

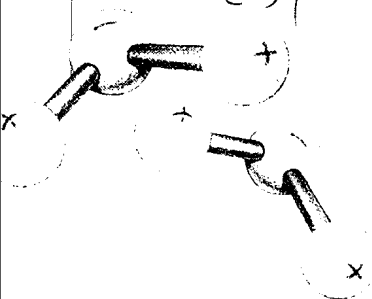
张端明 / 编著

DANGDAIQINGNIAN **KEPUWENKU**

极微世界探极微

0572.2-49

831



青年

文

库

普



图书在版编目 (CIP) 数据

极微世界探极微/张端明编著. —武汉: 湖北科学技术出版社, 2000.1

(当代青年科普文库)

ISBN 7-5352-2431-8

I. 极… II. 张… III. 基本粒子-普及读物
IV. 0572.2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 11714 号

当代青年科普文库

极微世界探极微

©张端明 编著

责任编辑: 李慎谦

封面设计: 谢颖

插图: 王梅

责任校对: 蒋静

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 86782508

地址: 武汉市武昌黄鹄路 75 号

邮编: 430077

印刷: 武汉第二印刷厂

邮编: 430100

督印: 苏江洪 刘春尧

850mm×1168mm 32 开

8.25 印张

4 插页

200 千字

2000 年 3 月第 1 版

2000 年 12 月第 2 次印刷

印数: 5 001-7 000

ISBN 7-5352-2431-8/O·26

定价: 12.50 元

出版说明

出版一套面向广大青年的科普图书,是许多地方科技出版社萦怀已久的愿望,但是由于种种原因,一直没有哪一家出版社独自将之付诸实施,这常常让我们引为憾事。1995年,新闻出版署确定了《当代青年科普文库》为国家“九五”出版重点选题,才使我们有机会通过联合出版的方式了却大家的夙愿。

今天,世界处在科学技术飞速发展、社会生活瞬息万变的时代。处于高科技时代的青年人,通过耳濡目染或者孜孜以求,已经打开了曾经狭窄的眼界,而从各种不同的途径汲取知识,丰富自己,以求得多元的而不是单一的知识结构。将会影响21世纪人类命运和前途的高新科学技术知识,便成为他们涉猎的热点。青年人清醒地认识到,21世纪是青年人的世纪,他们背负着时代赋予的重大责任,而科学技术知识恰恰能开发他们担负起这种责任的巨大潜能。

地方科技出版社承担着向青年系统地进行科学普及教育的重要任务,这是具有使命性的任务。科学普及事业直接影响着社会进步和民族兴衰。翻开历史的卷页,许多事实都证明,科学技术对社会的影响既取决于科学技术的发展水平,又取决于科学技术被公众理解的程度,所以说,科学普及与一切科学活动、科学成就具有等量齐观的价值。我们注意到,由于现代科学技术发展迅速,知识更新日益加快,自然科学的各分支学科之间、自然科学与社会科学之间的融合愈加紧密,再像过去那

样仅向青年人介绍一般的科学常识已经不足以提高他们的科学文化素质。因此,《文库》除介绍了当代科学技术的重要知识内容,并竭力避免浮光掠影地粗浅描述外,还十分注重一定层次的整体描述,企望以此引导青年朋友改变传统的、陈旧的思想观念,确立新的科学理念、科学精神、科学方法和科学的思维方式。

在人类社会的发展进程中,科学技术从来不是孤立存在的,它是社会文化的重要组成部分。今天,人们越来越重视科学技术的文化意义,这对当今社会的进步具有重大意义。我们力求把科学技术放到大的文化背景中,采用合理的文化观念描述人类、自然、社会相互间的关系,使当代青年从单纯了解科学技术事实的局限中解脱出来,看到科学技术更为广阔和动人的图景。

