



诺贝尔奖 百年鉴

精益求精

■ 测量技术与精密计量 ■

黄红波 戴耀东 夏元复 / 著



100
Nobel Prize

上海科技教育出版社

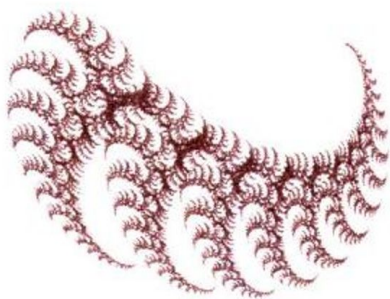


黄红波 戴耀东 夏元复 / 著

诺贝尔奖百年鉴

■ 测量技术与精密计量 ■

精益求精



上海科技教育出版社

诺贝尔奖百年鉴

测量技术与精密计量 精益求精

黄红波 戴耀东 夏元复 著
丛书策划 卞毓麟 匡志强
责任编辑 匡志强
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 200235

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 5.375

字数 96 000

版次 2001 年 12 月第 1 版

印次 2001 年 12 月第 1 次印刷

印数 1—5 000

书号 ISBN 7-5428-2710-3/N·439

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

11.3.2001

作者简介

黄红波,男,1971年生,1993年毕业于南京大学物理系,获理学硕士学位。现任南京大学物理系讲师,中国核学会同位素分会理事。

戴耀东,男,1964年生,1986年毕业于信阳师范学院物理系,1992年郑州大学物理系硕士研究生毕业。现任信阳师范学院副教授。

夏元复,男,1939年生,1959年毕业于南京大学物理系。现任南京大学物理系教授、博士生导师,国家级有突出贡献专家,俄罗斯科学院院士,国际穆斯堡尔谱学委员会委员。

图书在版编目(CIP)数据

精益求精:测量技术与精密计量/黄红波,戴耀东,
夏元复著. —上海:上海科技教育出版社,2001.12

(诺贝尔奖百年鉴)

ISBN 7-5428-2710-3

I .精…

II .①黄… ②戴… ③夏…

III .①测量学—技术现状 ②计量学—技术现状

IV .①P2-1 ②TB9-1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 067748 号

目录

1 测量和计量/1

2 用测量否定以太/11

光与以太/11

测量光速/15

迈克耳孙的努力/18

干涉与干涉仪/22

迈克耳孙—莫雷实验/26

“科学的艺术家”/30

3 合金反常性与精密计量/33

国际计量局与纪尧姆/33

因瓦合金和埃林瓦合金/36

因瓦效应的物理本质/43

广泛的应用/45

4 光散射和拉曼效应/49

亚洲的第一位诺贝尔奖得主/49

拉曼效应的发现/53
拉曼光谱的理论解释/59
拉曼光谱的实验装置/65
意义与启示/67

5 穆斯堡尔博士的回忆/71

影响深远的穆斯堡尔效应/71
共振与 γ 射线共振吸收/73
穆斯堡尔的发现/76
穆斯堡尔效应发现以后/83

6 光的抽运技术/87

对光的深入认识/87
用光打造一把利刃/90
卡斯特勒和他的学生/94
激光之父/99

7 时间的精确计量/105

从摆钟到原子钟/105
源自光学课教学的启发/110
原子钟的发展/113
捕获粒子的两个人/116
被测得最精确的量/120

8 中子散射的妙用/125

找到中子的人/125
中子有双大眼睛/129
中子的第一只眼睛/133

中子的第二只眼睛/139

9

怎样俘获自由原子/143

光与原子相互作用的探索/143

光学黏团和光学镊子/146

中性原子的捕陷/150

新的突破/154

本卷大事记/157

1

测量和计量

观测和实验是人类所有科学知识的来源,物理学自然也不例外。早在 400 年前的伽利略(Galileo Galilei)时代,人们就已经认识到“物理学首先是一门实验科学”。物理实验是自然科学实验中最精确的。通过对许多自然现象的观测和物理量的测量,物理学家获取了许多重要的结果,极大地促进了物理学基本理论的建立和发展。正是由于有了伽利略、开普勒(J. Kepler)等人的实验和观测,牛顿(Isaac Newton)、拉格朗日(J. L. Lagrange)和哈密顿(W. R. Hamilton)等人才得以据此建立了成熟的经典力学体系;亥姆霍兹(H. von Helmholtz)、焦耳(J. P. Joule)等人建立的热力学三定律,以及后人通过把概率统计引入热力学发展而成的统计力学,其目的也正是为了能相当清楚地阐明自然界中各种热现象;而以麦克斯韦方程组为代表的电磁场理论,则在实验基础上完美地总结了各种电磁现象。到了 19 世纪末,经典物理学的各领域都已积累了大量事实,概括出了

