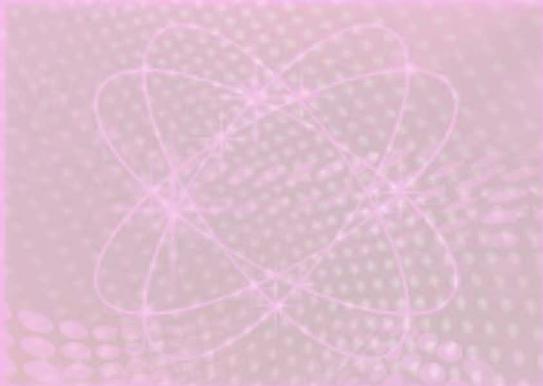


探索未知

诺贝尔物理学奖精选(理论篇)

北京未来新世纪教育科学发展中心 编



新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

探索未知

诺贝尔物理学奖精选（理论篇）

北京未来新世纪教育科学发展中心 编

新疆青少年出版社
喀什维吾尔文出版社

图书在版编目(CIP)数据

探索未知/王卫国主编.—乌鲁木齐:新疆青少年出版社;喀什:喀什维吾尔文出版社,2007.6

ISBN 978-7-5373-1464-0

I. 探... II. 王... III. 自然科学—青少年读物 IV. N49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097778 号

探索未知

诺贝尔物理学奖精选(理论篇)

北京未来新世纪教育科学发展中心 编

新疆青少年出版社 出版
喀什维吾尔文出版社

(乌鲁木齐市胜利路二巷 1 号 邮编:830049)

廊坊市华北石油华星印务有限公司 印刷

开本:787mm×1092mm 32 开

印张:300 字数:3000 千

2007 年 7 月修订版 2007 年 7 月第 1 次印刷

印数:1—3000

ISBN 978-7-5373-1464-0

如有印装质量问题请直接同承印厂调换

前 言

在半年之前,本编辑部曾推出过一套科普丛书,叫做《科学目击者》,读者反应良好。然而,区区一部丛书怎能将各种科学新知囊括其中?所未涉及者仍多。编辑部的同仁们也有余兴未尽之意,于是就有了这套《探索未知》丛书。

《科学目击者》和《探索未知》可以说是姊妹关系,也可以说是父子关系。说它们是姊妹,是因为它们在方向设定、内容选择上不分彼此,同是孕育于科学,同为中国基础科普而诞生。说它们是父子,则是从它们的出版过程考虑的。《科学目击者》的出版为我们编辑本套丛书提供了丰富的经验,让我们能够更好的把握读者们的需求与兴趣,得以将一套更为优秀的丛书呈献给读者。从这个层面上讲,《科学目击者》的出版成就了《探索未知》的诞生。

如果说《科学目击者》只是我们的第一个试验品,那么《探索未知》就是第一个正式成品了。它文字精彩,选

题科学,内容上囊括了数学、物理、化学、地理以及生物五个部分的科学知识,涵盖面广,深度适中。对于对科学新知有着浓厚兴趣的读者来说,在这里将找到最为满意的答复。

有了《科学目击者》的成功经验,让我们得以取其优、去其短,一直朝着尽善尽美的目标而努力。但如此繁杂的知识门类,让我们实感知识面的狭窄,实非少数几人所能完成。我们在编稿之时,尽可能地多汲取众多专家学者的意见。然而,百密尚有一疏,纰漏难免,如果给读者您的阅读带来不便,敬请批评指正。

编 者

目 录

1928 年诺贝尔物理学奖	
——热电子发射定律·····	1
1945 年诺贝尔物理学奖	
——泡利不相容原理·····	9
1961 年诺贝尔物理学奖	
——核子结构和穆斯堡尔效应·····	14
1963 年诺贝尔物理学奖	
——原子核理论和对称性原理·····	23
1975 年诺贝尔物理学奖	
——原子核理论·····	30
1977 年诺贝尔物理学奖	
——电子结构理论·····	37
1979 年诺贝尔物理学奖	
——弱电统一理论·····	43

1982 年诺贝尔物理学奖	
——相变理论	49
1985 年诺贝尔物理学奖	
——量子霍尔效应	57
1998 年诺贝尔物理学奖	
——分数量子霍尔效应的发现	65
1999 年诺贝尔物理学奖	
——电弱相互作用的量子结构	71



