

弗兰克赫兹实验条件的选取与图像分析

吕舜

材料系电子科学与技术专业 组次：周三 A7 组 学号：07300300080

摘要：本报告对比实验过程中改变实验各参量对实验图像的影响，分析实验过程中实验条件对图像产生的这些影响的原因，并且对实验图像的本底产生与去本底操作做相关的分析说明。

关键词：弗兰克赫兹实验，实验条件，本底，第一激发能级

1914 年，弗兰克（Franck,J,1882-1964）和赫兹在研究中发现电子与原子发生非弹性碰撞时能量的转移是量子化的。他们的精确测定表明，电子与汞原子碰撞时，电子损失的能量严格地保持 4.9eV ，即汞原子只接收 4.9eV 的能量。

这个事实直接证明了汞原子具有玻尔所设想的那种“完全确定的、互相分立的能量状态”，是对玻尔的原子量子化模型的第一个决定性的证据。由于他们的工作对原子物理学的发展起了重要作用，曾共同获得 1925 年的物理学诺贝尔奖。

本报告对比实验过程中改变实验各参量对实验图像的影响，分析实验过程中实验条件对图像产生的这些影响的原因，并且对实验图像的本底产生做相关的分析说明。

一、实验原理与装置

弗兰克-赫兹实验的电路图如下所示，灯丝 K 发射出电子，电子首先经过加速区 K- G_1 ，通过栅极 G_1 ，然后进入 G_1 - G_2 的等势场区来进行碰撞，碰撞后的电子进入由 G_2 -P 所组成的减速区域，能量足够的电子将穿透 G_2 -P 的减速电压到达 P 板极而形成管流。

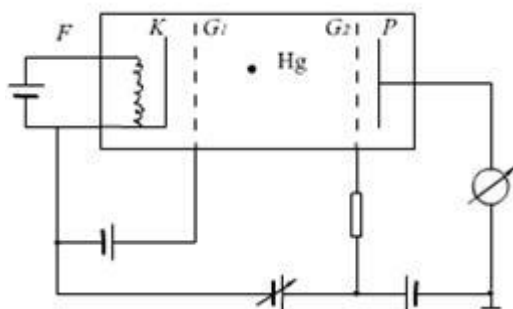


图 1 弗兰克赫兹实验原理图

位于区域 G_1G_2 的电子，电子能量小于汞的第一激发能时，将主要与汞进行弹性碰撞，由于电子质量很小，几乎没有能量的损失，当电子能量达到汞的第一激发能级 ΔE ，即 $eU_0 = \Delta E$ ，将会发生非弹性碰撞，电子将会出现较大的能量损失，如果电子在管内空间与汞原子发生了非弹性碰撞后，电子本身剩余的能量不足以支持他通过 G_2P 之间的减速场区，那么电子就不能到达板极，因此我们会观察到板极电流将会随栅极电压增加而减少。随着加速电压的增大，电子能量增加，当电子与汞原子碰撞后余下的能量重新能够克服减速电压，电子就可以到达 P 极板，于是管流随着栅极电压增大而增加。

如果电子经过加速得到的总能量 $eU_0 = 2\Delta E$ 时，电子又会与汞原子发生第二次碰撞，造成第二次管流下降。如此周而复始，只要 $eU_0 = n\Delta E$ ($n=1, 2, \dots$)，就发生这种碰撞。因此只要改