《当代青年科普文库》的前期准备工作进行了将近两年,总体策划工作组在广泛调查研究的基础上,拿出了选题设想和文库整体编辑方案,之后多次进行了充分的讨论并召开专家论证会,确定了最后的选题编辑方案,这一方案经过地方科技出版社社长、总编年会通过后才正式加以实施。参加这一工程的共有 27 家地方科技出版社。

在《文库》即将全部付梓之际,我们倍觉欣慰。与此同时,我们对在《文库》策划、编辑、出版过程中,给予关心和支持的中宣部出版局、新闻出版署图书司和中国版协科技委员会的领导表示敬意和感谢;对应邀担任《文库》顾问的各位领导和科学家表示诚挚的谢意;对在很短的时间内编写出高质量稿件的各位作者表示衷心的感谢;对承担《文库》编辑、出版工作的各地方科技出版社的领导、责任编辑致以深切的慰问。作为跨世纪的大型科普书,这是我们奉献给当代青年的一份礼物,希望他们能够喜欢这份礼物。

中国出版工作者协会
科技委员会地方工作部
1999 年 6 月

撩开极微世界的面纱	(1)
极微世界的惊雷	(1)
宇宙的最小砖石	(4)
桂冠如何加冕	(7)
千古“兴亡”一表收	(11)
解剖刀、超级导弹、摄像机及其他	(17)
极微世界的“解剖刀”	(17)
“超级导弹”的庞大家族	(20)
对撞机为何一枝独秀	(25)
超级摄像机的故事	(28)
灵机妙算信有神	(32)
桌面上的加速器	(36)
“粒子王国”美的韵律	(40)
相互作用——物理世界的经纬	(40)
莎士比亚与牛顿	(43)
镜花水月奈何天	(45)
上帝竟然是左撇子	(48)
余波殃及反物质世界	(53)
神奇的 CP 魔镜	(59)
最后的天堂——CPT 对称性	(62)
往事钩沉心潮急	(65)

轻子世界漫游	(71)
加冕 100 年的国王及其后裔	(71)
笔尖下冒出来的幽灵粒子	(75)
普里希娜小姐的故事及其他	(79)
深深的狄拉克海洋	(82)
决定宇宙命运的中微子	(84)
太阳风中隐藏的失窃案	(88)
微型孙行者的三副面孔	(90)
强子王国及桂冠的陨落	(93)
并非多余的砖石	(93)
翩翩而至的不速之客	(95)
新粒子的倾盆大雨	(99)
电子陆战队向核子发动猛攻	(101)
通向夸克王国之路	(104)
残缺的对称的美	(104)
青萍之末的微风	(110)
王冠上的宝石	(113)
真实乎 幻境乎	(115)
初探夸克宫	(118)
美轮美奂的彩色世界	(124)
还是从爱因斯坦谈起	(124)
魏尔的宝贵遗产	(128)
杨振宁惊人的唯美设计	(130)
璀璨夺目的彩色世界	(133)
红外奴役与渐近自由	(136)
最是销魂雾中花	(139)
目断天涯上层楼	(146)
早春二月传佳音	(146)
团圆之夕话团圆	(150)

