



# 诺贝尔奖 百年鉴

## 探索物质最深处

■ 场 论 与 粒 子 物 理 ■

谢谔成 勾 亮 / 著



上海科技教育出版社



谢诒成 勾 亮 / 著

# 诺贝尔奖百年鉴

■ 场 论 与 粒 子 物 理 ■

## 探索物质最深处

上海科技教育出版社

## 诺贝尔奖百年鉴

---

### 场论与粒子物理 探索物质最深处

谢治成 勾亮 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 97 000  
版次 2001 年 7 月第 1 版  
印次 2001 年 7 月第 1 次印刷  
印数 1-5 000  
书号 ISBN 7-5428-2560-7/N·415  
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

谢诒成,女,1943年生,1965年毕业于中国科技大学近代物理系。北京工业大学应用物理系教授、中国物理学会科学普及委员会主任。曾在中国科学院高能物理研究所、德国海德堡大学理论物理研究所进行粒子物理理论研究。

勾亮,男,1939年生,1964年毕业于吉林大学物理系。中国科学院高能物理研究所副研究员。曾为《中国大百科全书》撰写关于粒子物理的诸多条目。

## 图书在版编目(CIP)数据

探索物质最深处:场论与粒子物理/谢诒成,勾亮著.  
上海:上海科技教育出版社,2001.7  
(诺贝尔奖百年鉴)  
ISBN 7-5428-2560-7

I. 探…

II. ①谢… ②勾…

III. ①场论-普及读物②基本粒子-物理学-普及读物

IV. O413.3-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 23859 号

# 目录

---

## 1 物质的基本组元/1

## 2 量子化的场/13

场也是物质/13

光的量子性/22

二次量子化/26

## 3 QED 与重正化/33

量子场论与 QED/33

费恩曼图/35

重正化/40

## 4 短程力/45

$\pi$  介子的故事/45

中微子假说/52

20 年后终有结果/56



---

## 5 对称性/63

从光谱窥测原子/63

对称性与守恒量/67

另一种对称/73

## 6 守恒是相对的/81

$\tau - \theta$  之谜/81

华人的骄傲/83

深远的意义/89

探索无止境/94

## 7 基本粒子不基本/101

“粒子周期表”/101

有味有色的夸克/106

夸克存在的证据/109

色力与胶子/113

## 8 电弱统一之路/117

轻子二重态/117

弱相互作用理论/122

规范场/126

电弱统一理论/130

第四种夸克/136

重的轻子/140

夸克和轻子的代/145

---

# 9

## 标准模型不是终结/149

电弱统一理论的重正化/149

标准模型/151

并非终结/155

本卷大事记/159

# 1

## 物质的基本组元

五彩缤纷、千变万化的物质世界是由什么组成的？古往今来，对于这个问题的答案在不断演变。古希腊人认为物质世界是由天空、大地、火和水组成的，我们中国的先人则认为世界是由金(属)、木、水、火、土这五种元素组成的。尽管他们的看法不一致，但有一个共同点，就是根据所见到的物质，把它们分成几大类，就成了物质世界的基本组分。

古希腊哲学家德谟克利特(Democritus)认为，一切物质都是由不可分的原子组成的。他的阐述只表达了物质观念的一种唯物主义哲学观点。至于原子究竟是什么？这个问题在他当时那个时代是无法回答的。

后来，由于冶炼业的发展，以及化学和化学工业的产生，人们才深入到对构成大块物质的成分的研究，最终导致了19世纪门捷列夫元素周期表的产生。尽管现在人们仍然还在寻找可能存在的元素，但不论天空、大地、水和火，还是金属、木和土壤，基

1

探索物质最深处





本都可由具有特定化学性质的 100 多种元素组成,每种元素则由构成该元素的基本单元及化学变化中的最小微粒——原子组成。

19 世纪末,一种叫“阴极射线”的现象引起了科学家的极大兴趣。在充有稀薄气体的玻璃管两端加上高压电后,玻璃管内就发生放电现象。如果提高真空度,玻璃管内的光线反而逐渐消失,在阴极对面的管壁上却会出现荧光。它表明,这种荧光或辉光是从阴极发出的某种肉眼不能看见的射线打在玻璃管壁上所致。今天我们大多数家庭中电视机的显象管基本上就是利用这个原理制造的,但当时对阴极射线是什么东西,人们却一无所知,还需要搞清楚。

