

Frank-Hertz 实验装置中参数对所得图像的影响

潘涛 06 级物理系

指导老师：张新夷

摘要：

设定 Frank-Hertz 实验装置上各参数的值，用控制变量法得出灯丝处加速电压，接收极板处减速电压均与接受极板电流成 e 指数关系，且后者 e 指数关系与汞温度显示出震荡趋势。此外，将近极板减速电压改为适当的加速电压可得到更接近 4.9eV 的汞的第一激发态能级。

Abstract:

Measurements were made by varying parameters independently on the Franck-Hertz apparatus to obtain the relationship between accelerating voltage in front of filament and decelerating voltage before collector against the current collected, which turns out to be exponential. Furthermore, the exponential relationship exhibits some oscillation with respect to temperature of gaseous Hg. Additionally, with the decelerating voltage switched to accelerating one, the result of the first excitation level of Hg comes closer to 4.9eV .

关键词：

Frank-Hertz 实验，Hg 的第一激发态能级，控制变量法，近极板减速电压，P 极板电流

引言：

Frank-Hertz 实验是观察量子化现象的著名实验之一，实验中让带有一定动能的电子与汞原子发生碰撞，经过碰撞的电子被接收，通过对接收电子形成的电流的研究，可以得到汞原子的第一激发态以及高激发态的能级。本文仅讨论对第一激发态能级的研究。在 Frank-Hertz 实验（第一激发态能级，以下出现 Frank-Hertz 实验，均指第一激发态能级研究）中，对于振荡的出现以及峰间距的变化，人们都尝试给出各自的解释¹，也有人改进了实验装置²，增加了探测器，研究电子与汞原子碰撞的微观机制。本实验因实验设施及实验时间限制，采用控制变量法并改变实验线路图分别设定 Frank-Hertz 实验装置上不同参数的值，研究这些参数对最终所得的电流大小的影响。

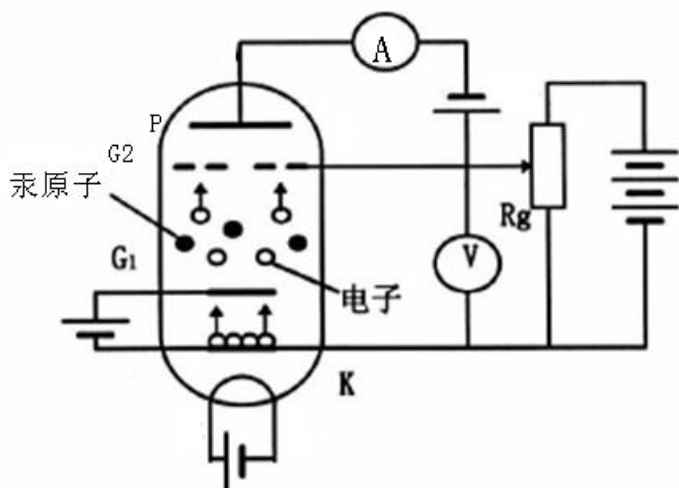
实验原理及实验内容：

Frank-Hertz 实验装置图如下³，

¹ Rapior, Sengstock, and Baev, "New features of the Franck-Hertz experiment," Am.J.Phys. 74(5), 423-428 (2006)

² G.F.Hanne, "What really happens in the Franck-Hertz experiment with mercury?," Am.J.Phys. 56(8), 696-700(1988)

³ 复旦大学物理系实验中心网站近代物理实 <http://phylab.fudan.edu.cn/doku.php?id=exp:f-h>



测量第一激发能原理示意图

灯丝 K，用于产生和汞原子碰撞的电子；G1、G2 为带孔的栅极；极板 P 用于接受电子，并将产生的电流通过放大器传输给数据采集器，最终在电脑上记录。

装置内电压分布：在极板 K 与 G1 之间有一个加速电压，用于将从灯丝处发射出来的电子“抽运”出来（以下简称 G1—K 电压）；G1、G2 两者间加扫描电压，用于加速从灯丝中产生的电子；G2—P 加上减速电压（在本实验中对于加速电压的情况也进行研究）。

