

# 从阴极射线到电子

黄 东

(河南开放大学信息工程学院 河南 郑州 450046)

(收稿日期:2021-03-18)

**摘要:**根据经典文献综述了从发现阴极射线到确定是电子这段过程,介绍了莱纳德、佩林特别是汤姆孙的实验,以及如何认定阴极射线就是电子流的物理学史料.

**关键词:**阴极射线 佩林 汤姆孙 电子

## 1 在放电管中发现阴极射线

19世纪中叶,电磁学的唯像理论已经被法拉第、麦克斯韦等这样的物理大家网罗殆尽,但是大家还不知道电子是何物.1859年波恩大学的物理系教授普吕克(J·PLücker)用盖斯勒制作的放电管放电时在阳极后面的玻璃管壁上出现了一种浅绿色的光芒,用磁铁靠近还会看到绿光也随之晃动.他直观感觉这绿光是从阴极发出的某种辐射造成的,称其为阴极射线,引起了学术界的极大关注.

1869年约翰·希托夫(J. W. Hittorf)想到要设法将阴极和阳极间的电流与阴极射线区分开来,他将放电管的阳极和阴极垂直摆放,放电时观察到阴极直对的管壁上出现了光影,这表明阴极射线像光一样是直线传播的,这样的管子叫希托夫管,如图1所示.

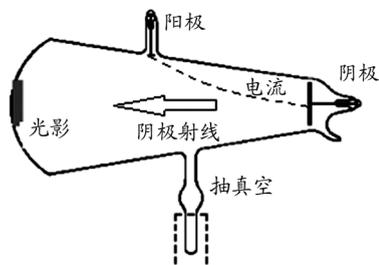


图1 希托夫管

1875年英国化学家兼物理学家威廉·克鲁克斯(W. Crookes)展示了他自己制作的新型放电管,在管内阳极的位置他放了一个云母片做的马耳他十字架,加上高压时管底上就出现十字架的阴影,后来称其为克鲁克斯管或克鲁克斯-希托夫管,如图2所示.

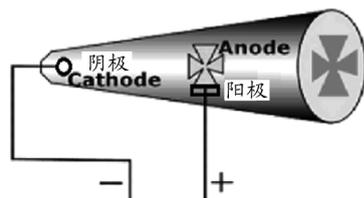


图2 克鲁克斯管

## 2 佩林实验确定阴极射线是带负电的粒子

为检验放电管中阳极周围的阴极射线是不是电荷,1895年法国物理学家佩林(J. Perrin)将阳极做成圆筒状,将一个小的法拉第圆筒作为内筒嵌入放电管的阳极中(图3)<sup>[1]</sup>,阳极接地并与法拉第圆筒绝缘,当阴极射线射入内筒时与其相连的验电器检测到电压的突变,于是判定阴极射线就是带负电荷的粒子流.

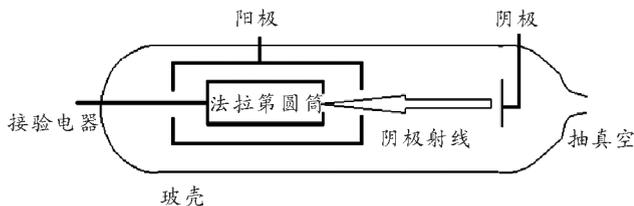


图3 佩林实验用的放电管

## 3 将阴极射线从放电管中引出来(莱纳德窗口)

赫兹观察到阴极射线可以穿透铝箔从而推测这可能是某种未知的辐射,他将这个问题交给莱纳德(Plénard)继续研究.可是莱纳德的深入研究表明阻碍阴极射线传播的主要因素竟只是物质的质量,所有材料对于阴极射线来说都是“透明的”.开始发现铝有这种性质只不过是铝较轻且延展性好罢了.

了.1894年莱纳德制作出了一个以薄石英片为窗口(称为莱纳德窗口,如图4)的放电管让阴极射线从管底穿出,从此就可以在放电管之外研究阴极射线了[2].

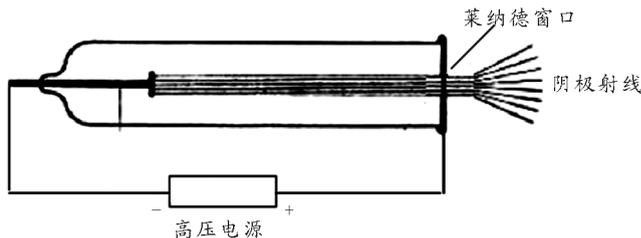


图4 莱纳德窗口

1897年,维恩利用莱纳德窗口对佩林的实验作了推广.他让从放电管上射出的阴极射线对准法拉第圆筒,在空气中直接检验法拉第圆筒上电压的变化,得到与佩林实验相同的结论,再次证实了阴极射线是快速移动的带负电的粒子流.