作为阴极射线研究的开始,首先有人证实了那是一种带负电荷的粒子。1897 年,英国剑桥大学的 J·J·汤姆孙(Joseph John Thomson)测定了阴极射线粒子的电荷与质量之比。结果表明,这个比值与阴极射线管中的气体种类无关,也与阴极材料无关。接着,汤姆孙又测量得出,阴极射线粒子电荷与氢离子的电荷大小近似相等,符号相反。再根据已知的电荷质量比,就计算出阴极射线粒子的质量大约是氢离子质量的  $1/1800$ 。由此,汤姆孙提出,阴极射线粒子是一种比原子轻得多的粒子,其电荷代表了一个最小单位。汤姆孙称这电荷单位为“电子”,后来,人们就把阴极射线粒子本身称为电子。

1895 年,德国维尔茨堡大学的伦琴(Wilhelm Conrad Röntgen)惊讶地发现,一个被黑纸包着的阴极

射线管使放在一定距离之外的一个涂有氰化钡箔的纸屏变得明亮起来,发出荧光,而他知道阴极射线是不可能透过黑纸射到纸屏上的。他又把手放到管子和屏之间试探,竟在屏上看见了自己手的骨骼!经过仔细研究,伦琴得出结论:阴极射线打击放电管壁,产生了一种新的射线,伦琴称之为“X射线”。

第二年,法国科学家贝克勒尔(Antoine Henri Becquerel)想要研究X射线与荧光之间存在什么关系。在准备实验时,他用双层黑纸包住一张照相底片,纸上放了一些铀化合物,把整个东西放在暗抽屉里备用。几天后他打开抽屉,出乎他意料的是,铀化合物已经使其下面纸包中的底片感光。于是,人们称之为“放射性”的现象被发现了。凡是放射性元素(例如铀)或其化合物都能发射有穿透物质本领的射线。1898年,玛丽·居里(Marie Skłodowska Curie)和皮埃尔·居里(Pierre Curie)夫妇又发现了新的放射性元素钋和镭。到1900年,科学家已分析出了放射性物质射线的成分有三类:带正电叫 $\alpha$ 粒子,带负电的叫 $\beta$ 粒子(实际上就是电子),中性的叫 $\gamma$ 粒子。

电子、X射线、放射性,19世纪末物理学的这三大发现打破了原子不可分的旧观念。从原子论建立之日起,人们普遍认为原子是物质的最小单元,而且每种原子都是电中性的。现在,既然从原子中飞出了带负电荷、质量为原子的千分之一的电子,就表明原子内部还有带正电荷的物质。那么,原子内正电荷是怎样分布的呢?发现电子的汤姆孙首先提出了





一种模型,把原子设想成一个实心球体,其中的正电荷连续均匀地分布着,电子埋在球体内,使原子总电量为零。他还估计出原子的半径约是  $10^{-10}$  米。

1909 年,卢瑟福(E. Rutherford)用  $\alpha$  粒子束去打击金属箔片中的原子。 $\alpha$  粒子带正电荷,质量约是氢离子的四倍。当具有同一初速度的一束  $\alpha$  粒子射向原子时,它们受到原子内正电荷的排斥力影响,改变原运动路线而朝各方散开。卢瑟福发现  $\alpha$  粒子束中有相当一部分散射角度很大,与用汤姆孙模型作理论分析的结果有明显矛盾。经过周密思考,卢瑟福提出了另一种原子结构模型:原子内部有一个核心,原子的所有正电部分都集中在这个比原子小得多的范围中,电子受原子核正电荷吸引围绕着它运动。

可是,按照经典的宏观电磁理论,当带电粒子作圆周运动时,会连续放光而不断丢失能量,转的圈子越来越小。如果真是这样,卢瑟福模型中的电子最终就要与原子核相碰,可是,这又与人所共知的原子稳定性冲突了。那么,解决矛盾的出路何在呢?

时代在呼唤新物理学的出现。1900 年诞生了由普朗克(Max Karl Ernst Ludwig Planck)提出,后经爱因斯坦(Albert Einstein)在 1905 年最后完成的光量子说。过去,人们从干涉、衍射等现象了解了光的波动性质。光量子说则通过光电效应等现象证明,光还有粒子性质,光的微粒叫光子。后来知道,所有微观粒子都是既有粒子性又有波动性的,这种共性叫“波