1928 年诺贝尔物理学奖 ——热电子发射定律

1928 年诺贝尔物理学奖授予英国伦敦大学的里查森,以表彰他对热电子发射现象的工作,特别是发现了以他的名字命名的定律。

20 世纪前半叶,物理学在工程技术方面最引人注目的应用之一是在无线电电子学方面。无线电电子学的基础是热电子发射。当时名为热离子学的学科,研究的就是热电子发射。热电子发射定律的发现对无线电电子学的发展有深远影响,因为不论是早期的二极管和三极管,还是后来的 X 射线管、电子显像管和磁控管、速调管,都离不开发射电子的热阴极。要使这些器件能够高效率、长寿命地工作,关键在于设计合理的电子发射机构。里查森定律为此指明了道路。这一事例又一次证明了基础研究对科学技术的重要意义。

热离子现象的观测可以溯源到二百多年前,那时人们已经知道,灼热物体附近的空气会失去绝缘性能而导电,1725 年杜菲就注意到了这一现象,后经托尔、瓦森、普列斯特利、卡瓦洛不断进行观察,积累了许多这方面的



探索未知

资料。1853年贝克勒尔证明,白热状态下的空气只需几伏电压就可以导电;1881年布朗诺进一步肯定了上述结论,证明即使电压低到 $1/1000\text{V}$,白热状态的空气也不能保持绝缘。后来研究者转向灼热物体对空气导电的影响,致力于追寻这一影响的根源。1873年古利让加热的铁球带电,发现红热的铁球能保留负电,却不能保留正电;白热的铁球既不能保留负电,也不能保留正电。爱斯特和盖特在1882~1889年进行了一系列实验研究,检测了在不同压强下各种气体中靠近各种热丝的绝缘金属板所聚集的电荷,得到一条结论:在温度低、气压高的状态下,金属板带正电;在温度高、气压低的状态下,金属板带负电。

此时发明家爱迪生正在研究电灯泡。他在灯泡中靠近灯丝的地方装上一块金属片,发现当金属片经电流计同灯丝电源的正极接通时,电流计的指针偏转,显示有电流从灯丝越过空间到达金属片。这就是所谓的爱迪生效应。但在当时爱迪生并没有搞清楚这一电流的本质。

1897年,汤姆孙通过阴极射线荷质比(e/m)的测量发现了电子。1899年他进一步研究了爱迪生效应中越过空间的电流,用磁偏法测出其荷质比,证实这种电流也是由电子组成。第二年他的学生麦克勒伦指出只要周围气体的压强足够低,从带负电的铂丝放出的电流就几乎完全不受气体性质和压强变化的影响。这些结果引起了汤姆孙另一位年轻学生的极大兴趣,他就是里查森。在导师的鼓励下,他热忱地投身于这项研究中。

里查森从1900年起投身于热离子现象的研究,前后



历时十余年。他一方面不屈不挠地从事实验工作；另一方面还下很大功夫进行理论分析。摆在里查森面前的是十分复杂的现象。如果没有理论指导，就只能停留在表面现象，难以探讨事物的本质；如果不掌握精确的数据资料，再好的理论也得不到证实。前人的研究成果固然提供了许多有用的依据，但也充斥着形形色色的说法。例如：有人认为热离子现象是以太行为的某种表现；有人把气体导电现象归因于以太；也有人认为不同的材料有不同的属性，因而发出不同的电荷；还有人认为这是一种化学效应，是由于热体和周围的气体分子相互作用的结果。

21岁的里查森从导师汤姆孙和同学麦克勒伦的实验结果得到启示，判定只要尽量抽成真空，排除残余气体，然后直接研究饱和和电流，就有可能抓住事物的本质。

关于实验工作的艰难，从里查森1928年诺贝尔领奖词中可窥见一二。他说：“我认识到，要取得进展，最好的办法是避免由于气体在场的复杂性，尽可能搞清楚气体效应排除之后会出现什么情况。本世纪之初解决这个问题不像现在（注：指1928年）这样容易。主要是由于这个现象在技术上的重要性，从那时起抽气工艺已大大地发展了。当中只有靠手摇泵抽气。由于热丝给器壁和其他部分加热会产生无休止的放气，抽气是一件最厌烦的操作。我常常连续几个星期给管中金属丝加热，来保证观察到的电流稳定，并保证这个电流与残余气体无关。”

他的真空管里装有铂丝，铂丝周围是一金属筒作为阳极，电极间加足够强的电场。温度从铂丝的电阻变化可以算出。改变铂丝温度 T ，测不同温度时发射的饱和



探索未知

电流 i , 得到的曲线看上去像一根直线。

但是要获得严格的函数关系光靠实验是不够的。里查森坚信热丝周围的电荷主要是从热丝内部由于热运动逸出的自由电子, 而不是什么以太效应, 这可从汤姆孙的荷质比实验得到证明。把这些电子看成电子气, 就有可能象分子运动论处理理想气体一样推出饱和电流随温度变化的公式。

