



沈慧君 郭奕玲 / 著

诺贝尔奖百年鉴

■ X 射 线 与 显 微 术 ■

观微探幽

上海科技教育出版社

诺贝尔奖百年鉴

X 射线与显微术 观微探幽

沈慧君 郭奕玲 著

丛书策划 卞毓麟 匡志强

责任编辑 匡志强 卞毓麟

装帧设计 桑吉芳

出版 上海科技教育出版社

上海冠生园路 393 号

邮政编码 200233

发行 上海科技教育出版社

经销 各地新华书店

印刷 常熟市印刷八厂

开本 787×960 1/32

印张 4.5

字数 80 000

版次 2000 年 12 月第 1 版

印次 2000 年 12 月第 1 次印刷

印数 1-5 000

书号 ISBN 7-5428-2427-9/N·393

定价 8.00 元

策 划 语

从 1901 年开始颁发的诺贝尔奖,可以说是 20 世纪物理学、化学和生命科学发展的缩影。它记录了百年来这三大学科的几乎所有重大成就,对世界科学事业的发展起了很大的促进作用,被公认为科学界的最高荣誉。人们崇敬诺贝尔奖,赞叹诺贝尔奖得主们的科学贡献,并已出版了许多相关书籍。

那么,我们为什么还要策划出版这套《诺贝尔奖百年鉴》丛书呢?

这是因为,有许多热爱科学的读者,很希望有这样一套书,它以具体的科学内容为基础,使社会公众也能对科学家们的成就有一定的感性认识;它以学科发展的传承性为主线,让读者领略科学进步的永无止境;它还是简明扼要、通俗易懂的,令读者能轻松阅读,愉快受益。

基于这种考虑,本丛书将百年来三大学科的全部诺贝尔奖按具体获奖内容分为 26 个领域,每个领域写成一卷 8 万字左右的小书,以该领域的进展为脉络,以相关的诺贝尔奖获奖项目为重点,读者将不但能了解这些诺贝尔奖成果的科学内容,更能知道这个领域的发展历

程。丛书的分卷不局限于一级学科的分类,以体现现代科学之间的交融。此外,丛书还另设了3卷综述,便于读者对这三大学科的全貌有一个宏观认识。丛书29卷内容如下:

20世纪物理学革命	现代有机化学
20世纪化学纵览	无机物与胶体
20世纪生命科学进展	材料物理与化学
X射线与显微术	现代分析技术
核物理与放射化学	生物分子结构
量子物理学	量子与理论化学
基本粒子探测	蛋白质核酸与酶
场论与粒子物理	遗传与基因
粒子磁矩与固体磁性	细胞生物学
超导超流与相变	生理现象及机制
测量技术与精密计量	内分泌与免疫
天体物理学	临床医学与药物
物理学与技术	传染病与病毒
热力学与反应动力学	神经与脑科学
物质代谢与光合作用	

在丛书策划基本成形后,我们曾到上海、北京、南京等地的许多著名高校及中国科学院、中国医学科学院等科研院所征求专家们的意见,得到了他们的大力支持。许多学者不顾事务繁忙,慨然为丛书撰稿。我们谨向他们表达由衷的感谢和深深的敬意。

2000年12月10日

作者简介

沈慧君,女,1935年生,1958年毕业于清华大学工程物理系。清华大学物理系教授。曾任中国物理学会理事;北京物理学会常务理事兼副秘书长;北京高等教育学会物理研究会副理事长;《物理通报》杂志第七届编委。

郭奕玲,男,1931年生,1952年毕业于清华大学物理系。清华大学物理系教授。曾任上海师范大学、华东地质学院、台湾东吴大学等院校的兼职教授或客座教授;中国物理学会教学委员会委员;中国科学技术史学会物理学史专业委员会委员;《大学物理》杂志编委会常务编委;《物理通报》、《物理学史》、《国际物理教育通讯》等杂志编委。