（实验中因为灯丝电压的可变范围很小（1—2V 之间），且灯丝电压的最小分度较大（0.2V）所以没有测量它和电流的关系）

A. G1—K 电压与 P 极板电流的关系

本实验采用的是复旦双栅柱面型四极式弗兰克赫兹实验管，微电流放大器，弗兰克赫兹实验仪，x-y 记录仪以及电脑中的 Frank-Hertz 实验软件。

实验的电路连接如上图所示，为了得到 G1—K 电压与 P 极板电流的关系，实验中采用控制变量法，其它实验条件固定不变（灯丝电压，G1—G2 电压，G2—P 减速电压，气体汞的温度），并分别对 4 个不同的 G1—G2 电压（2 个位于第一激发态能级测量图形的峰值处，另外 2 个位于谷值处）测量 G1—K 电压与 P 极板电流的关系。因实验中所使用的实验仪自带的电流计精度不高，故实验采集数据时，同时读出并记录电脑软件窗口中显示的电流值。实验中 G1—K 电压从 0V 变化到 4.8V，间隔为 0.2V。

B. G2—P 电压与 P 极板电流的关系

- a) G2—P 之间加上减速电压，测量这个减速电压与 P 极板电流的关系。

实验装置和线路连接不变，同样采用控制变量的方法，固定其它实验条件（灯丝电压，G1—K 电压，G1—G2 电压，气体汞的温度），改变 G2—P 电压（从 0.5V 变化到 5V），测量 P 极板的电流。

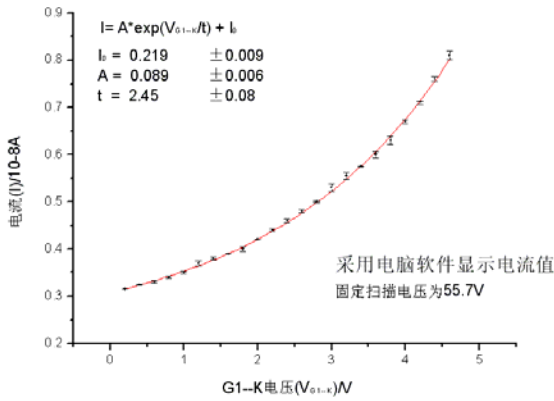
- b) 将 G2—P 之间的减速电压变为加速电压，并测量在不同的加速电压下峰间距的变化，以及标定不同电流量程的关系。

实验装置不变，将 G2、P 的正负极改变，用控制变量法测量；在不同量程下各扫描一次，比对两者数据。

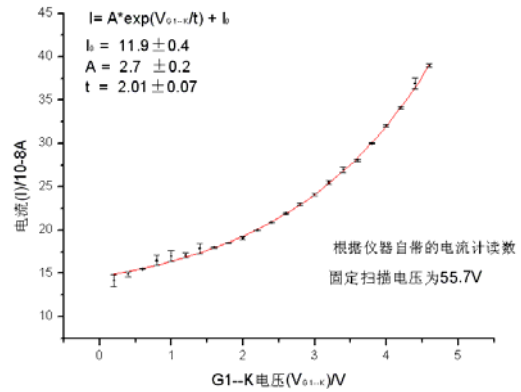
- C. 实验中进行测量时，汞的温度处于不停的变化中，尤其是温度较高时（180° C 以上）。此时测量，应在面板上的“on”刚关闭时立刻开始扫描。