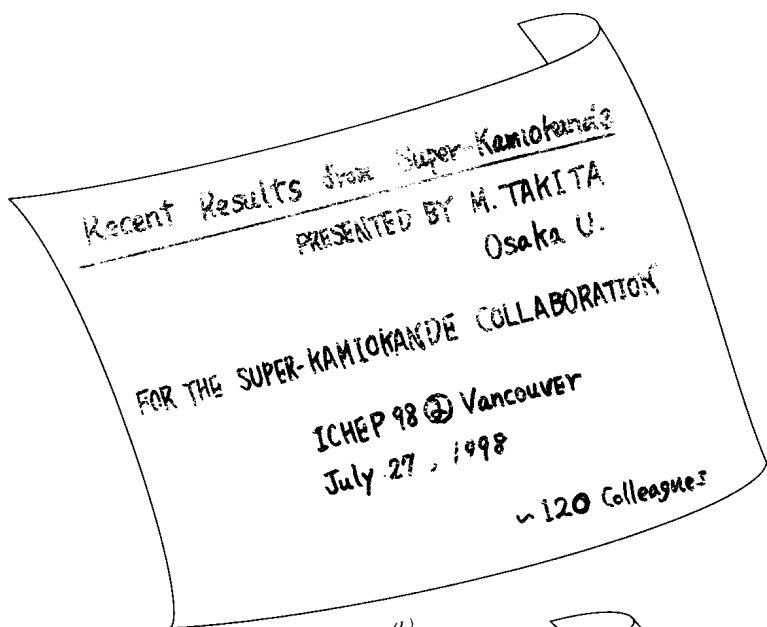
柳暗花明 峰回路转	(153)
奇怪的对称性自发破缺	(157)
富丽堂皇的弱电“统一宫”	(160)
火树银花展新篇	(168)
终极之梦	(173)
世纪之交的梦想	(173)
隐隐约约的深院帘幕	(176)
一个几乎实现的玫瑰梦	(184)
宇宙学需要 GUTS	(189)
终极之梦第一程——超引力	(193)
终极之梦再一程——超弦	(197)
似有若无的影物质	(201)
路漫漫其修远兮	(203)
飞向新世纪伟大探索的征程	(207)
大千世界 极微胜景	(211)
浩渺太空中的金钥匙	(211)
绿衣人似花 烟火来天涯	(214)
哈勃的“膨胀气球宇宙”	(218)
现代宇宙学春天的第一只燕子	(223)
宇宙鸿蒙畅想曲	(226)
现代创世纪的壮丽史诗	(230)
火中凤凰交响曲	(234)
此曲只应天上有	(239)
极微深处有“大千”	(245)

撩开极微世界的面纱

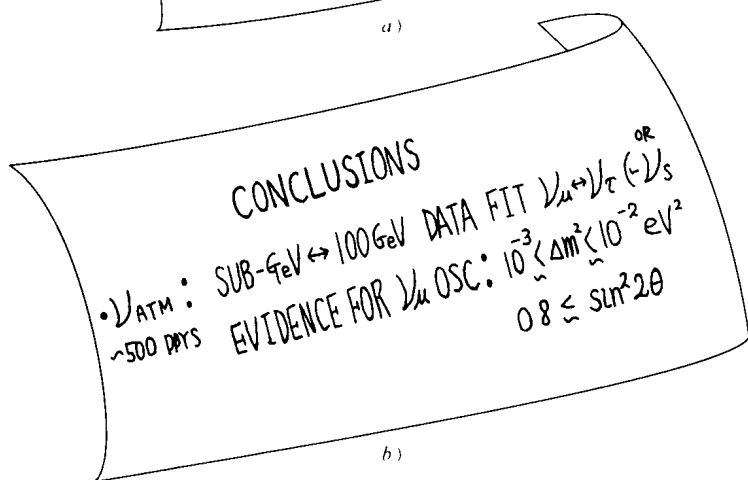
■极微世界的惊雷

1998年5~6月,日本与美国的科学家组成的所谓超级神冈协作组(The Super-Kamiokande)在学术会议(如6月27日召开的国际高能物理会议)和学术杂志(如1998年6月的《科学》)上宣布,他们通过500余天的观测,发现中微子具有静止质量(参见图1)。这件事立刻震动科学界,被许多世界传媒,如通讯社、报社、杂志社、电视台等,评为当年的十大科学新闻。严格地讲,他们在不到1吉电子伏(大致相当中子质量的能量)的所谓亚吉电子伏能区,一直到100吉电子伏的高能区,测量大气中的中微子,发现 μ 子型中微子 ν_μ 和 τ 子型中微子 ν_τ 的振荡现象。所获得的物理数据表明, μ 子型中微子 ν_μ 有静质量,大致为0.03~0.1电子伏,相当于电子质量的 $2 \times 10^{-10} \sim 1.6 \times 10^{-6}$ 倍。