#### 4 汤姆孙的实验和结论

1897年汤姆孙(J. Thomson)向英国皇家科学院报告了他关于阴极射线的一系列实验及结论[3].

汤姆孙展示的第一个实验是阴极射线与磁场的相互作用,用了佩林和维恩实验基础上改进的自制设备(图5).阴极射线从放电管内发出通过莱纳德窗口进入到一个较大的钟形玻壳中在那里与磁场相互作用,当速度、磁场满足一定条件时射线会恰好通过装置的狭缝进入法拉第圆筒被检测到是否带电荷.实验表明阴极射线在磁场的作用下与带负电的粒子的行为完全相同.

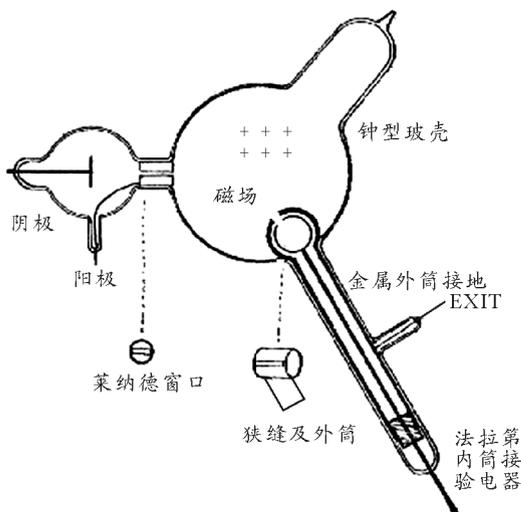


图5 汤姆孙的第一个实验设备

有相互作用,如果阴极射线就是带负电的粒子,那么说它只与磁场作用而不与电场作用是不可思议的,汤姆孙展示的第二个实验就是为了否定赫兹的这个结果.他制作了一个一米多长的克鲁克斯管(图6),管的中段设置平行板电场,末端玻壳上涂有荧光粉可显示阴极射线运行到达的位置,设备与当年赫兹用的基本相同,只是随着技术的发展管内的真空度可以有一个较大的提高.实验发现,当管内的真空度不高时平行板电场对阴极射线的轨迹确实没有影响,当管内的真空度提高后,管内残留的气体对阴极射线运动的影响可以忽略时平行板上的电场就对阴极射线的运动产生明显的影响,与带负电荷粒子的行为完全相同.

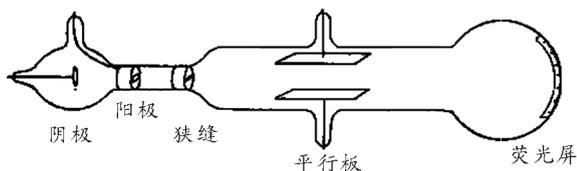


图6 汤姆孙的第二个实验用的克鲁克斯管

根据以上两个实验汤姆孙说,由于在电场及磁场的作用下阴极射线与带负电粒子的行为一模一样,我不得不说阴极射线就是带负电的粒子流.汤姆孙还用不同阴极材料作实验,所得的阴极射线没有区别,表明这些阴极射线都是从原子中出来的同一种东西.

然而,这种粒子质量如何、电荷量多少自然是接着需要解决的问题.虽然限于当时的技术条件无法直接测到,但是却能计算出来该粒子的荷质比,汤姆孙将磁场加在克鲁克斯管上让阴极射线与加电场时得到同样的偏转,再比较这些实验参数就得到了荷质比,他还用热力学方法在不同介质的情况下去测定这个荷质比所得结果大同小异,是氢原子荷质比的千分之一左右.汤姆孙于是得出结论:阴极射线是从原子中分离出来的带负电的某种“小体”,这些小体或者就是原子的“细胞”.

#### 5 确认电子

1906年汤姆孙荣获了诺贝尔物理学奖.他在获奖的演讲中介绍了他的学生威尔逊最新测得的“小体”的电荷量[4],有趣的是这个电荷量居然与电解中氢原子吸附的电荷值完全相同,都是  $3.1 \times 10^{-10}$

赫兹1892年曾做实验声称阴极射线与电场没

(下转第161页)

际问题中抽象出物理模型的能力,灵活运用所学知识解决实际问题的能力.并且让学生在高中物理的学习中不再感到物理“空洞”“无用”,促进学生核心素养的发展.