1

精益求精





许多原理和定律,建立了完整的三大理论体系,即理论力学、热力学和统计物理学、电动力学。应当说,经典物理学已发展得如此完善,宏观运动的神秘似乎已经消失了,使得当时物理学界的主流派认为“一个全知的黄金时代已经到来”。当时物理学家们认为,物理学已发展得臻于完善,留给后人的工作,只不过是上述物理规律,解决各种具体问题和解释新的实验事实了。在迎接 20 世纪的前夕,他们高兴地写道:“在已经建成的科学大厦中,后辈物理学家只要做一些零碎的修补工作就行了”,“后代人的工作将只是在已有的实验数据后面增加几位有效数字……”。当然,也有些物理学大师还是疑惑地看出“在物理学晴朗天空的远处,还有两朵小小的令人不安的乌云。人们无法解释热辐射实验,也无法解释迈克耳孙—莫雷实验”。

20 世纪初,正是这两朵乌云铺天盖地而来,使物理学发生了巨大的革命。现代物理学的两大基石——量子论和相对论,正是建立在这两个实验之上的。前者乃是量子论的实验基础,后者则是相对论的支柱。也正是由于有了量子论和相对论,20 世纪的现代物理学才能取得今天如此辉煌的成就。

回过头来看,20 世纪的物理学正处于自然科学的前沿。在这个世纪中,物理学让人们懂得了不仅有宏观世界,还有微观世界;基本的作用力不仅有引力和电磁力,还有强相互作用力和弱相互作用力;在微观世界中,万物不再服从经典力学,而遵守量子力

学;在量子力学中决定论不再成立,就是说最后的结局并非一切皆由最初的情形决定(只是,人们对量子力学的全部含义至今仍并不十分明确,特别是不确定原理);物质运动的规律越来越复杂,而且物理学正与化学、生物学、天文学走得越来越近。今天多数物理学家相信海森伯(W. Heisenberg)的预言:“在人类思想发展史中,最高成果的发展几乎总是发生在两种不同思维方法的交会点上。它们可能起源于人类文化中十分不同的部分、不同的时间、不同的文化环境或不同的宗教传统。因此,如果它们真正地汇合,也就是说,如果它们之间至少关联到这样的程度,以至于发生真正的相互作用,那么我们就可以预期将继之以新颖有趣的发展。”这或许也是物理学的未来。

已经过去的20世纪里,物理学的发展是迅速的,它的发展特征最主要有四个方面。一是向着越来越小的尺度,从探索 10^{-10} 米尺度的原子到 10^{-15} 米尺度的原子核,再到 10^{-19} 米以下的夸克和轻子;二是向着越来越大的尺度,直到 $10^{18} \sim 10^{26}$ 米的天体系统,甚至探讨大尺度宇宙与小尺度“粒子世界”间的内部联系;三是向着“快”的方向,与此联系的是纳秒(10^{-9} s)、皮秒(10^{-12} s)、飞秒(10^{-15} s)等等超快速物理过程;四是向着“深入”的方向,人们的探索思维正在走向介观体系、暗物质、反物质等等更具有挑战性的体系。这些探索无不需要进行精密的物理实验或观测,需要对物理量的精确测量和对时间、长度等





基本量的准确计量,也就是说,它们都以测量和计量为基础。

测量和计量可以说是物理学的基础。许多物理学家为其付出了毕生的心血。本书列举了 20 世纪物理学在测量和计量领域的八个里程碑实验,这些实验都获得了诺贝尔物理学奖。本书所讲的似乎是八件独立的事,但是将这八个里程碑联系起来,正反映了物理学在 20 世纪走过的道路。

按年代前后,第一个里程碑当属迈克耳孙(Albert A. Michelson)在精密光学仪器和光速测定方面的卓越成就。我们刚才介绍过 19 世纪末物理学的情况,当时人们认为光乃至电磁波的传播说明整个空间存在着一种特殊介质:“以太”。地球以及各种物体都带着以太运动,而麦克斯韦方程组只有在相对以太静止的参考系才精确成立。

以太假说是人们根据自然现象及实验事实进行总结、归纳、推演而形成的理论模型和规律。它是否正确,需要由实验来检验。也就是说,“以太”是否存在应该由物理量的测量得到证实。

迈克耳孙的最初想法是试图用精密的光学干涉法测定地球相对于“以太”的运动速度。既然地球的公转产生相对于以太的运动,那么在地球上两个互相垂直的方向上,光通过同一距离的时间应当不同。但是,在迈克耳孙和莫雷(Edward Williams Morley)1887 年进行的实验中,其结果是观察不到干涉条纹的移动(即零结果),从而否定了以太的存在。这一