变加速电压 U_{G2} ，并用 X-Y 记录仪记录相应的管流 I 与电压 U 的关系，得到的 $I-U$ 曲线上将出现多次上升与下降。

二、实验条件对实验结果的影响

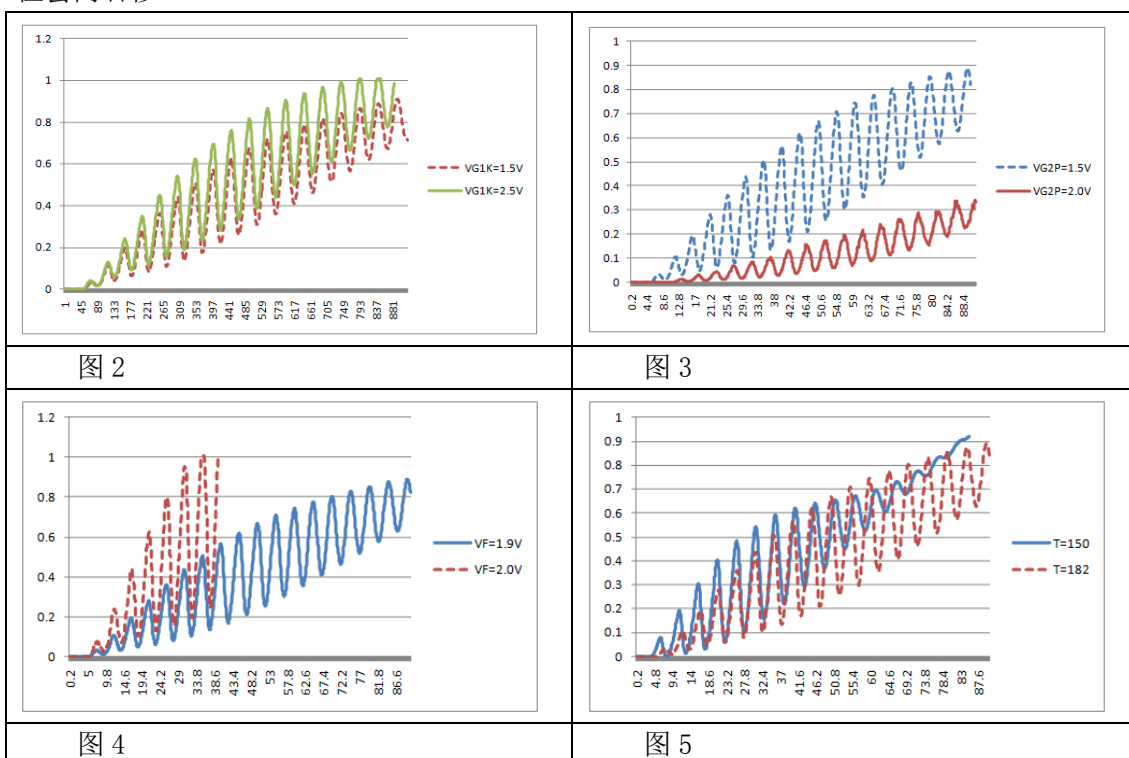
为了确定最佳的实验参数，我们通过改变各参量，来定性分析每个分量对图像所造成的影响

改变 V_{G1K} 我们将得到如图 2 所示的对比图。实线 V_{G1K} 为 2.5V，虚线是 1.5V。增大 V_{G1K} 会增大到达板级的电流。具体原因在于，栅板 G_1 在试验中起到加速与疏导电子的作用，当 V_{G1K} 增大时，电子从阴极出来后获得的加速度变大，出栅板时速度更快，可以到达 P 极的电子数更多，从而使 I_P 变大

改变 V_{G2P} ，我们得到如图 3 所示的对比图，虚线指示的曲线 $V_{G2P}=1.5V$ ，实线是 2.0V，我们发现，增大 V_{G2P} ，电流 I_P 显著减小。其原因就在于 V_{G2P} 增大了，要求通过 G_2 的电子具有更高的能量才能到达板极 P，但是电子的能量并未提高， V_{G2P} 却变大了，使得能够到达 P 板的电子数减小， I_P 也就减小了。