实验结果与解释

- A. G1—K 电压与 P 极板电流成 e 指数增长关系。



采用电脑自带的软件读数

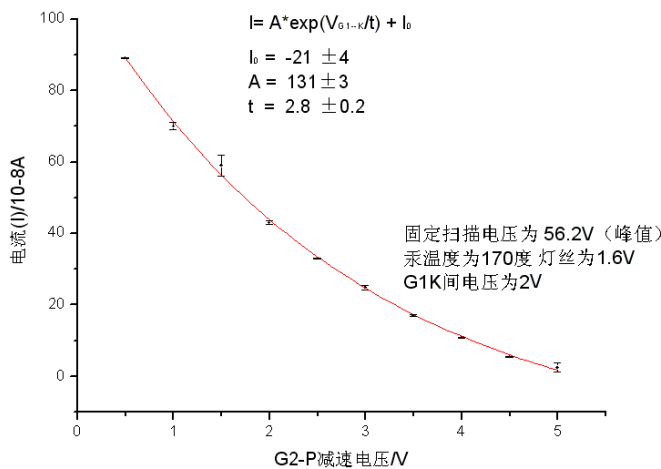


使用仪器自带的电流计读数

此处为固定扫描电压为 55.7V 时的图形，在其他扫描电压下的图形参看附录 1。可以看出使用电脑软件读数比仪器自带的电流计读数更准确，获得的曲线更加接近 e 指数关系。

B G2—P 电压与 P 极板电流的关系

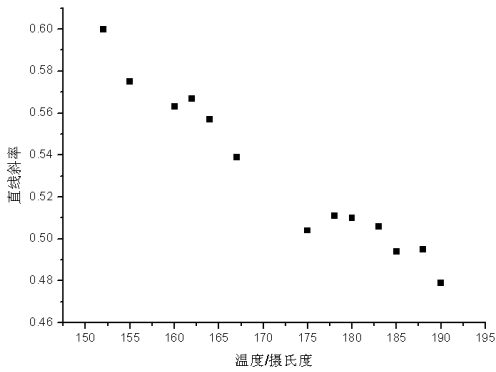
a) G2—P 之间加上减速电压时，G2—P 电压与 P 极板电流成 e 指数衰减的关系。



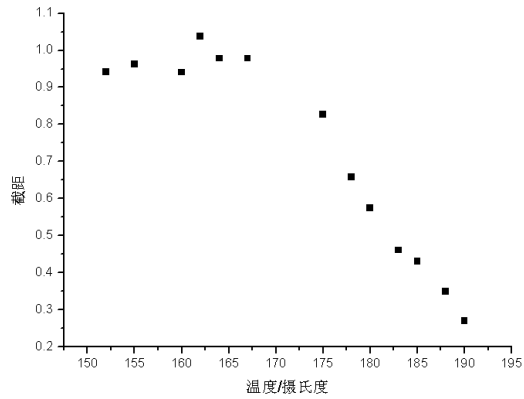
固定扫描电压为 56.2 V, 汞的温度为 170 度, 灯丝电压 1.6V, G1—K 间电压为 2 V。

因此可以说明在 G2 栅极处能量大于 eV_{G2P} 的电子的数目与 V_{G2P} 成 e 指数衰减关系，即

$N(E > eV_{G2P}) = N_0 \cdot \exp(-CV_{G2P})$ ，设能量在 E 和 $E+dE$ 之间的电子的数目为 $N(E) \cdot dE$ ，则 $N(E > eV_{G2P}) = \int_{eV_{G2P}}^{\infty} N(E) \cdot dE = N_0 \cdot \exp(-CV_{G2P})$ ，所以 $N(E) = N_0' \cdot \exp(-CV_{G2P})$ ，对两边取自然对数可得到 $\ln[N(E > eV_{G2P})] = -CV_{G2P} + \ln N_0$ ，对 $\ln[N(E > eV_{G2P})]$ 与 V_{G2P} 作图，可以得到一条直线。在不同的温度下重复此实验，发现参数 C （即直线的斜率），以及 $\ln N_0$ （即直线的截距）和温度有关：