实验结果表明麦克斯韦方程组不满足伽利略变换不变性,从而揭示出了麦克斯韦电磁理论与绝对时空观之间的尖锐矛盾,为狭义相对论铺平了道路。

凝聚态物理是 20 世纪后期物理学发展中最迅速的一支。其实早在 1920 年,纪尧姆(Charles E. Guillaume)就因为在这方面的贡献荣获了诺贝尔物理学奖,他的功绩在于对铁镍合金热膨胀反常性以及因瓦合金的发现和应用。他系统地研究了不同铁镍比对热膨胀的影响,并得到了热膨胀系数接近为零的因瓦合金,促进了当时钟表工业的发展。不仅如此,纪尧姆自 1905 年起就担任国际度量衡局局长,是提倡公制和提倡国际度量衡统一的先驱者。

拉曼(Chandrasekhara V. Raman)由于对光散射的研究和拉曼效应的发现在 1930 年荣获诺贝尔物理学奖。1928 年,拉曼和其学生克里希南(K. S. Krishnan)在研究单色光在液体中的散射时,不仅观察到与入射光频率相同的瑞利散射,还发现两侧有强度很弱、与入射光频率不同的散射光谱,而且散射光谱频率的变化决定于散射物质的特性。光散射的这一特殊效应后来被称为拉曼效应,此类散射光谱称为拉曼光谱。拉曼光谱是入射光子和散射物质的分子相碰撞时,分子的振动能量或转动能量和光子能量叠加的结果。利用拉曼光谱,可以把处于红外区的分子能谱转移到可见光区来观测。因此拉曼光谱不仅为光的量子理论提供了证据,而且它作为红外光谱的补充,是研究分子结构的有力武器。英国



皇家学会称之为“20 年代实验物理学中最卓越的三个发展之一”。

由于拉曼光谱很弱,受当时光源和检测手段的限制,它的发展曾停滞了一段时期。20 世纪 60 年代激光技术的出现,使拉曼光谱得以迅速发展。再加上近年来研制的高分辨率单色仪和高灵敏度光电检测系统,使拉曼光谱学的研究和应用进入崭新的阶段,应用领域遍及物理、化学、生物、医学等学科。利用各种类型的材料作为散射物质,几乎都有可能得到相应的拉曼光谱。这种新型的实验技术正日益显示其重要意义。

在凝聚态物理领域中起重要作用的还有布罗克豪斯(Bertram N. Brockhouse)和沙尔(Clifford G. Shull)用中子散射研究凝聚态物质的先驱性工作(他们于 1994 年获诺贝尔物理学奖)。他们创造的中子衍射技术和中子谱仪,对有机分子、生物大分子结构以及物质磁结构的测量是一个不可替代的技术。

共振是自然界普遍存在的物理现象。利用共振的测量技术能够得到微观能级结构的精密数据。1957 年,穆斯堡尔(Rudolf Mössbauer)发现了原子核无反冲的 γ 射线共振吸收现象(他因而于 1961 年获诺贝尔物理学奖),谱线的能量分辨本领能够高达 $10^{-13} \sim 10^{-16}$ 。由此通过研究超精细相互作用,可以觉察核能级和原子能级的细微变化。利用穆斯堡尔效应,人们第一次在地球上实现了对引力红移的验证。

获得 1966 年诺贝尔物理学奖的卡斯特勒 (Alfred Kastler) 研究的是另一种共振方法——原子中的赫兹共振。20 世纪 40 年代, 军事需要促进了雷达技术的发展。与雷达技术兴起相关, 射频波技术的发展给光谱学带来了新的机会。射频技术应用到光谱学中, 不仅解决了光谱学在研究原子超精细结构上的难题, 更成为了接着出现的原子钟、激光器等实际应用技术的基础。卡斯特勒和他的同事们发现并发展了使原子的光学频率的共振和射频电磁波 (赫兹波) 的磁共振同时发生的方法, 于是人们可以据此精确地研究原子能级结构。他的发现也在随后被用来建造原子钟和高灵敏度磁强计。

1989 年的诺贝尔物理学奖授予三位在原子物理实验技术方面作出杰出贡献的物理学家。拉姆齐 (Norman F. Ramsey) 的获奖内容是在 20 世纪 50 年代初发明了一种精确观察和测量原子辐射的方法——分离振荡场方法。分离振荡场方法使测量到的原子线宽减小了 2~3 个量级, 直接导致了高准确的铯原子钟的诞生, 成为现在国际通用的时间基准。拉姆齐接着发明的涂壁贮存泡技术, 进一步压缩了线宽。他还于 1960 年制成了世界上第一台氢原子钟, 此后发展成为迄今稳定度最高的时间和频率标准。20 世纪 50 年代末, 保罗 (Wolfgang Paul) 发明了射频离子陷阱 (离子阱), 即用六极磁场可以将原子和分子聚束, 将带电粒子 (如电子和离子) 长时间地囚困其中, 不受外界干扰, 成为带电粒子存储技术的先驱。