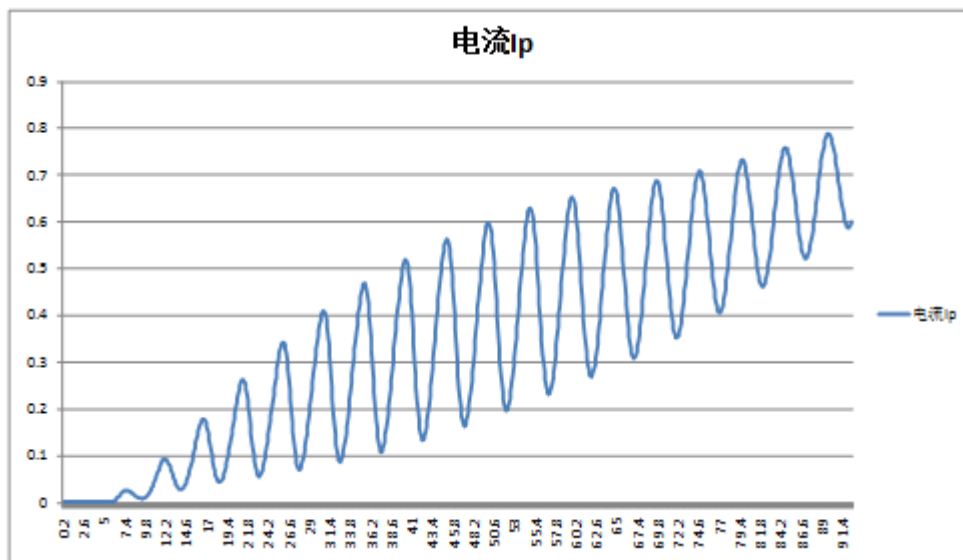
改变灯丝电压 V_F 我们得到如图 4。虚线是 2.0V，而实线是 1.9V，我们发现增大 V_F 可以显著提高管内电流。 I_P 增大是因为阴极所发出的电子数增大，碰撞后所能到达 P 极的概率是一定的，基数变大，那么在碰撞后所能够到达极板的电子数也就相应的增大，因而 I_P 增大。

改变实验管内的温度，我们得到图 5 所示对比图。实线所示温度为 150°C，虚线所示为 182°C 温度升高， I_P 有着下降的趋势，同时可以观察到更多的峰，第一峰位右移。温度升高，汞蒸气的气压升高，电子与汞原子的碰撞的概率也会增大，单位时间内未碰撞的电子数减少，导致 I_P 降低。T 升高，电子自由程减小，碰撞几率增大（虽然弹性碰撞，但是总归有些能量损失），只有在较高电场中获得较高的能量才有可能达到使汞原子激发的能量，所以第一峰位会向右移。



三、实验数据分析

实验中获得波形如图。分析如下：



下表列出了图中所有峰值点以及所有谷点的位置坐标。

序号	波谷电压/V	波谷管流/I	波峰电压/V	波峰管流/I
1	5.2	0.001	7	0.021
2	8.7	0.014	13.3	0.045
3	13.6	0.033	16.1	0.16
4	18.1	0.054	20.9	0.25
5	22.7	0.076	25.6	0.33
6	27.5	0.083	30.3	0.391
7	32.2	0.101	35.1	0.45
8	37.1	0.125	40	0.51
9	42	0.148	44.8	0.55
10	46.9	0.176	49.6	0.581
11	51.8	0.209	54.6	0.621
12	56.8	0.24	59.4	0.635

对波谷的所有点进行直线拟合，图线如图，然后我们拟合后斜率 4.763187，对波峰的所有点进行直线拟合，图线如图，然后我们拟合后斜率 4.824045，拟合斜率数值就是汞的第一激发能级的大小。

