

# 邮票上得诺贝尔奖的物理学家和工作

## ——X射线的发现

秦克诚

(北京大学物理系 北京 100871)

1901年是20世纪开始的一年,诺贝尔奖也于这一年开始颁发。第一届诺贝尔物理奖授给了德国物理学家伦琴,因为他于1895年发现了X射线。在上期的图7中我们已看到向伦琴授奖的盛况。图1为瑞典1961年发行的纪念1901年诺贝尔奖的邮票,最右为伦琴;图2为德国1951年纪念第一次诺贝尔物理奖50周年的邮票,除伦琴肖像外,右上角有他在实验中所用的X射线管。在他之后,还有多项与X射线有关的研究工作获得诺贝尔奖。

### 伦琴发现X射线

伦琴(图3,东德1965,诞生120周年;图4,西班牙1967,欧洲放射学大会;图5,古巴1993,伟大科学家)在发现X射线时是德国维尔茨堡大学的物理学教授。他是一个训练有素的实验物理学家,但在发现X射线之前,他的学术生涯并不突出。

伦琴是在研究阴极射线时发现X射线的,阴极射线是当时的热门研究题目。早在19世纪30年代,法拉第就发现了稀薄气体放电中的辉光现象。随着真空技术不断进步和真空度不断提高,物理学家又发现了阴极射线。它产生于高真空放电管的阴极,撞击对面的管壁,使之发荧光。

1895年11月8日傍晚,伦琴在实验室里做阴极射线管中气体放电的实验。为了避免可见光的影响。他在暗室中做实验,并且用黑纸将放电管包起来。他奇怪地发现,在放电时,离放电管一段距离的一个荧光屏也在闪光。这不可能是阴极射线所引起,因为阴极射线的穿透能力很弱,不能穿过放电管的玻璃外壳。也不会是放电管内的光引起,因为已用黑纸将放电管包住。他在放电管和荧光屏之间放了几本书,荧光屏依旧闪光。他把手伸到放电管与荧光屏之间,吓了一跳,在荧光屏上看到了手的骨骼!(图6,意大利1995年,纪念X射线发现100周年)。伦琴意识到,这不是阴极射线,他发现了一种

新的射线。

随后7周中,他独自在实验室里做实验,研究这种射线的性质。他发现,这种射线来自放电管上被阴极射线击中的那块管壁;物体对这种射线在不同程度上透明;它直线行进,磁场不能使它偏转;照相底片能够对这种射线感光。由于不了解它的本质,伦琴称它为X射线。他还用照相底片拍下了手掌的X射线照片。

12月28日,伦琴写了一篇只有10页的报告,题为《论一种新射线》,描述了这种射线及其性质。1896年1月1日,他把这篇报告,并附上手掌的X射线照片,分寄给当时著名的物理学家。由于X射线是人类发现的第一种“穿透性射线”,它能够穿透普通光线不能穿透的某些材料,使得能够看见隐藏在里面的东西,因此在全世界引起了轰动,许多实验室都开展了对它的研究,而且立即得到广泛的实际应用(例如,X射线发现仅3个月后,维也纳的医院在外科治疗中便使用X射线来拍片)。这可能是这项工作获得首届诺贝尔奖的一个原因。伦琴拒绝接受授予他的一个贵族头衔,也不申请专利。他认为,他的发现应当献给全人类。

X射线最直接的应用是在医学上,它使医生能够看到人体的内部,有助于准确诊断,例如发现早期的肿瘤。一些邮票以此为题材。例如图7为但泽自由港(即今波兰的格但斯克)1939年发行的抗癌运动邮票,上面的德文是“与癌症斗争,癌症是可以治愈的。”图8是中非1977年发行的诺贝尔奖邮票,图上是大夫为病人进行X光透视的情景。今天,X射线还用于金属探伤、安全检查和海关检查、透视古生物化石,以及X射线天文学。

今天我们知道,伦琴发现的X射线是阴极射线管中放电时被高电压加速的高速电子打到靶上,与靶原子碰撞骤然减速而产生的。阴极射线管在伦琴发现X射线时已在实验室中使用多年,因此许多人

现代物理知识

早有机会发现或已观察到 X 射线。但是这些现象没有受到他们重视而被放过去了。伦琴的治学态度严谨,不放过任何可疑之处,才会有这个发现。

1995 年是 X 射线发现 100 周年,许多国家发行了纪念邮票。除上面的图 6 外,还有伦琴的祖国德国(图 9)、比利时(图 10)、捷克(图 11)、芬兰(图 12)、马其顿(图 13)、韩国(图 14)等。

### X 射线在晶体上的衍射

伦琴曾为揭示 X 射线的物理本质做了很大努力。他曾猜想, X 射线是以太的一种纵振动。但只是在发现 X 射线 16 年之后,德国物理学家劳厄通过 X 射线在晶体中衍射的实验,才确切证实 X 射线也是与可见光相似的电磁波,只不过波长更短,穿透力更强。