目录

1 打开微观世界的大门/1

2 从阴极射线谈起/7

阴极射线的研究/7

勒纳的科学贡献/10

从勒纳引发的反思/19

3 X射线的发现/23

首届诺贝尔物理学奖/23

X射线的发现经过/25

成功的偶然和必然/33

4 用晶体做衍射光栅/39

探索 X 射线的本质/39

X射线的晶体衍射/41

为什么是在慕尼黑/47

为什么是劳厄/49

5 晶体的 X 射线分析/53

同获科学殊荣的父子/53

布拉格方程与晶体分析/56

X 射线分析技术的开拓/60

6 从原子标识谱到电子能谱/67

原子的 X 射线标识谱/67

X 射线光谱学的发展/73

X 射线电子能谱学/78

7 康普顿效应/87

亟待解决的难题/87

康普顿效应的发现/89

康普顿效应的意义/95

8 显微术的发展/99

光学显微镜的来历/99

相衬法的妙用/103

电子显微镜的发明/108

电子显微镜的产品化/116

9 微观世界曲径通幽/123

隧道效应与形貌仪/123

扫描隧道显微镜的诞生/126

显微术的未来/130

本卷大事记/133

1

打开微观世界的大门

借助于仪器观察微小物体,这是古人连做梦也想不到的事情。古人只能凭肉眼观察世界,细砂、尘埃、水滴、小昆虫、烟灰,如此而已,至于细砂内、尘埃里、小昆虫还有什么内部结构,一概不知。他们更不知道,在一滴微不足道的水珠里,还有生气勃勃的微生物世界。他们也不知道,小到人眼刚刚能分辨的跳蚤也和普通的动物一样有胳膊有腿。他们只能根据日常积累的经验猜想万物是由原子构成的。所谓原子,最早只是表示物质最小的单元,原子者,不可分也。其实原子是什么样的,谁也说不清楚。后来,发明了显微镜,经过几百年的变革,显微镜不断改进,但是由于受到可见光波长的限制,光学显微镜只能看到物体的表面,顶多放大 1000 倍,尽管由此发现了细胞、微生物,认识了矿物的晶体结构,甚至可以观察透明体的表面,但是直到 20 世纪,人们仍然无法看到物质的内部结构,这主要是由于可见光的波长太长,它在到达物体表面时不是被吸收,就是被

1

观
微
探
幽





反射。

19 世纪末,人类发现了 X 射线,这才有可能进入微观世界。X 射线以强大的透射力穿过物体,包括人体,从而开辟了通往微观世界的渠道。X 射线是一种波长较短的电磁波,依赖它的衍射效应可以精确地探测到晶体的内部结构。从这个意义来说,X 射线的发现可以看成是科学发展的一个分水岭。它像一根导火线,引起了一连串的反应。伦琴(W. C. Röntgen)发现 X 射线之后不久,X 射线很快就被医学界广泛利用,成为透视人体、检查伤病的有力工具,后来又发展到用于金属探伤,对工业技术也有一定的促进作用。更重要的是,X 射线的热潮吸引了许多科学家研究 X 射线和阴极射线,从而导致放射性、电子以及 α 、 β 射线的发现,为原子科学的发展奠定了基础。同时,由于科学家探索 X 射线的本质,发现了 X 射线的衍射现象,而根据晶体的 X 射线衍射数据,则可以精确地求出阿伏加德罗常数,并由此打开了研究晶体结构的大门。在研究 X 射线的性质时,还发现 X 射线具有特征谱线,其波长有特定值,和 X 射线管阳极元素的原子内层电子的状态有关,由此可以确定原子序数,并了解原子内层电子的分布情况。此外,X 射线的性质也为物质的波粒二象性提供了重要证据。

对 X 射线的进一步研究,使古老的光谱学焕发了青春。光谱学的发展经历了几百年,如果从牛顿(I. Newton)1665 年做的分光实验算起,到 1900 年已

经过了 230 多年,而从 1912 年发现 X 射线的衍射到 1923 年建立 X 射线光谱学,只用了 11 年,而且中间还受到第一次世界大战的干扰。在发现 X 射线之前,科学基本上停留在宏观世界。即使光谱学,利用可见光、红外光和紫外光的光谱,能够精确地收集到发自原子内部的信息,那也只是原子中处于最外层轨道上的电子在轨道跃迁中引起的辐射,而 X 射线光谱学则可以获得从原子的内层电子跃迁所引起的辐射,从而更进一步了解物质的内部结构。X 射线光谱学的迅速发展,为原子物理学和量子物理学在 20 世纪初叶诞生奠定了基础。同时,这些成果也广泛运用于化学、生物学和医药学。例如,正是由于 X 射线衍射方法的发展,才使得探测生物大分子和遗传基因的结构成为可能;X 射线分析仪也广泛应用于材料科学、生物科学、医药科学等等各个领域,至今不衰。