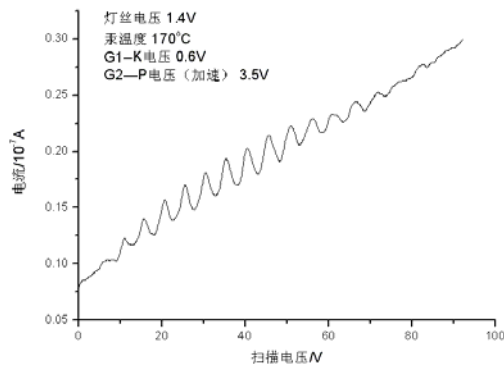
温度与斜率的关系



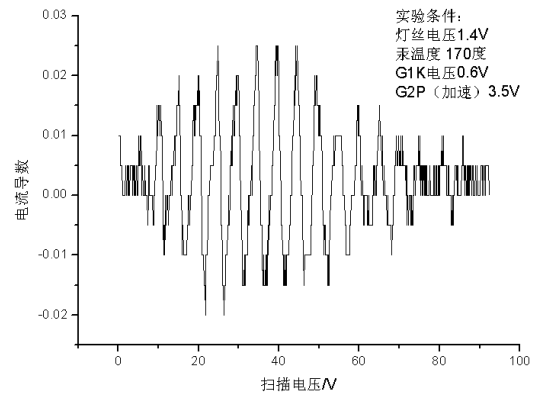
温度与截距的关系

在左图中，随着温度的升高，斜率在变小，且有小幅的震荡现象，但是无法确定是震荡的出现，还是测量的偏差，最好的办法是能够在更多的温度点进行测量，得到直线的斜率再作图，但是仪器的温控性能有限，无法保证 1—3 度的精度，故较难验证。在右图中，直线的截距与温度的关系也没有简单的解析式可以表达。

- b) 将G2—P间的减速电压变为加速电压，扫描后依然得到震荡图像，峰与谷的高度差小于当G2—P间为减速电压的图形。值得注意的是当此加速电压更大时，对此扫描曲线光滑后取峰 3 或者对图形求导后，测量求导后图形的峰间距时发现此时的峰间距更接近 4.9eV^3 。



加速电压为 3.5V



对扫描图形求导

选取右图的峰值后计算峰间距得到很好的数值 (4.87eV)⁴

实验中在 10^{-8}A 和 10^{-7}A 两个量程下分别扫描，并用直线拟合，得到两个量程之间的关系，可以修正读数时改变量程带来的误差⁵。

实验中如果将G2—P之间的减速电压变为加速，可以让尽量多的电子到达极板，这样可以尽量多地收集电子的信息，且加速电压越大，电子越多。在AES (Auger Electron Spectroscopy) 中，对于Auger电子的小信号采用求导的办法放大信号⁶。此实验中因为将减速电压变为加速电压，图形峰值和拐点的信号削弱了，因此对图形作导数可以更好的辨认；此外电子发生非弹性碰撞后并不会消失，即电子的数目并不会发生较大变化（将G2—P间加上加速电压），因此电子数目变化率的信息也能揭示非弹性碰撞的发生。

总结

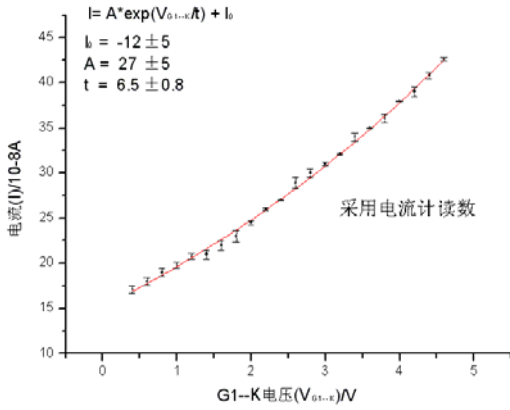
本实验研究并得到 G1—K 间电压与 P 极板的 e 指数增加关系，G2—P 电压与 P 极板电流的 e 指数衰减关系，以及衰减指数与温度的关系，并通过将 G2—P 间的减速电压变为加速电压，测量峰间距或者对图形再求导可以得到更好的第一激发态数值。

