

文章编号: 1004—5570(2005)02 - 0045 - 03

F—H 曲线影响因素的研究

周 勋, 姜 俊

(贵州师范大学 理学院, 贵州 贵阳 550001)

摘要: 夫兰克—赫兹实验是物理学史上具有重要地位的物理实验之一。由于夫兰克—赫兹管受温度、拒斥电压、灯丝电压等因素的影响, 使实验过程中 F—H 曲线形状将发生变化, 以至于不能有效地显示原子内部能量量子化效应的若干信息。本文深入探讨了 F—H 管在不同拒斥电压、温度、灯丝电压等条件下, 对实验曲线产生的影响。

关键词: 激发电位; 拒斥电压; 板极电流

中图分类号: O447 **文献标识码:** A

A study on factors effecting F - H curve

ZHOU Xun, JIANG Jun

(School of Physics and Chemistry, Guizhou Normal University, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: F - H experiment is one of the most important experiments in the history of physics. In the course of experiment, due to factors such as temperature, spurn voltage, filament voltage etc. the change will be occurred in the figure of F—H curve so that some information on the quantum effect of the energy within atoms will be not displayed availably. The paper analyses various conditions which will be changed during the experiments, and discusses such influences on the curve by various exclude voltage, temperature, filament voltage, etc.

Key words: inspire voltage; exclude voltage; pole electric current

0 引言

夫兰克—赫兹实验是物理学发展史上的著名实验, 它首次用慢电子与具有一定压力的单原子气体的原子碰撞, 使原子从基态跃迁到激发态, 测定了 Hg 原子的第一激发电位, 实验的结果通过吸收曲线宏观地显示出来, 第一次证明了原子内部存在能级的事实, 揭示了原子内部能量量子化效应, 获得了 1925 年诺贝尔物理学奖^[1]。由于实验曲线

受各种因素的影响, 使得实验曲线形状发生各种变化, 本文以实验为基础, 通过改变实验管的各种工作条件研究对曲线形状的影响, 为正确理解夫兰克—赫兹实验的结果提供更全面的依据。

1 实验

1.1 拒斥电压对 F - H 曲线的影响

图 1 为 F - H 实验仪的基本装置。图中 K 为阴极灯丝, G 为栅极网, A 为收集极^[2-4]。实验管

收稿日期: 2005 - 03 - 17

基金项目: 贵州省科学技术基金资助 (20013078)

作者简介: 周 勋 (1966 7 -), 男, 副教授, 研究方向: 凝聚态物理, 教学法。

具有真空三极管的特性,管内栅极网 G 和板极 A 距离很近。实验时栅极与板极间所加反向电压称为拒斥电压。本实验在 T_r 为 190, 灯丝电压 6.3 V, 拒斥电压分别为: - 2.0 V、- 3.2 V、- 4.2 V、- 5.2 V 条件下,用 $X - Y$ 函数记录仪 (电流放大率 10^{-5} , 轴 10mV/cm, 轴 5V/cm) 绘出一组实验曲线, 如图 2。从实验图象可知,随着拒斥电压的增大, $F - H$ 曲线的峰谷差值变小, 曲线变化趋于平缓, 这是由于拒斥电压对发生弹性碰撞后的电子的筛选作用造成的。

设拒斥电压为 U_{AB} , 由 $W = U_{AG} q$, q 电子的电量, 电子要能通过反向电场而到达收集板 A 板所具有的最低能量为 $W = U_{AG} q$, 在忽略重力的作用