发现，与理论值 4.9eV 有一定的偏差。

考虑是否是由于本底的存在造成了影响。

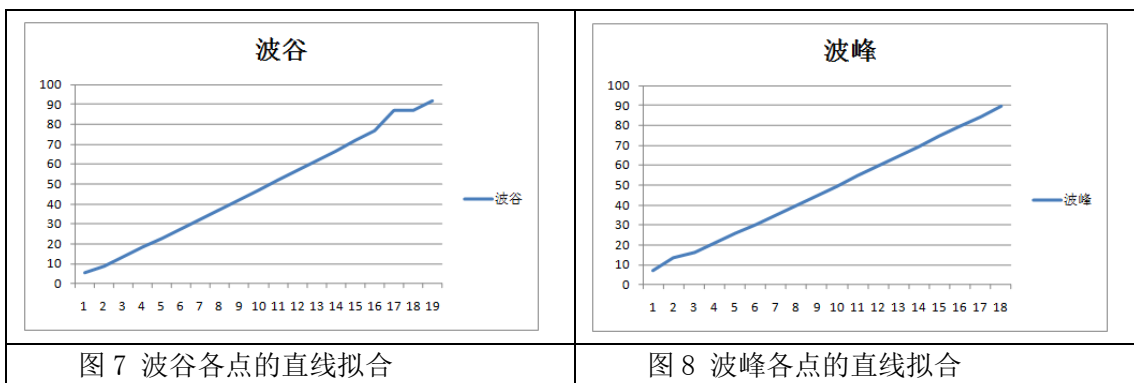


图7 波谷各点的直线拟合

图8 波峰各点的直线拟合

考虑将本底去除。查找资料，我们注意到，图像的底部包络曲线满足 $Y=A+BX^C$ ，采用 original 进行拟合。拟合曲线如下图所示

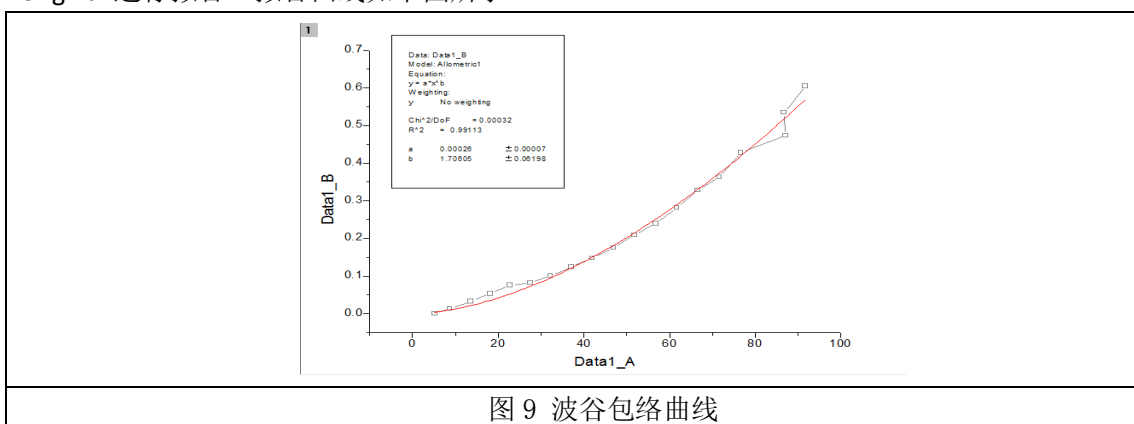


图9 波谷包络曲线

方程为 $Y=a*x^b$

拟合后得到， $a=0.00026 \pm 0.00007$

$b=1.70605 \pm 0.06198$

曲线上升的趋势类似于指数函数图象，对此可以这样来解释：空间中电子与汞原子发生碰撞有一定的几率，在汞原子和电子都充足的情况下，这一几率可以近似认为是不变的，记为 $c\%$ ，每一次都有 $1-c\%$ 比例的电子没有与汞原子发生碰撞就顺利通过，因此， n 次碰撞后能顺利通过到达 P 极板的电子数比例为 $(1-c\%)^n$ ，符合指数函数的形式。电流增长也就符合指数形式。利用所得式算出对应点的本底值大小，减去之后，我们得到去本底后第一激发能级的曲线图