劳厄(图 15,东德 1979,诞生百年)作出上述发现时,在慕尼黑大学任讲师,并是索末菲领导下的理论物理研究所的一员。慕尼黑大学是当时的矿物学和晶体学的研究中心,劳厄从同事了解到当时已很完善的晶体空间点阵假说。他认为 X 射线是波长很短的电磁波。验证这一点的最有力的办法是观察到 X 射线的衍射。但是,产生衍射的光栅的刻缝间隔应该与 X 射线的波长同一量级,这是技术上做不到的。劳厄想到,晶体空间点阵的间隔也很小,应当是一个天然的 X 射线光栅,能不能用晶体使 X 射线产生衍射?于是,劳厄积极动员助教弗里德里希(W. Friedrich)和博士生克尼平(P. Knipping)做实验。最终得到了成功,得到了清晰的衍射花样(图 15;图 16,西德 1979,诞生百年)。1912 年 6 月 14 日,劳厄在柏林的威廉皇家物理研究所报告了他们的论文。这个实验一举同时证实了 X 射线的波动性质和晶体内部的周期结构,被爱因斯坦誉为物理学中最美的实验。连反对原子论最力的奥斯特瓦尔德,在一年以后也承认“原子可以看到了”。

由于上述工作,劳厄被授予 1914 年的诺贝尔物理学奖(图 17,瑞典 1974)。得奖名单上只有劳厄一人,但是劳厄总是说,这一工作是他们三人共同完成的。他认为自己的贡献占三分之二,弗里德里希和克尼平对此没有异议。1914 年的诺贝尔物理学奖金,就是按这个比例由劳厄亲手分配的。

劳厄是普朗克的得意门生,爱因斯坦的挚友,为人正直。在纳粹德国时期,他坚持反对排犹主义,捍卫爱因斯坦的科学功绩,不与纳粹当局合作。战后,劳厄由于他一贯的反纳粹立场和高深的学术造诣受到普遍的尊敬,在德国科学的重建中发挥了重大作用。

劳厄获诺贝尔奖的次年,1915 年的诺贝尔物理学奖又授给了一项晶体对 X 射线衍射的工作。这次的得主是英国物理学家布喇格父子(图 18,瑞典 1975),由于用 X 射线研究晶体结构而得奖。这项工作实际上是劳厄的工作的逆问题:由 X 射线的衍射强度分布来测定晶体的晶格结构。父子(或母女)都获诺贝尔奖的,在诺贝尔奖的历史上还有英国的汤姆孙父子、丹麦的玻尔父子、瑞典的西格班父子和居里夫人母女等,但父子合得同一项奖则仅此一例。小布喇格获奖时才 25 岁,是迄今为止最年轻的诺贝尔奖获得者。

老布喇格(1862—1942)(图 19,马尔代夫,1995)毕业于剑桥大学。进剑桥之前,他在马恩岛的威廉国王学院(中学)上学。图 20 是马恩岛 1983 年为威廉国王学院 100 周年发行的邮票,上面有这位杰出的校友和他的工作。剑桥毕业后,去澳大利亚阿德莱德大学任教授。1909 年回英国,任里兹大学教授。小布喇格(1890—1971)(图 21,马尔代夫,1995)出生于阿德莱德,1909 年随父亲返回英国后,入剑桥大学三一学院,两年后获得学位,转入卡文迪什实验室在汤姆孙指导下从事科研工作,但常常利用假期到父亲的实验室工作。

老布喇格本来主张 X 射线是物质粒子而不是波动。1912 年劳厄的发现发表后,父子俩围绕劳厄的发现进行了热烈的讨论。年轻的小布喇格最先跳出原来的错误思路,接受了劳厄的观点。当年 11 月,他向剑桥大学哲学学会宣读了一篇论文,用晶体中不同组晶面对连续谱的 X 射线进行选择镜面反射的方法,正确而简单地解释了劳厄图,并推导出著名的布喇格公式,这个公式把衍射角与相邻两个晶面之间的距离联系起来,表明能够用 X 射线衍射来获得晶体结构的信息,这标志着 X 射线晶体学的诞生。他还根据衍射照片得到了几种简单晶体如 NaCl 的结构,但是对较复杂的晶体如金刚石,他遇到了困难。

儿子的想法引起了父亲的注意。老布喇格以这种想法为基础,于 1913 年 3 月制造了一台晶面式 X 光分光计(图 20)。这台仪器依靠一块具有光滑解理面的晶体对来自 X 射线管的 X 射线的反射,能够将 X 射线的不同波长分离开来。它既可以研究不同元素发射的 X 射线谱,也可以由反射的 X 射线按反射角的强度分布研究晶体的结构。老布喇格的兴趣先集中在前者,即 X 射线波谱学。他全面观察了 X 射线的反射,按反射角从小到大逐一记录反射束的强

度。他发现,除了小丘形的连续谱本底曲线之外,在本底曲线上还迭加有若干峰值,就像山丘上耸立的宝塔,即有确定的单色谱线存在。而且这些单色谱线的波长只和发出 X 射线的材料(X 射线管的对阴极材料)有关。这些谱线就是 X 射线的标识谱。