下, 由能量守恒 $\frac{1}{2} m_e v^2 = W = U_{AG} q$ 得,

$$v = \left(\frac{2U_{AG}q}{m_e} \right)^{1/2} \quad (1)$$

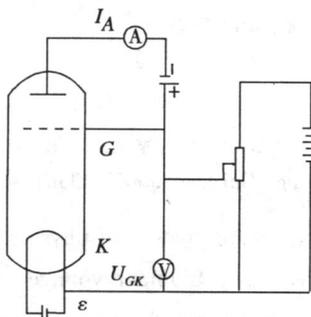


图 1 夫兰克—赫兹实验基本装置

Fig.1 The equipment of F - H experiment

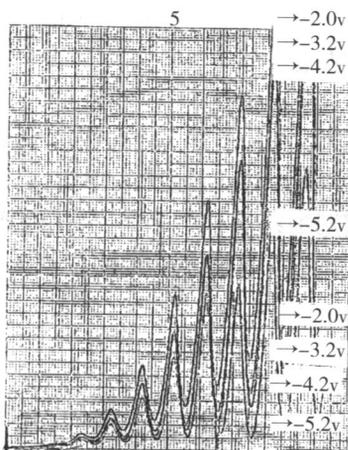


图 2 板极电流随拒斥电压增加的变化

Fig.2 A change of pole electric current with exclude voltage increasing

可见电子必须以 $v = \left(\frac{2U_{AG}q}{m_e} \right)^{1/2}$ 的速度穿过 G

网才能达到收集板 A , 形成板极电流 I_A 。当 U_{AG} 偏小时, 由 (1) 式知, v 也偏小, 即速度较小的电子穿过 G 网后, 也能通过反向电场到达 A 板, 形成板极电流 I_A 。所以拒斥电压对电子的筛选作用小, 从而使峰谷差距变大。(如图 $2U_{AG} = - 2.0V$ 时)。

当 U_{AG} 偏大时, 由 $v = \left(\frac{2U_{AG}q}{m_e} \right)^{1/2}$ 知, v 也偏大,

这就说明电子需要很大速度才能通过反向电场。如果电子在栅网 G 极附近与 Hg 原子发生非弹性碰撞而大量损失能量, 则不能通过反向电场形成板极电流 I_A , 这时的 U_{AB} 筛选作用过于明显, 使本来很多能达到板极的电子被筛去, 导致峰谷差距小。(如图 $2U_{AG} = - 5.2V$)。

实验表明, 拒斥电压 U_{AG} 取 - 2.0V 左右曲线效果适中。

1.2 F—H 管温度对曲线的影响

在相同的拒斥电压 (- 2.3V)、相同的灯丝电压 (6.3V) 下改变 $F - H$ 管的温度, 观察温度对曲线的影响。

炉温 T_r 在 186 ~ 200 之间变化, 每隔 2 由单笔 $X - Y$ 函数记录仪绘出 (Y 轴取 2 mV/cm, X 轴取 5 mV/cm, 电流放大率: 10^{-4}) 绘出一组曲线。实验结果如图 3。可见在同一灯丝电压, 同一拒斥电压下, 温度越低实验所产生的反向电流 I_A 越大。并且随着温度降低 I_A 的峰谷差也越来越大。这是由于当温度改变时, 汞的饱和蒸气压发生改变, 即汞蒸气的密度发生改变, 导致电子与汞原子碰撞的平均自由程发生改变所致。由气体分子运动论可知, 电子在 Hg 蒸气中运动的平均自由程为:

$$\bar{l}_e = \frac{1}{r^2 N} = \frac{kT}{r^2 p} \quad (2)$$

(式中 N 为单位体积内原子数, K 为玻尔耳兹曼常数, r 为气体原子的有效半径, P 为气体压强, T 为气体的绝对温度。)

当温度 T 升高时, P 急剧上升^[2]。因此 \bar{l}_e 随温度的升高而很快地减小。电子与原子的碰撞次数大大增加, 整个加速过程中弹性碰撞的总能量损失较大, 电子运动的方向也发生显著的变化。由于在加速电场的空间内, 电子在一个平均自由程 \bar{l}_e 内获得的能量与 \bar{l}_e 成正比, 与加速场间距 (阴极和栅极) 成反比, 所以当温度较高时, \bar{l}_e 较短, 电子能量值较小, 一个电子在两次碰撞之间获得的能量用于激发原子到较高能级的机会就较小, 而激发 Hg 原子到低能级的机会就较大, 电子在发生弹性碰撞后被折回

阴极的几率同时增大,电子剩下的能量不足以克服反向电场作用而到达极板,从而使得在同一灯丝电压,同一拒斥电压下,温度越高板极电流 I_p 越小,在曲线上表现为实验管温度越高,曲线越显平缓。

从图 3 还可以看出温度越低第一峰值越明显。这是由于在低温下,电子的平均自由程较长,即与汞原子碰撞的几率就很小,在每个自由程的间隔中电子从加速场获得的能量很大,电子很容易积聚 4.9eV 的能量,甚至更高能量把 Hg 原子激发或电离,曲线变化剧烈。