粒二象性”。波粒二象性粒子的运动不遵从牛顿力学规律,而是由量子力学来描述。

1913年,丹麦科学家玻尔(Niels Bohr)把量子观点应用到卢瑟福模型上,提出在原子中电子的运动轨道半径、角动量以及能量都不是任意的,即不可以连续改变。电子的一系列不连续能量值构成了“能级”,一般说来,当原子中的电子都处于尽可能低的能级时它是稳定的。如果有的电子能级过高,它就不够稳定,当它跳跃到低能级时,就放出光子。由于能量守恒,该光子的能量等于电子跃迁前后两个能级的能量之差。玻尔理论很好地说明了原子的稳定性,同时也初步解释了原子发光所产生线光谱的规律。

基本掌握了原子结构之后,科学家证实, $\alpha$ 粒子就是氦原子核, $\beta$ 、 $\gamma$ 射线则分别是原子核中发出的高速电子流和光子流。显然,下一步应该搞清楚的问题是: $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 射线是怎样从原子核中发射的?为什么有的原子核有放射性,有的却没有?

科学家继续利用 $\alpha$ 粒子去轰开原子核,想探查个究竟。1919年,卢瑟福首先以 $\alpha$ 粒子轰击氮原子核,使氮原子核发生了转变,放出了氢原子核(即质子)。接着,他和查德威克(James Chadwick)又发现硼、氟等也可以产生类似的转变,由此推断质子是原子核的构成成分。把原子核的电荷除以质子的电荷所得的倍数,就是该原子核内包含的质子个数。但是,当他们又用原子核的质量除以质子的质量时,得



出的倍数却比电荷相除得出的倍数大得多,例如氧原子核电荷只是质子电荷的 8 倍,其质量却是质子质量的 16 倍。于是他们猜测在原子核中除了质子还有某种中性物质,这种物质具有与质子相当的质量,并与质子一起构成原子核。

1932 年,居里夫人的女儿伊雷娜·约里奥-居里(I. Joliot-Curie)与她丈夫弗雷德里克·约里奥-居里(F. Joliot-Curie)在用  $\alpha$  粒子轰击铍时发现了一种电中性的、穿透力比通常  $\gamma$  射线还强的射线,这种射线又使石蜡产生质子。查德威克读到他们发表的论文后,很快复核了该实验,并从能量守恒条件证明,如果这射线是一种质量与质子相差无几的中性粒子,那么它轰击石蜡后所产生的质子就恰好具有实验所测定的能量。该粒子被取名中子。

中子发现以后,原子核由中子和质子构成的理论瓜熟蒂落。中子和质子质量几乎相等,中子不带电,质子带正电。假设原子核中有  $Z$  个质子、 $(A - Z)$  个中子,则其质量大约是质子质量的  $A$  倍,而其电荷等于质子电荷的  $Z$  倍。通过实验,人们除验证了这些数量关系外,还确定质子和中子都有自旋(此前人们已经通过原子光谱的实验观测结果得出电子有一种固有的内在角动量,并将其叫做“自旋”),自旋量子数都是  $1/2$ 。有时这两种粒子又统称为核子,使它们结合的力则叫核力。核力在其作用范围内,比电磁力强上百倍。

原子核也有能级,位于高能级的原子核不稳定,



要通过放出射线而达到稳定。每种化学元素原子核的质子数都是一定的,中子数却可以不同,这样的原子核叫同位素。中子数过多的同位素也不稳定,将自动发生中子转变为质子的过程,同时放出一个电子,这就是 $\beta$ 衰变。另一些不稳定原子核会放出 $\alpha$ 、 $\gamma$ 射线。

只是通过观测射线导致的荧光和对底片的感光还不能够定量地研究放射现象,于是探测器应运而生。一种叫计数器的充气管每当有射线穿过时便能产生电信号,另一种以其发明者威耳逊(C. T. R. Wilson)命名的云室则可以显示出粒子运动的径迹。

1932年,美国加州理工学院的安德森(Carl David Anderson)从几千张云室照片中发现了一条陌生的径迹,留下这径迹的粒子与电子质量相等,电荷大小也一样,只是符号相反。安德森提出,这是带正电的电子,或叫正电子。当时他并不知道,在此以前英国物理学家狄拉克(Paul Adrien Maurice Dirac)已从关于电子的相对论理论预见到了正电子的存在。狄拉克的理论还预言,电子和正电子可以由光子从真空中同时成对地产生。反过来,如果一个电子与一个正电子相碰,则将同时湮灭,全部能量转化成光子辐射出去。这些现象也被实验观测到了。

电子和正电子是一对正反粒子。后来又发现,每一种微观粒子都有其反粒子,正反粒子相遇即发生湮灭。反粒子与正粒子的质量、自旋都完全相同。带电粒子的反粒子与正粒子电荷符号相反。有的中