里查森推导这一公式的基本思想是: 在热金属内部充有大量自由运动的电子, 当电子到达金属表面时, 如果和表面垂直的速度分量所决定的动能大于逸出功 W , 这个电子就有可能逸出金属表面, 而电子的速度分布遵循麦克斯韦-玻耳兹曼分布律。经过计算得出:

$$i = AT^{\frac{1}{2}} \exp(-W/kT) \quad (1)$$

式中 i 是热体发出的饱和电流密度, k 是玻耳兹曼常数, A 是与材料有关的系数。里查森的实验数据表明, 理论与实验符合甚好。

这就是 1901 年里查森发表的基本内容。

里查森进一步研究热体周围的正离子。他通过大量实验终于搞清楚, 正离子的产生非常复杂。有的是电极本身在加热时发出的, 有的是杂质引起的, 有的确是由于加热电极与周围气体之间的相互作用。

他证实这些正离子和负电子一样, 也遵循同样的规律, 即 $i = aT^{\frac{1}{2}} \exp(-b/JT)$, 其中 a 和 b 也是两个待定的系数。

里查森还发现固体样品在第一次加热时总要先发射



大量正离子,形成瞬态电流。去掉杂质后,才开始稳定地发射正离子。瞬态电流显然是杂质引起的,稳态电流才是由电极本身材料产生的正离子组成。

为了检验推导公式所依据的基本前提是否正确,里查森提出两条途径。一条途径是如果电子确实是依靠克服了逸出功 W 的动能从热体逸出,则热体必会由于这个过程而降温。为此里查森于 1903 年作了计算。1909 年韦勒尔特和琴希首次实验证实,不过数值与理论不符。1915 年里查森和库克合作,改进实验方法,最终确认了理论的正确。

另一途径是其逆过程。里查森提出,如果电子束是从外部流进导体,则导体应发热,热量既与温度无关,也与驱动电子流的电势差无关。1910 年~1911 年,里查森和库克的实验对此也作了肯定的证明。

直到 1913 年,还有人对热电子发射的理论表示怀疑,总认为这不是物理问题,而是化学问题,是由于热体与周围气体产生化学作用的某种二次过程。1913 年,里查森用压延性良好的钨代替铂充当热丝,有了更好的真空条件,产生大得多的发射电流。他证明发射出来的电子所具有的质量大大超过可能消耗掉的化学物品的质量总和。于是他以确凿的事实令人信服地作出了判断。

1911 年,里查森用热力学方法对热电子发射公式进行了严格推导,在推导中考虑到电子对金属比热不作贡献的事实,得出第二个公式:

$$i=A'T^2\exp(-W^2/kT)$$



探索未知

其中 A' 、 W' 是两个有别于 A 、 W 的系数,不过它们之间可以互相推算。

两个公式,一个与 $T^{\frac{1}{2}}$ 有关,一个与 T^2 有关。里查森认为上述公式可取,因为它具有更好的理论基础。两个公式都在误差范围内与实验相符,无法用实验作出判决。

1915年,里查森证明公式中的 A' 是与材料无关的普通常数,于是更显示出上述公式的优越。1923年,杜许曼(S. Dushman)推导出

$$A' = \frac{2\pi me k}{h^3} = 60.2 A/\text{cm}^2 \cdot \text{deg}^2$$

基本上与实验相符。

后来,量子力学发展了。令人惊奇的是,1911年里查森提出的第二个热电子发射公式竟经受住了量子理论的考验。1927~1928年,泡利和索末菲把费米-狄拉克量子统计分布用于金属电子运动,推出的热电子发射公式和里查森的公式完全一致。

里查森 1879 年出生在工业器材经销商的家庭里,从小就显露天赋,12岁在中学以优异成绩获奖学金,赢得过多项竞赛,1897年靠奖学金进入剑桥大学三一学院,在汤姆孙领导的卡文迪什实验室学习。这一年正值汤姆孙发现电子。1900年里查森大学毕业,由于他对热离子学的积极钻研,学校留他在卡文迪什实验室继续研究。他的工作富于创造性,既认真实验,也注重理论。1901年在剑桥哲学学会上宣读了两篇论文,第一次提出了热离子遵守的规律,受到同行的好评。1902年里查森被推



