

## 关于弗兰克-赫兹实验的思考

李 惠

(湖南省株洲市第二中学 湖南 株洲 412007)

文章编号:1002-218X(2019)09-0036-02

中图分类号:G632.42

文献标识码:B

**摘 要:**针对弗兰克-赫兹实验中学生对能量传递的量子化特征、为何要加反电压等问题上普遍存在理解上的难点这个现象,列举了具体的难点所在,并就这些难点进行思考,给出合理的解释。

**关键词:**弗兰克-赫兹实验;量子化特征;反电压;峰谷值

人教版普通高中课程标准实验教科书《物理》选修3-5第60页“科学足迹”栏目中介绍了弗兰克-赫兹实验(以下简称F-H实验),实验原理图如图1所示,详细介绍了用不同能量的电子束与汞原子碰撞,通过观察到只有某种能量的电子能激发汞原子来证明汞原子能量量子化这一原理。笔者在教学实践中发现学生在理解能量传递的量子化特征方面存在一定困难,主要疑问集中在:(1)电子与汞原子的碰撞是弹性碰撞还是非弹性碰撞?(2)电子的动能能否全部转移给汞原子?(3)如图2所示, $I-U$ 图像<sup>[1]</sup>中的第二峰、第三峰对应的加速电压差值都为4.9V,是不是意味着汞原子的基态、第一、二、三激发态之间的能级差都是4.9eV?(4)为何要加反电压?0.5V的反电压数值是否有特殊性?本文围绕以上四个疑问谈谈笔者的思考与理解。

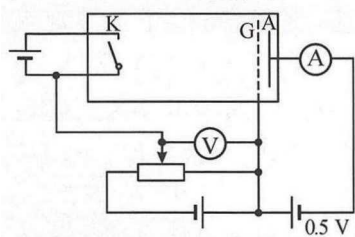


图1

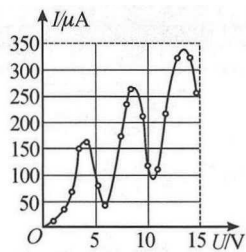


图2

## 一、电子与汞原子碰撞过程中的能量转移

## 1. 为什么用电子作为激发原子的手段

电子与汞原子发生碰撞,由质心运动定理可知,碰撞前后质心将保持匀速直线运动状态,真正

能使汞原子激发的最大能量是这种两粒子体系的质心系相对质心的相对动能,也称为资用能。可以假定碰撞前汞原子近似静止,体系资用能与入射电子的实验室动能存在以下关系式

$$E_k' = \frac{1}{2} \frac{m_e M}{m_e + M} v_0^2 = \frac{M}{m_e + M} E_{k0}$$

上式中, $m_e$ 、 $M$ 分别表示电子、汞原子的质量, $v_0$ 是入射电子的实验室参考系初速度, $E_k'$ 、 $E_{k0}$ 分别表示资用能和入射电子的实验室参考系初动能。电子与汞原子的质量之比约为1:370 000,所以, $\frac{M}{m_e + M}$ 近似为1,可以认为电子与汞原子碰撞时能转移给汞原子的最大能量为电子的全部初动能。因此,加速电子使之与原子发生碰撞作为激发原子的手段是十分有效的。

## 2. 碰撞的类型

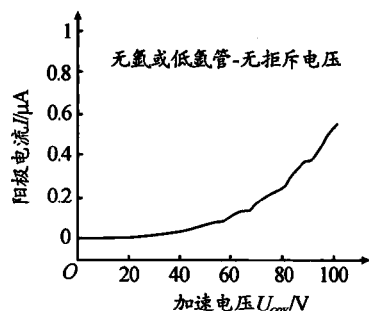
我们知道,宏观碰撞的恢复系数 $e$ 由碰撞双方的材料情况来决定,恢复系数 $e=1$ 的碰撞是弹性碰撞, $0 \leq e < 1$ 的碰撞是非弹性碰撞。电子与汞原子碰撞时,当电子因加速而获取的能量较低还不足以影响汞原子的内部能量时,汞原子不吸收能量,它们的碰撞可以认为是完全弹性碰撞<sup>[2]</sup>。当电子因加速获得较高能量,大于汞原子从基态到第一激发态的能量差值时,如果它们发生碰撞,电子的动能部分或者全部被汞原子吸收,因此,电子的动能会显著减小,不能克服反电压而到达极板A,从而引起极板电流 $I$ 出现周期性降低,形成如图2所示的规则起伏的曲线。