原来一直认为,电子是已知有静止质量的基本粒子中最轻的。读者可以想象,中微子质量更是给人以深刻印象的极小的数



a)



b)

图1 超级神岗协作组1998年国际高能物理会议报告的部分原件
a) 报告扉页(人名有120个,略) b) 中微子具有静止质量的结论部分

字。但是，不要低估这个“微不足道”的质量。它也许会掀起微观世界的轩然大波，甚至会扭转宇宙演化的进程……这真是微观世界的惊雷啊！



图2 太阳中微子检测器（CTF）的检测记录装置

在图2中，太阳中微子检测器（CTF）记录装置的内部尼龙容器装有一闪烁器。图中可看到检测器的细节，如其中光管（phototubes）、光路集线器（optical concentrators）清晰可见。图3则是根据液体闪烁原理设计的名为Borexino太阳能中微子检测器示意图。核心部分为闪烁器，装置由柱形不锈钢板包裹。柱形直径18米，中心高度18米。

1999年6月28日，超级神冈协作组宣布实验有了新的进展，又捕捉到在地下穿行250千米的中微子。该小组计划在今后3年再进行实验，如能获得300次观测数据，中微子是否有质量就能最后定案了。

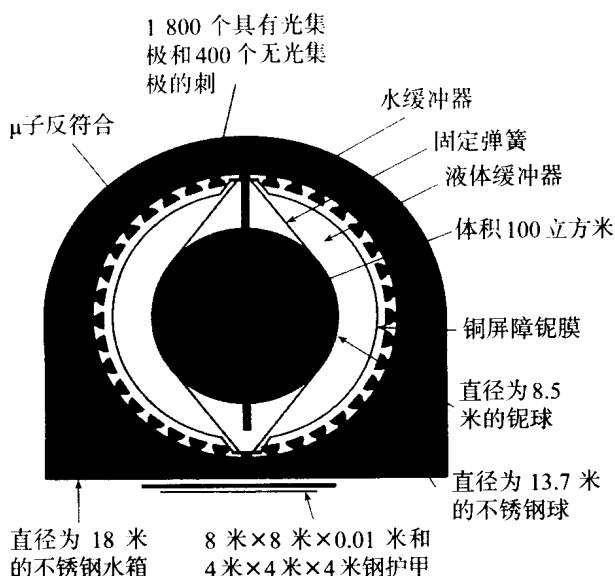


图3 Borexino 太阳能中微子检测器

然而，在追蹊“惊雷”，领略微观世界的瑰丽图像之前，我们似乎还得回答：

什么叫基本粒子？什么是中微子？为什么粒子的质量用电子伏做单位？

……当然更加奇妙的中微子振荡究竟是怎么回事；尤其是振荡为何意味着中微子具有静质量，那更是后话了。

■宇宙的最小砖石

我们眺望周围世界，一切都是那样美好：灿烂的星空，皎洁的月光，鲜艳的花朵，啁啾的小鸟；同时大自然的变幻又是那样

神秘莫测,那么绚丽纷繁:四季的更始,雷电的咆哮,陨石雨的辉煌,物种的代谢。自古以来,这一切都激发着先民的难以遏制的的好奇心和永难满足的求知欲:

我们的宇宙(天地等等)是从哪里来的?是如何演化的?

我们的大地(地球)构造如何?为何有那么多沧海桑田的变化?

生命如何起源?人类如何起源?怎样进化为今天的人类?

对于这些问题的追索与探求,导致宇宙学、天文学、天体物理、地学、生命科学、人类学等学科的诞生与发展。但是,一个最基本、最重要的问题却是:

我们周围的物质世界是如何构成的?到底构成物质世界的砖石中,有没有最小的砖石(即再也不能剖分它们)存在?