### 参考文献

- 1 中华人民共和国教育部.普通高中物理课程标准(2017年版)[S].北京:人民教育出版社,2018
- 2 彭前程.物理学科核心素养的理解与践行——以人教版高中物理教材为例[J].物理教学,2020,42(2):6~12

(上接第157页)

静电单位.汤姆孙此时还公布了“小体”荷质比的新数据是氢离子荷质比的 $\frac{1}{1\ 700}$ ,这比1897年汤姆孙公布的 $\frac{1}{1\ 000}$ 和1896年佩林公布的 $\frac{1}{2\ 000}$ 更接近现在的公认值 $\frac{1}{1\ 836}$ ,这样算得“小体”的质量就与现在的公认电子的质量 $9.1 \times 10^{-28}$  g差不多.

1834年法拉第发现表明每个原子吸附的电荷都和氢原子的电荷一样大,或者与原子的化合价值相对应的简单倍数.爱尔兰物理学家约翰·斯通尼(G. Stone)在研究电解质时发现对应于拆解每个化学键的电量都是一样的,1874年他在论文《自然的物理单位》中呼吁人们应该注意这个在化学实验中的最小电荷单位,随后他称之为“电子”<sup>[5]</sup>.爱尔兰物理学家菲茨杰拉德曾指出,汤姆孙说的“小体”实际上就是斯通尼说的“电子”.但汤姆孙坚持与其保持距离只承认阴极射线中的每条射线都可能携带着斯通尼说的最低电荷量.

在从阴极射线到认定电子的过程中5位诺奖大师莱纳德、佩林、维恩、汤姆孙和威尔逊先后都作出了杰出的贡献,电子的发现不可能是一个人的功绩.汤姆孙1906年荣获诺贝尔物理学奖时官方正式理由中没有提及阴极射线或电子,只是“表彰他关于气体电导的理论和实验研究的伟大优点”.不过瑞典皇家科学院院长J.克拉森教授在授予汤姆森诺奖的演说中则肯定了他的这项功绩,说汤姆孙“通过一系列极其巧妙的实验……确定了这些带电小粒子最重要的特性.在这些带电的小颗粒中,最引人注目的是那些在高度稀薄气体中的阴极射线粒子.这些小

- 3 葛正洪.从核心素养视角谈物理新教材“问题”栏目的设计[J].物理教师,2020,41(2):14~16
- 4 教育部考试中心.注重理论联系实际加强物理学科素养考查——2019年高考物理试题评析[J].中国考试,2019(7):15~19
- 5 张平.还原习题本质培育学科素养——苏科版初中物理教材“WWW”习题使用的新视角[J].物理教学探讨,2019,37(12):18~21,25

粒子被称为电子,被许多研究者作为非常深入的研究对象.”<sup>[6]</sup>克拉森在这里没有采用汤姆孙本人说的“小体”的称谓而直呼其“电子”,“汤姆孙发现电子”就这样得到了肯定.场面上汤姆孙对此既没有苟同也没有反对,而是保持距离“各说各话”,直到1913年他还在坚持他发现的是“小体”.但人们毕竟还是逐渐地淡忘了汤姆孙的态度而普遍接受了斯通尼的命名.因此有“汤姆孙发现了电子,斯通尼提前给电子起了名字”一说.法拉第的电解定律和斯通尼对化学键电量的分析已经揭示了电子量子化的事实,众多科学家对此进行了探究,佩林和汤姆孙通过放电管上的实验确定了电子的粒子特征,从而打破了原子是不可再分的结论,推开了探测亚原子结构的大门.

### 参考文献

- 1 Jean Perrin. New experiments on the cathode rays[J]. Nature, 1896(53):298~299
- 2 Philip Lenard. On Cathode Rays[Z]. Nobel Lecture in Physics, 1906, 105~134
- 3 J. Thomson. Cathode Rays[J]. Philosophical, 1897(44):293
- 4 J. Thomson(汤姆孙). Carriers of Negative Electricity, 1906年12月11日诺贝尔奖讲座, [from Nobel Lectures: Physics, 1901-1921 (Amsterdam: Elsevier, 1967)], 145~153
- 5 G. Stoney(斯通尼). Of the "Electron," or Atom of Electricity[J]. Philosophical Magazine, 1894(5):418~420
- 6 J. P. Klason(克拉森). 1906年12月10日在诺贝尔物理奖颁奖会上的祝词[from Nobel Lectures: Physics, 1901-1921 (Amsterdam: Elsevier, 1967)], 142~144