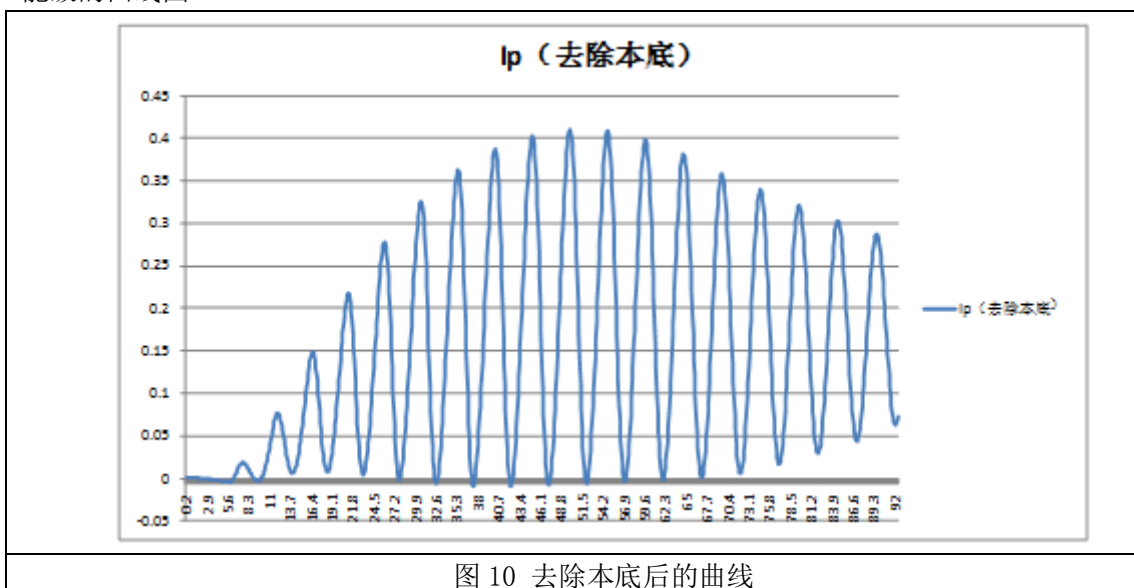


图10 去除本底后的曲线

观察到, $V_{G2K} > 67.7V$ 后, 线性度较差, 所以, 选取前面的谷点进行线性拟合列表如下

序 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
电 压	8.5	13.5	21.1	30	40.6	52.4	65.2	79.1	94	110.9

进行线性拟合, 拟合结果 4.80303 , 与理论值误差 2%, 本次试验中去本底对于实验结果没有太大的影响。偏差可能出现在温度过高的影响, 其实在 150 度下已经可以观察到周期性很强的波形, 高温带来的高压强减少了电子的自由程, 会导致有其他的效应干扰了图像的周期性, 而去本底的工作并没有能够去除这种干扰。

小结:

1. 实验过程中, 灯丝电流的大小, 实验管内温度, V_{KG1}, V_{G2P} 都会对实验结果产生影响, 实验过程中需要积极改变各参量大小取值, 以确定最佳的实验条件。

2. 实验图像底部包络曲线方程满足指数形式, 本实验中, 去除本底并没有对实验分析结果产生明显的影响, 说明本底产生是多种原因造成的, 有些效应会干扰图像的周期性, 而去本底的工作并有时没有能够去除这种干扰。

参考文献:

1. 近代物理实验 戴道宣 戴乐山 高等教育出版社 2006
2. 物理实验教程/高等院校物理类系列教材 丁慎训, 张连芳 清华大学出版社 2002
3. 夫兰克-赫兹实验现象的理论分析 李斌, 赵维义, 谭鹏
4. 弗兰克赫兹实验中 Hg 的第一激发电位的测量 潘玉莲, 王煜, 潘正元
5. 夫兰克-赫兹实验的研究 宋文福, 冯正南, 朱力