除了 X 射线衍射方法得到广泛运用以外,电子束方法在 20 世纪 30 年代以后也广泛运用于探索物质结构的科学活动中。电子束方法实际上是利用物质的波粒二象性,一束电子相当于一束波,由于它相应的波长比可见光短得多,因此和 X 射线一样,有比可见光高得多的分辨率。根据这个原理发明的电子显微镜,一直是分析物质结构的又一有力武器。电子显微镜的发明者鲁斯卡(E. Ruska)在 1985 年这样说过:“电子显微镜打开了微观世界的第二道大门。”





微观世界的第一道大门是 1590 年打开的,这时荷兰人杨森(Z. Janssen)发明了第一台光学显微镜,400 多年过去了,人类凭借显微镜扩大了自己的视力,向微观世界进军。随着显微镜的不断改进,观测的深度也不断提高。1807 年消色差显微物镜研制成功;1827 年又发明了孔径角高达 120° 的三组消色差物镜;1850 年发明了浸液物镜;1886 年阿贝(E. Abbe)发明了复消色差显微物镜,以后又有金相显微镜、干涉显微镜、偏光显微镜、荧光显微镜、相衬显微镜等等。这中间的过程长达 300 余年。

由于受波长的限制,根据光学原理构成的显微镜分辨率有一定的范围。直到 20 世纪 30 年代由于鲁斯卡等人的努力,创制了电子显微镜,这才“打开了微观世界的第二道大门”。经过多年的努力,电子显微镜逐步完善,现代的扫描透射电子显微镜,分辨率已达纳米量级($1 \text{ 纳米} = 10^{-9} \text{ 米}$);1951 年弥勒(E. W. Müller)发明的场离子显微镜可以直接看到原子的排列,但是受到强场的限制。这个过程大约经历了三四十年,是光学显微镜发展时间的 $1/10$ 左右。

由于量子力学和计算机科学的出现以及显微镜技术的不断发展,人们创制了各种新仪器和新设备,冲破了过去种种条件的限制,观察和实验的范围越来越深入到原子、分子的层次,在精度、速度和自动化方面达到了全新的水平,人类的视觉得到了不断的延伸。1982 年,扫描隧道显微镜打开了微观世界的第三道大门,此后,又有一批根据同一工作原理派

生出来的其他类型的显微镜相继问世,并显示了广阔的应用前景和无穷的生命力。

20 世纪以现代物理学为基础的各种分析方法像雨后春笋一样地出现在科学研究的舞台上,为人类观测、了解、掌握微观世界的规律提供了必要的工具。电子束之后又有分子束方法、中子束方法,科学家甚至还运用高能加速器产生的质子束和正负电子束,让其与试验靶心发生碰撞,产生各种反应,从而掌握这些反应的规律。

从光学显微方法到 X 射线衍射方法和电子束方法,又从 X 射线和电子束扩展到原子、分子束和中子束,物理学家在探索物质奥秘的征途中不断创建各种更有效的方法,为建立凝聚态物理学等学科奠定了雄厚的物质基础。值得指出的是,上面提到的许多新贡献,其创始人或有代表性的科学家中有不少人获得了诺贝尔奖,包括物理学奖、化学奖和生理学医学奖。这本小册子介绍的,正是其中一些科学家的创造性活动和他们的宝贵经验。



2

从阴极射线谈起

阴极射线的研究

19 世纪是电磁学大发展的时期。到 19 世纪七八十年代,电气工业开始有了发展,发电机、变压器和高压输电线路逐步在生产中得到应用,然而,漏电和放电损耗非常严重,成了亟待解决的问题。同时,电气照明也吸引了许多科学家的注意。这些都涉及低压气体放电现象,于是,人们竞相研究与此有关的问题。德国物理学家和发明家盖斯勒(J. H. W. Geissler)在 1855 年发明了水银真空泵,1858 年发明了放电管,为低压气体放电的研究创造了良好条件。

就在 1858 年,德国人普吕克尔(J. Plücker)在研究气体放电时,注意到在放电管正对阴极的管壁上发出绿色的荧光,这被证明是因为有一种射线从阴极发出打到管壁所致,因此就把这一射线叫做阴极射线。普吕克尔和另一位德国物理学家戈尔德施泰因(E. Goldstein)都认为这种射线是一种以太波,因为