参考书目

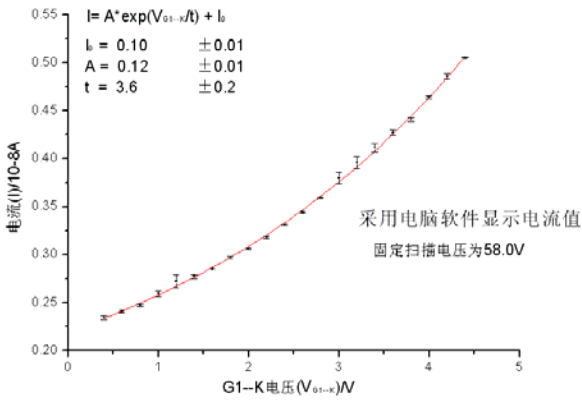
戴道宣，戴乐山主编，《近代物理实验》，高等教育出版社，北京，2006

附录:

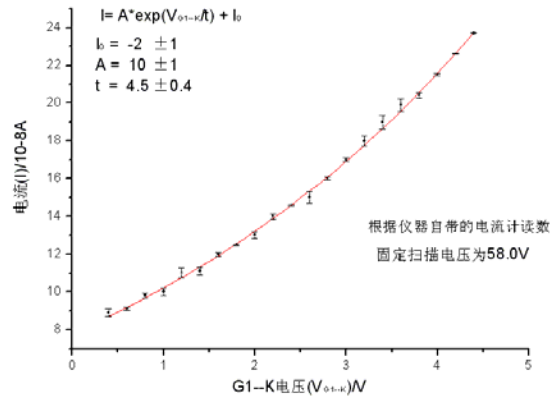
1.