1913 年夏天,小布喇格到父亲的实验室,正值老布喇格用他的 X 射线分光计和已测定的 NaCl 结构获得了钠的标志 X 射线的波长值。两人立刻意识到,采用单色 X 射线照射晶体并用 X 射线分光计测量其反射强度,将是比照相法更有效的分析晶体结构的方法。他们用这种方法测量金刚石的结构,很快就得到正确结果。这样,老布喇格的兴趣就转到晶体学方面来了。之后,他又对实验方法和分析方法作了不少改进,并且,他在里兹大学的实验室,小布喇格在剑桥(后转到曼彻斯特大学)自己的实验室,分别测定了许多无机物和有机大分子的结构。许多复杂分子结构的测定,如 DNA 的双螺旋结构,都是依靠 X 射线晶体学方法。(图 22,英国 1977,皇家化学学会 100 周年。画面上是 NaCl 的晶格图。)

小布喇格于 1938 年 10 月接替卢瑟福担任剑桥大学卡文迪什实验室主任。卡文迪什实验室在卢瑟福领导下曾是世界核物理的中心,布喇格接任时,核物理的领先地位已转移到美国,许多与卢瑟福共过事的年青人已纷纷离去。面对这样的局面,布喇格无意重建过去的辉煌。他说:“我们已成功地教会了全世界如何搞核物理,现在,我们来教他们干些别的事情吧!”他当机立断发展决定两个新的应用物理学分支,即分子生物学和射电天文学。几年之后,卡文迪什实验室便成了这两个领域的国际中心。综合孔径射电望远镜和 DNA 的双螺旋模型便是在这里提出的。

荷兰物理学家德拜和谢勒(J. A. Scherrer)于 1916 年发明了另一种用 X 射线测定晶体结构的方法。他们不是用连续谱 X 射线照射单晶,而是用单色 X 射线照射多晶粉末。这样,样品的制备大为简化。与劳厄图不同,德拜方法得到的衍射图是一个个同心圆环。德拜由于在分子偶极矩理论和 X 射线衍射方面的贡献被授予 1936 年诺贝尔化学奖(图 23,荷兰 1995)。

### X 射线波谱学

早在 1906 年,英国物理学家巴克拉就通过对 X 射线散射的研究,确定了 X 射线是偏振的并发现了 X 射线的标识谱。他发现,任何元素发射的 X 射线的标识谱有两个线系,他把较“硬”(穿透力更强)的

一个叫做 K 线系,另一个叫做 L 线系。(他不从 A 排起是为了留有余地,也许还有尚未发现的更硬的线系)。由于这项工作,巴克拉被授予 1917 年诺贝尔物理奖(图 24,瑞典 1977)。偏振表明 X 射线是横波,它同劳厄的发现一起,证实了 X 射线和光一样是电磁波。不同元素的标识谱的波长不同;正如指纹是人的特征一样,X 射线标识谱也是元素的标识。

老布拉格的 X 射线分光计提供了分离 X 射线的不同波长和测量波长的方法,促进了 X 射线波谱学的发展。对 X 射线波谱学作出极大贡献的是英国年轻的物理学家莫塞莱(H. G. J. Moseley)。1913 年,他在测量了从铝到金总共 38 种元素的标识 X 射线后发现,不同元素的 X 射线标识谱的两个线系的结构相同,只是具体谱线的频率不同。它们的频率和原子序数  $Z-1$  的平方成正比。就在这一年,玻尔发表了他的量子论原子模型,给出了氢原子光谱巴尔摩线系的公式。莫塞莱立即看出,他的公式可以从玻尔的公式导出。其意义是,这些谱线是原子的内层电子跃迁发射的。K 线系是最内层( $n=1$ )以外各层电子跃迁到最内层的结果,L 线系是第二层( $n=2$ )以外各层电子跃迁到第二层的结果。而连续谱的本底则是高速电子被靶原子减速的韧致辐射。这样,X 射线的产生机制就清楚了。莫塞莱定律给出了原子序数  $Z$  的物理意义——原子核的电荷,并为寻找元素周期表中空缺的元素提供了一种方法。在以后的几年中,用 X 射线分析方法发现了铪( $Z=72$ )和铯( $Z=75$ )。不幸,莫塞莱在第一次世界大战中应征入伍阵亡,年仅 27 岁。如果他不是英年早逝,他的贡献是够得上得诺贝尔奖的。

莫塞莱死后,X 射线波谱学的中心由英国移到瑞典,以后的工作主要是由瑞典乌普萨拉大学的西格班(K. M. G. Siegbahn)及其学派完成。他发现了 X 射线标识谱中的 M 线系。西格班由于在 X 射线波谱学方面的工作获得 1924 年的诺贝尔物理奖。与 X 射线有关的诺贝尔奖,还有 1927 年的康普顿效应。康普顿效应表明了 X 射线的粒子性,我们将在辐射量子一节中讲述。

X 射线是 19 世纪末实验物理学三大发现中最早发现的。对 X 射线的研究直接导致放射性的发现,X 射线的产生和原子结构有密切的关系,X 射线的衍射确证了晶体中的晶格结构。因此,X 射线的发现打开了微观物理学的大门,是 20 世纪物理学革命的发端。