选为三一学院委员,1906年,27岁的里查森应邀赴美,到普林斯顿大学任物理学教授,在那里继续开展热离子学的研究。热离子学(thermodynamics)这个词就是他在1909年作为论文题目首先提出的。里查森给研究生讲课的讲稿于1914年出版,书名《物质的电子论》,后来成为对电子学和无线电有兴趣的学生学习的主要课本。受他指导的研究生中有K. T. 康普顿和A. H. 康普顿两兄弟。A. H. 康普顿以发现“康普顿效应”获1927年诺贝尔物理学奖。

他的另一位研究生戴维森因发现电子衍射获1937年诺贝尔物理学奖。里查森把英国剑桥大学卡文迪什实验室的作风带到美国,对美国的科学研究和人才培养起到了广泛影响。

里查森1913年回到英国,历任国王学院、伦敦大学物理学教授,英国协会A部主席(1921年),伦敦物理学会主席。1939年受封为爵士。1914年以后,他除了继续研究热离子学外,还研究光电效应、磁学、化学作用引起的电子发射、电子论、量子论、氢分子光谱、软X射线和氢谱 $H\alpha$ 及氘谱 $D\alpha$ 的精细结构。他早年就从热电子发射对麦克斯韦分子速度分布律作过实验验证。后于1917年指导中国研究生丁燮林(丁西林)进一步研究这个课题。丁燮林的论文发表于1921年。这是分子束方法尚未提出之前惟一可行的实验验证方法,有一定的理论价值。

在第二次世界大战期间,里查森致力于雷达、声纳、电子检测仪器以及磁控管、速调管等项目的研究。



探索未知

他的科学活动和无线电电子学紧密相联,不断促进无线电电子学的发展。他不愧为热离子学(热阴极电子学)的创始人。



1945 年诺贝尔物理学奖 ——泡利不相容原理

1945 年诺贝尔物理学奖授予美国新泽西州普林斯顿大学的奥地利物理学家泡利,以表彰他发现了所谓泡利原理的不相容原理。

不相容原理是量子理论中的重要原理,是 1925 年 1 月由泡利提出的。这一原理可以表述为:对于完全确定的量子态来说,每一量子态中不可能存在多于一个的粒子。泡利后来用量子力学理论处理了 $h/4\pi$ 自旋问题,引入了二分量波函数的概念和所谓的泡利自旋矩阵。通过泡利等人对量子场的研究,人们认识到只有自旋为半整数的粒子(即费米子)才受不相容原理的限制,从而确立了自旋统计关系。

关于不相容原理的发现,泡利在他的诺贝尔奖演说中讲到,不相容原理发现的历史可以追溯到他在慕尼黑的学生时代。在维也纳读中学时,他就掌握了经典物理学和相对论的知识。在慕尼黑大学经索末菲引导接触到从经典的思想方法看来有些离奇的原子结构理论。他和所有习惯于经典思想方法的物理学家一样,当第一次接



探索未知

触到玻尔的量子理论的基本假设时不免受到冲击。他一方面接受了玻尔的原子理论；一方面了解索末菲企图用光谱定律的解释来克服使用动力学模型所遇到的困难。泡利对这两种理论都不满意。

反常塞曼效应的解释问题,使物理学家倍感苦恼,泡利也不例外。据说当时有一位友人看见泡利在哥本哈根的大街上闲逛,就问他为什么不高兴。泡利回答说:“当一个人正在想到反常塞曼效应时,他怎么高兴得起来啊!”。按照玻尔的想法,当分析原子的结构时,应该首先从内层开始。可以设想有一个带正电荷 Ze 的原子核,在其周围是若干电子,这些电子一个接着一个被原子核俘获,直到它俘获了 Z 个电子而形成中性原子时为止。最先被俘获的电子占据能量最低的量子轨道,这就是玻尔所谓的“组建原则”。泡利不满意的原因在于他认为原子光谱的根源在于价电子的运动,不应该从原子实的结构去找。

泡利仔细研究了碱金属光谱的双重结构,引入了“经典不能描述的双重值”概念,在这基础上概括成一个重要结论,即原子中不能有两个电子具有相同的四个量子数。这就是最初泡利提出的不相容原理。

1925年以前,描述电子一般只用三个量子数。泡利的“双重值”实际上就等于要求电子要有第四个量子数。当时,并不知道这第四个量子数就是自旋。

泡利为创立量子力学作出过许多重要贡献,他虽然失去了直接提出量子力学基本形式的机遇,但他发表了许多有独创性的论文,而且还提出过许多很有创见的批评和见解。他的看法对于海森伯等人创建量子力学起着