## 二、反电压的作用与数值大小对实验的影响

现今实验室的 F-H 实验仪都选用氩气代替汞蒸气,氩原子的基态与第一激发态之间的能级差为 11.8 eV。我们分三步来看看反电压在实验中所起的作用。

### 1. 无氩蒸气,不加反电压

我们在一批老化的 F-H 管中挑选一支氩气泄露最为严重的 F-H 管连接到 ZKY-FH 型氩管弗兰克-赫兹实验仪,得到  $I-U$  图像如图 3 所示<sup>[4]</sup>。由图可知,随着加速电压的增大,接收极 A 上的电流也逐步增大,但没有规则起伏的峰谷出现。

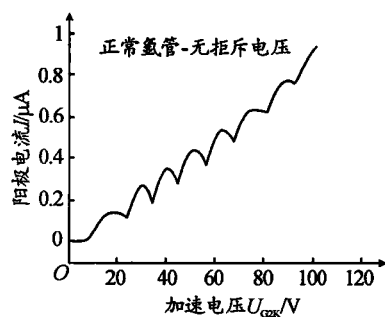


F-H 管无氩或低氩情况,不加拒斥电压,  
阳极电流随加速电压变化曲线

图 3

### 2. 有氩气,但不加反电压

正常充氩的 F-H 管在没有反电压时,得到  $I-U$  图像如图 4 所示<sup>[4]</sup>。接收极 A 上的电流随着加速电压的增大,其幅度整体呈现上升趋势,但有较小的振荡,已经表现出了峰谷特征。这种较小的幅度振荡,体现了氩气的作用。



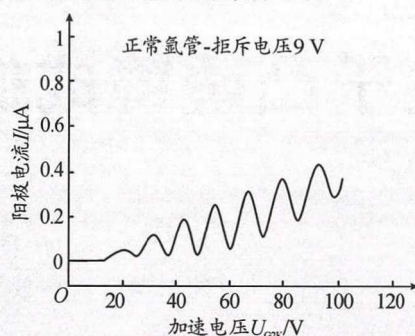
F-H 管正常充氩情况下,不加拒斥电压,  
阳极电流随加速电压变化曲线

图 4

### 3. 有氩气,加反电压

正常充氩的 F-H 管在加上适当数值的反电压时,得到  $I-U$  图像如图 5 所示<sup>[4]</sup>。接收极 A 上的电流随着加速电压的增大,其幅度整体呈现上升趋势,同时表现出非常明显的峰谷特征。这种明显的

峰谷特征是加了反电压的结果。



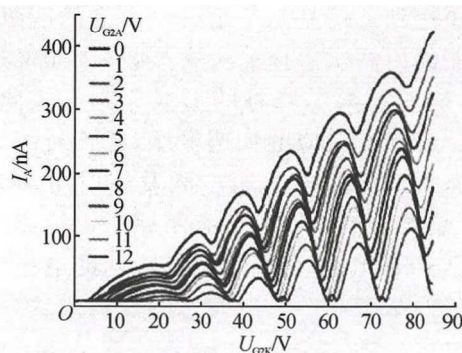
F-H 管正常充氩情况下,加上拒斥电压,  
阳极电流随加速电压变化曲线

图 5

为什么反电压对实验图像有这么明显的作用呢?我们先从阴极 K 说起,金属丝阴极通电后,炽热的金属丝发射电子,这些电子从金属丝表面逸出时,速度方向和大小是杂乱无章的,要描述其沿 KG 方向的速度,必须用到麦克斯韦一维速度分布律

$$f(v_x) = \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{1/2} e^{-\frac{mv_x^2}{2kT}} \quad (\text{取 KG 方向为 } x \text{ 方向})$$