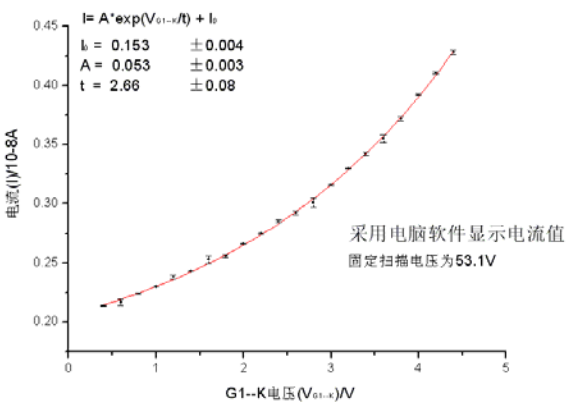
固定扫描电压为 76.8V，只使用电流计读数



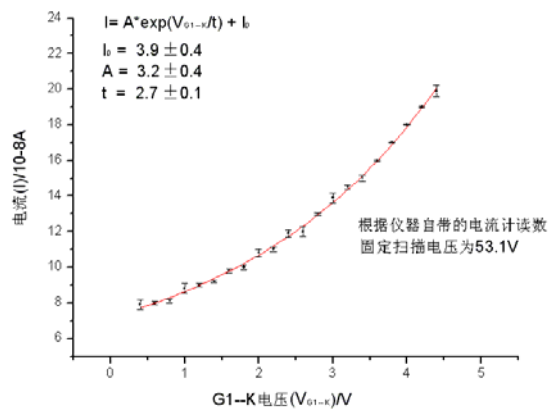
固定扫描电压为 58.0V 电脑软件读数



固定扫描电压为 58.0V 电流计读数

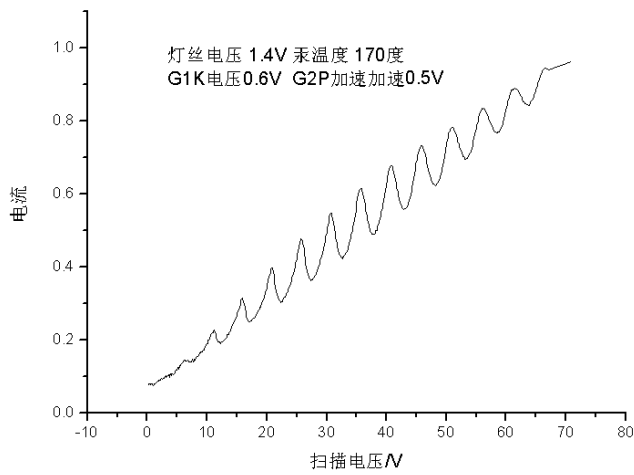


固定扫描电压为 53.1V 电脑软件读数

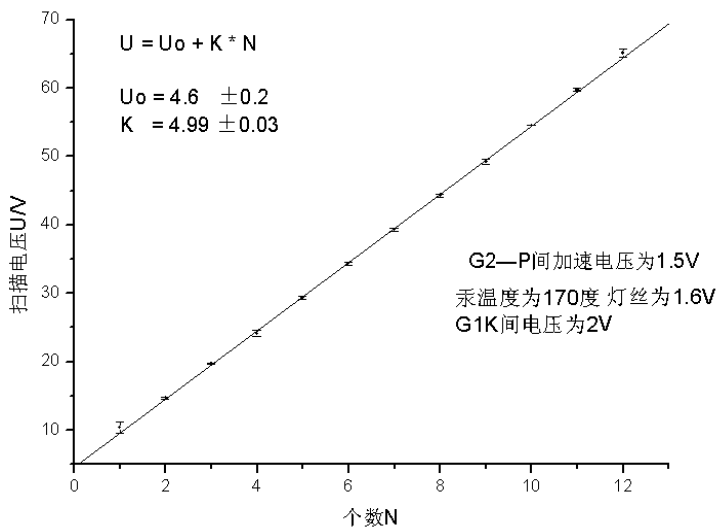
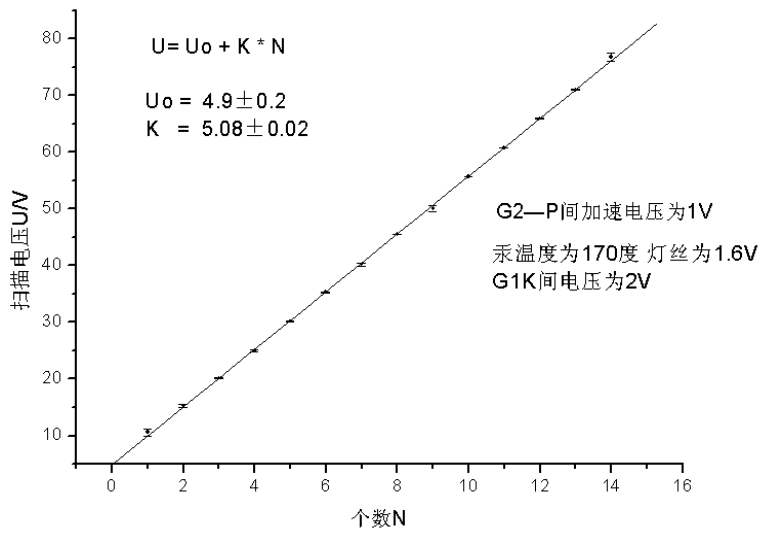


