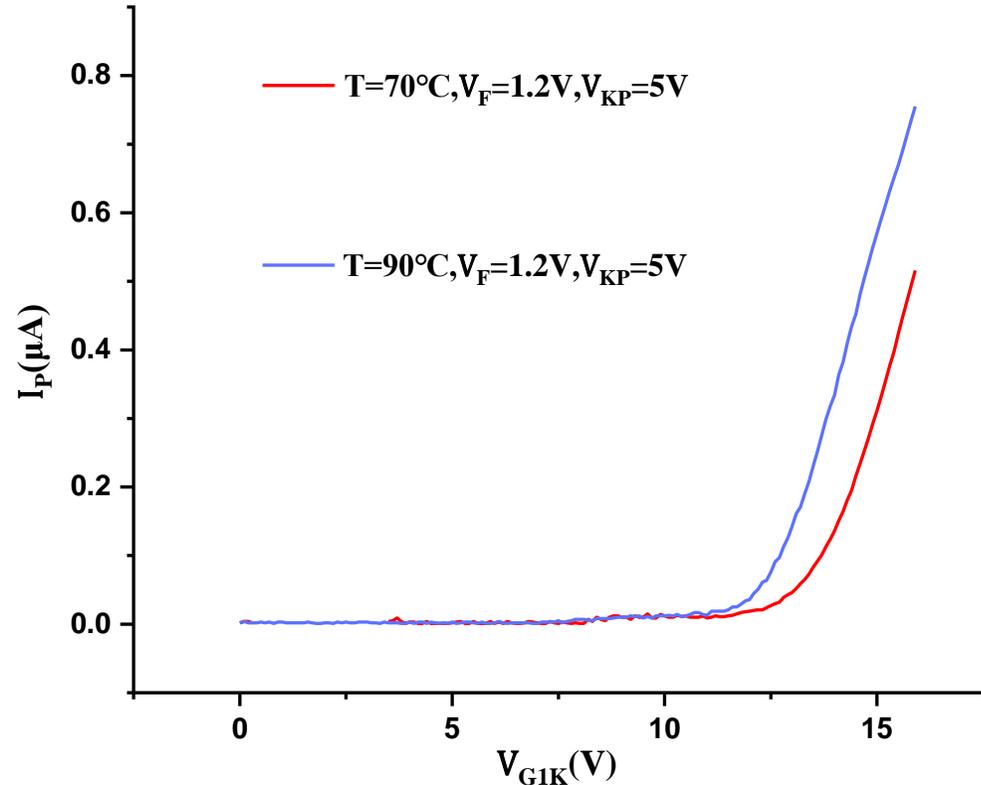


图5.1.2

现象一

温度升高→电流增大



电子平均自由程减小, 碰撞概率增大

现象二

电离前平缓曲线消失, 无法测得电离电压



V_F 减小, 电子能量不足以激发汞原子

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



5.1 实验结果

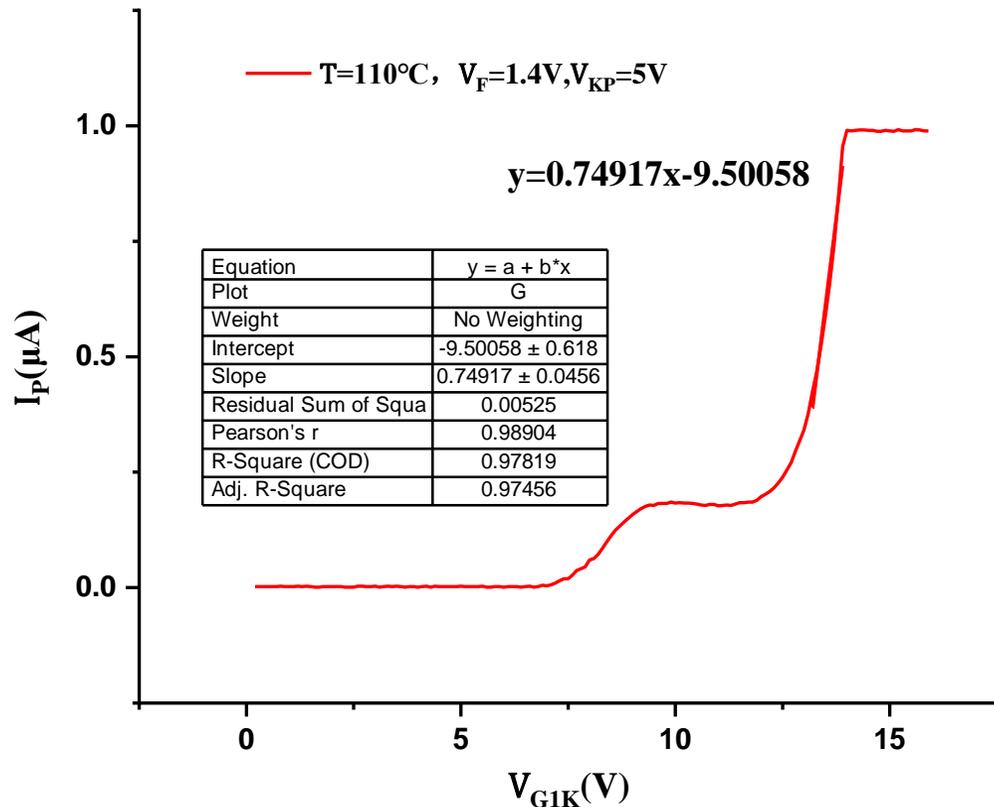


图5.1.2

电离结果计算

$$E_i = e(V_{A_i} - V_{A_0})$$

$$= e(12.68V - 7.1V + 4.89V)$$

$$= 10.47eV$$

相对误差 $\delta = 0.67\%$



在70°C-110°C范围内，适当选取发射电压，才能**正确**测量汞原子电离电压

06

PART SIX

结果与讨论

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论



6.1 实验总结

弗兰克-赫兹实验

- 1 正确测量了汞的第一激发能
- 2 分析了各实验参数对于第一激发能曲线的影响
- 3 正确测量了汞的较高能级，观察到多种组合方式的特征峰
- 4 成功用四极式离子流探测法测量了汞的电离电位

弗兰克-赫兹实验背景

弗兰克-赫兹实验意义

测量汞的第一激发能

测量汞的较高激发能

测量汞的电离能

结果与讨论

6.2 参考文献

- [1]刘复汉,汞原子较高激发能级测量的研究.物理实验,1985,5:209-212
- [2]李斌,赵维义,谭鹏,弗兰克-赫兹实验现象的理论分析.佛山科学技术学院学报,2003,9:17-21
- [3]宋文福,冯正南,朱力,弗兰克-赫兹实验的研究.大学物理实验,2004,6:34-38





汇报完毕，恳请批评指正

汇报人：周奕璇、沈弋楠

指导老师：郭杭闻