这种射线按直线行进,对物质有化学作用,性质上类似于紫外光。他还演示了阴极射线被电极阻挡后,在管壁上形成阴影的现象,如图 1 所示。

英国物理学家也对阴极射线做了大量研究。1871 年瓦利(C.F. Varley)发现阴极射线在磁场中会发生偏转,这与带电粒子的行为很相似。克鲁克斯(W. Crookes)在实验中证实阴极射线不但按直线前进、能聚焦、在磁场中会偏转,而且还可以传递能量和动量。他在阴极射线管中安装了一个铂电极,从凹面形的阴极发出的阴极射线聚集在铂电极上,在阴极射线的轰击下竟使铂电极发热,变成了灼红状。他还把一个可转动的风轮搁在由玻璃棍组成的水平轨道上,风轮叶片涂有各种成分的荧光材料。每当阴极射线打到叶片上时,叶片就开始滚动,同时发出五颜六色的光彩。

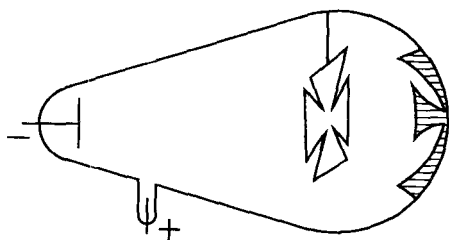


图 1 阴极射线被电极阻挡后在管壁上形成阴影

克鲁克斯认为阴极射线是由真空中残余气体的分子组成,由于无规律运动,有些气体分子撞击到阴极,于是从阴极获得了负电荷,在电场的驱使下形

成了带电的分子流。

舒斯特(A. Schuster)也认为阴极射线是带电粒子流。他在1890年根据阴极射线的磁偏转算出带电粒子的电荷 e 与质量 m 之比(简称荷质比) e/m ,数值大约是 $5 \times 10^6 \sim 1 \times 10^{10}$ 库仑/千克,而电解所得氢离子的荷质比约为 10^8 库仑/千克。他认为这两个数据接近,说明阴极射线的成分可能就是原子类型的带电粒子。

这三位主张阴极射线是带电粒子的科学家都是英国人,于是很自然地形成了一个学派,人称英国学派。但是,当时威望更高的是持以太论的德国学派。除了戈尔德施泰因以外,还有赫兹(H. Hertz)和勒纳(P. Lenard)等德国物理学家。以太论者认为,宇宙中充满了一种称为“以太”的特殊介质,光既然是一种波,就应该是以太的某种状态的传播,阴极射线也是如此。以太论者的观点虽然是错的,但他们对微粒说的反驳却很有分量。例如:戈尔德施泰因为了说明阴极射线不是分子流,特意做了一光谱实验。图2是他用的一支L形放电管,A、B两电极可轮流当阴极。当A是阴极时,光谱仪看到的光来自朝向光谱仪而来的射线;射线如果由分子流组成,那么分子向光谱仪运动时,由于多普勒效应,光的频率应有所增高;反之,当B是阴极时,光的频率就会减小。可是,改换电极极性,戈尔德施泰因丝毫未发现光的谱线有任何变化;于是这一事实成了他反对带电分子说的有力证据。





赫兹也做过许多实验为自己的以太说辩护。他的实验并不都很成功。例如：他在阴极射线管中加静电场，却没有观察到阴极射线偏转，这使他更加确信阴极射线是不带电的一种波。

赫兹的另一个实验却很有价值，他注意到阴极射线可以穿过金属隔板，使被挡住的玻璃壁发出微弱荧光，这个现象后来由他的学生勒纳继续研究。

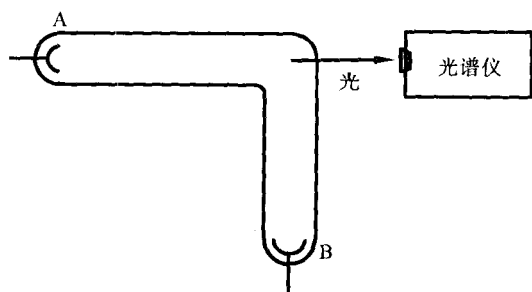


图2 戈尔德施泰因的光谱实验

勒纳的科学贡献

勒纳 1862 年 6 月 7 日生于匈牙利的普雷斯堡（今斯洛伐克的布拉迪斯拉发）的一个商人家庭里，父亲经营葡萄酒的制造和销售，家境富裕。勒纳生母早年过世，由其姨母（后成为其继母）抚养成人。他在家接受启蒙教育，9 岁才进入一所天主教学校就读。在中学阶段，他厌恶人文课程，偏爱数学和物理，自修了这两门学科的大学教材，并在家中进