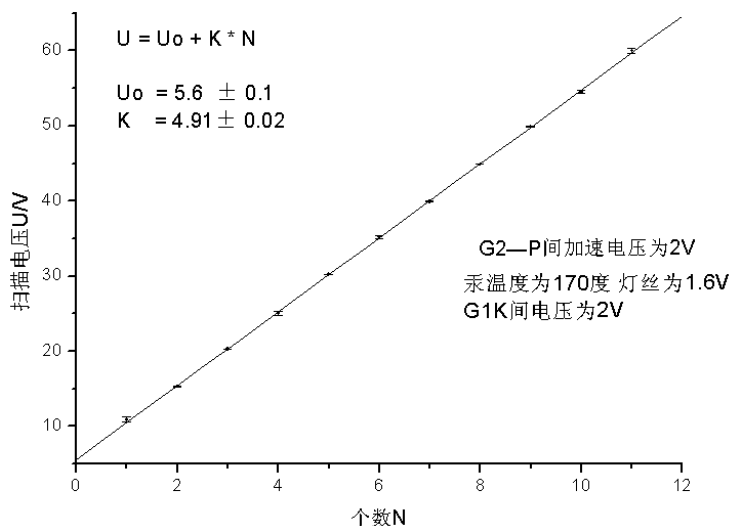
固定扫描电压为 53.1V 电流计读数

2.

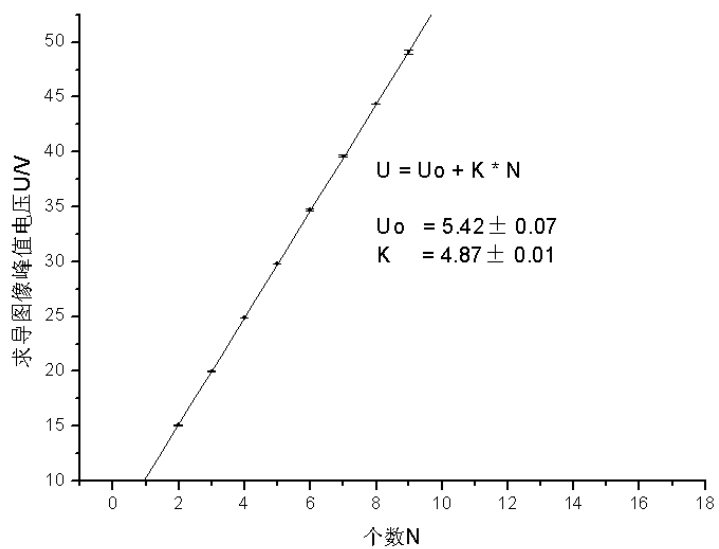


3.

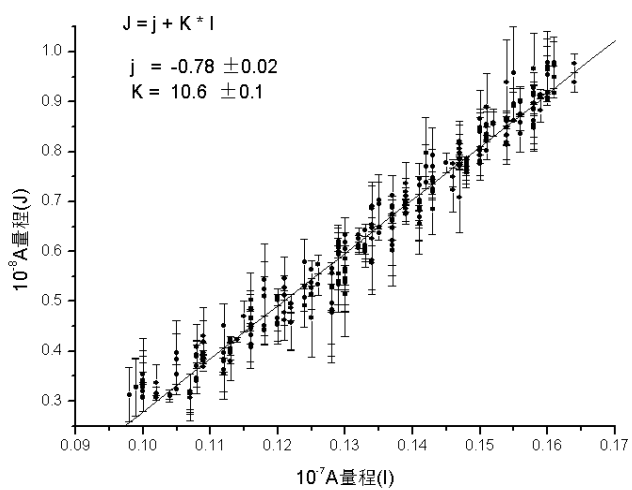




4.

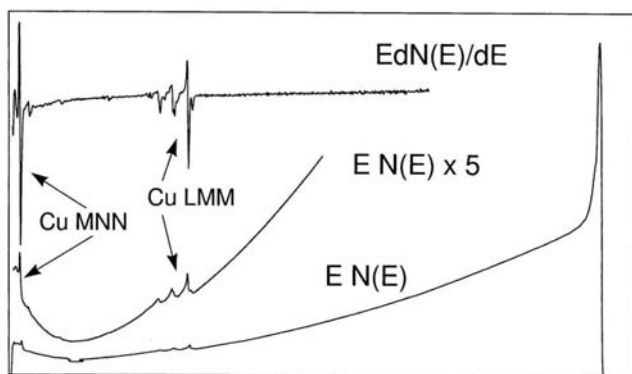


5.



6.

Auger Spectra



(来自：表面物理课件，2009，杨新菊)