因此,一方面要防止 Hg 原子在低温下被电子大量电离,造成“电子繁流”现象^[5],击穿实验管,另一方面又要保证电流有足够大的放大率,即出现较明显的 F—H 曲线峰。实验证明, F—H 管的环境温度以 190~192℃,曲线效果明显。

2.3 灯丝电压对 F—H 曲线的影响

灯丝电压对曲线的影响较大,本实验在 T_R : 190℃,拒斥电压 -2.2V 时,灯丝电压调整范围为 4.8~6.8V,电流放大倍率为 10^{-5} ,用函数记录仪绘出一组实验曲线,如图 4。

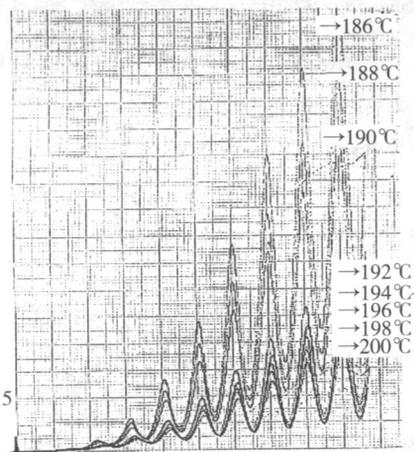


图 3 板极电流随实验管温度增加的变化

Fig. 3 A change of pole electric current with the temperature of experimental tube increasing

从实验结果可见:灯丝电压越高, F—H 曲线峰谷差距越大,灯丝电压减小后,峰谷差距开始不明显,曲线变化趋于平缓。

从阴极发射的热电子具有一定的初始动能,由于虚阴极的存在,相当于阴极前面形成的一个势垒,初动能小于势垒的电子都将被势垒反弹,即只有初动能大于势垒的电子才能到阳极。当灯丝电压过大时,阴极发射的电子数增多,初动能增大。从而穿过势垒的电子数较多,易使微电流放大器饱和,形成峰

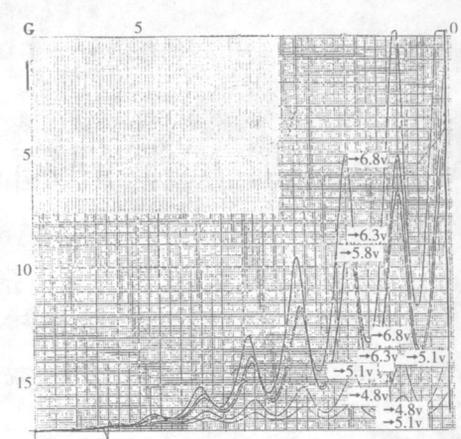


图 4 板极电流随灯丝电压增加的变化

Fig. 4 A change of pole electric current with filament voltage increasing

谷差距大的 F—H 曲线;当灯丝电压较小时,由于大多数电子初动能小,不能穿过势垒而被弹回,使得参加碰撞的电子数少,反映不出非弹性碰撞过程的能量交换,造成 F—H 曲线峰谷值相差不大。

实验表明,灯丝电压宜在 5~6.3V 所得到的曲线效果较好。

2 结束语

本文在实验的基础上研究了 F—H 管的拒斥电压、温度、灯丝电压对曲线形状的影响。分析了其影响的物理机制,得出了可证的参考数据。为了保证曲线有足够大的放大率,又要保证实验管内 Hg 原子不至于在低温环境下被高速电子大量电离,同时又要使拒斥电场对发生碰撞后的电子的筛选作用适中,实验证明在炉温 190℃ 左右,拒斥电压 -2.0~-2.3V 之间,灯丝电压在 5~6.3V 之间,微电流放大器为 10^{-5} 时得到的 F—H 曲线更能全面、有效地反应 F—H 实验管内低速电子与 Hg 原子碰撞过程中能量交换的物理信息。

参考文献:

- [1] 谭树杰,王华. 物理学上的重大实验 [M]. 北京:科学技术文献出版社,1987.
- [2] 吴思诚,王祖铨. 近代物理实验 1 [M]. 北京:北京大学出版社,1986.
- [3] 褚圣麟. 原子物理学 [M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [4] 邬鸿彦,朱明刚. 近代物理实验 [M]. 北京:科学出版社 2004.
- [5] 张新昌,刘晓苇. 弗兰克-赫兹实验中的气体击穿现象与空间电荷影响 [J]. 物理实验,1993,13(6):241-244.