从以上表达式可以分析得出,沿 KG 方向指向栅极 G 方向的电子速率越大,其概率密度呈指数式衰减,即电子的个数越少,速率越小的电子个数越多。如果能阻止速率较小的电子到达接收极 A,就能使得接收极 A 上的电流明显减小。也就是说,较小值的反电压的存在对大概率的小能量的电子起到了筛选作用。基于反电压的这种作用,我们其实可以给反电压取不同的数值。实验发现,如图 6 所示<sup>[5]</sup>,反电压太小,峰谷电流差别偏小且后面的波峰抬升又过快,影响等精度测量;反电压太大,电子被减速抑制得越多,接收极 A 上的电流太小,也不便于测量。所以,在实际的实验过程中要选择合适的反电压。



不同拒斥电压下  $I_A-U_{G2K}$

图 6

关于凸透镜成像规律教学的几点思考<sup>\*</sup>

马晓妍 刘艳超 杨 薇

(沈阳师范大学教师专业发展学院 辽宁 沈阳 110034)

文章编号:1002-218X(2019)09-0038-04

中图分类号:G632.42

文献标识码:B

**摘 要:**凸透镜成像规律具有内容多、成像情况复杂、数据分析与论证要求高等特点,是学生学习的难点之一。通过对凸透镜成像规律实验教学现状的梳理,发现主要存在找像困难、读数易错、分析不足等问题。针对存在的问题,进行归因分析并尝试提出改进建议。

**关键词:**凸透镜成像;实验教学;改进建议

### 一、凸透镜成像规律教学现状管窥

通过对不同学校、不同教师凸透镜成像规律实验教学的观摩发现,探究凸透镜成像规律的实验设计,主要有三种方式:

(1)按照苏科版、沪科版教材的设计,采用限制成像性质的方式,分别得到倒立缩小的像、倒立放大的像和倒立等大的像,记录物距及像距,再设法引导学生得到正立放大的像。

(2)依照人教版、教科版和北师大实验版教材

的设计思路,采用限制物距的方法。例如,把物体放在距凸透镜较远的地方,然后逐渐移近,观察成像的情况。

(3)参照北师大版教材,采用开放的探究模式,通过问题与猜想“改变物体与透镜之间的距离,得到不同物距的像。那么,透镜与物体之间的距离及透镜的焦距是怎样影响像的正倒、虚实、大小的呢?”进而制定计划,进行物距与像的探究<sup>[1]</sup>。目前,教材中的不同设计思路在教学中都有应用,通

### 三、相邻峰-峰、谷-谷对应的加速电压差值基本相等的解释

电子从阴极 K 到栅极 G 的过程中一直受电场的加速作用,当加速电压较大时,电子在 K、G 之间将会发生“多次加速—与汞原子碰撞—加速—第二次碰撞……”的多次碰撞过程。例如,当 K、G 间的加速电压达到 2 倍基态与第一激发态的能级差时,电子可能经历两次碰撞而失去能量,因而又造成电流下降,这就是第二峰谷的形成原因。依此类推,第一、二、三峰所对应的加速电压,并不对应着汞原子由基态跃迁至第一、二、三激发态时所需要的能量,而只是电子被不同的基态汞原子进行 1、2、3 次吸收而已。因此,任意相邻两峰之间的电压差对应着汞原子的基态与第一激发态的能级差。

### 参考文献

- [1] 人民教育出版社,课程教材研究所,物理课程教材研究开发中心. 普通高中课程标准实验教科书物理选修 3—5[M]. 人民教育出版社,2007:60-61.
- [2] 杨福家. 原子物理学[M]. 北京:高等教育出版社,2018:54-58.
- [3] 毕升,高国棉. 基于 Origin 软件的 Franck-Hertz 实验数据处理[J]. 大学物理实验,2014,27(2):98-100.
- [4] 蒲贤洁,丛杨,何光宏,等. 三步法讲解弗兰克-赫兹实验原理[J]. 大学物理实验,2017,30(2):83-85.
- [5] 白忠,苗仁德,林上金,等. 弗兰克-赫兹实验中管板电压对实验曲线影响的研究[J]. 实验室研究与探索,2015,34(6):59-62.

<sup>\*</sup> 基金项目:教育部人文社会科学青年基金项目“中学理科教师个体知识构成、发展及评价的实证研究”,课题编号:17YJC880073;辽宁省教育科学“十二五”规划课题“中学理科教师教学设计能力发展的行动研究”课题批准号:JG15DB013.