一种意见是,没有。我国古代名家学派代表、战国时代的哲学家公孙龙说:“一尺之棰,日取其半,万世不竭。”《庄子·天下》就是说,一尺长的棒子,每天截掉一半,永生永世也不能截完。这种意见,实质上认为物质是无限可分的。

另一种意见是,存在最小的砖石。世界上万物均由这些不可分割的“微粒”构成。用我们战国时代著名哲人惠施(庄子的好朋友)的话就是“至小无内,谓之小一”《庄子·天下》。即最小的物质单元没有内部结构,叫做“小一”。古希腊哲学家德谟克利特(Democritus)继承他的老师留基伯(Leukippos)的思想,创立了著名的“原子论”。原子(atom),希腊文的原意是不能再分。

德氏原子论认为,自然界存在土、水、气和火4种元素,相应于4种形状、大小都不同的原子(如火原子是球形的)。这些原子的不同组合与运动,似乎可以合理地解释许多自然现象,如水的蒸发、香气的弥散,乃至宇宙的形成,等等。

大约比希腊原子论稍后,我国古代大思想家墨子在《经说》中关于“小一”、“原子”的思想,说得更明确,更生动了。他称这

些最小砖石为“端”，宣称“端，体之无厚而最前者也”。又说原子具有“非半”的性质。即是说“端”是不能剖分的物质的始原质点，其本身是没有大小的。这不就是惠施的“小一”、德氏的“原子”么？不就是今日的基本粒子的定义么？

“基本粒子”一词，就是拉丁语“elementary particle”，其原义，就是始原、不可分、最小和最简单的物质单元的意思，实际上是“原子”、“小一”和“端”的同义词。不过随着岁月的流逝，科学的发展，“小一”与“端”没有被采用为科学名词，“原子”一词已演化为一个特定的物质层次，其本义倒渐渐隐没在历史的风尘中，而原来的“小一”、“端”和“原子”的角色，倒是由“基本粒子”一词来承担了。

但岁月的流逝，尤其是近代科学的兴起，使人们变得比较聪明起来。人们感到上述两种观念似乎都有道理，但都有所不足。

就人类认识能力而言，对物质微观的认识是无限的，而且就微观结构来说呈现“梯级结构”模式。用著名的英国物理学家戴维斯(R. Davis)的话来说：“物质是由分子构成的，分子是由原子构成的，原子是由电子和原子核构成的，原子核是由中子与质子构成的。”

现在我们知道，中子与质子等是由“夸克”(quark)构成的。许多人相信，随着实验手段的改进，有可能发现更为基本的微观层次。这种认识的深化和递进，永远不会有终结的。这不就是惠施所说的“万世不竭”么？

然而，就一个时代，限于实验手段和其他种种局限性，人类的认识是有阶段性的。就这个意义上说，每个时代都会有为数不多的真正基本粒子，浑然一体，不可再分，是一切物质的建筑砖石。

如果说“原子”作为基本粒子的桂冠，直到19世纪末才卸下来，持续2000余年，而中子和质子一类强子有此桂冠都不过半个世纪而已。今日基本粒子的桂冠由谁戴着呢？

答曰：“主要是两类：中微子与电子一类的轻子(lepton)与夸克，也许还包括光子一类的媒介粒子，术语叫规范粒子(gauging particle)”至于还有许多理论预言，但尚未发现的粒子，我们都置而不论

粒子物理，或对于“始原”粒子的探索，始终是自然科学尤其是物理学最重要、最富于挑战性的领域。世纪之交评选有史以来最伟大的物理学家，经过世界范围认真评选，上榜名单是：爱因斯坦、牛顿、伽利略、麦克斯韦、卢瑟福、狄拉克、玻尔、海森堡、薛定谔、费曼(次序是作者任意排定的)。大家可以看到，其中至少有7个人与粒子物理有关，或者就是现在粒子物理学的鼻祖。基本粒子物理学在物理学、乃至整个自然科学中所占的地位，由此可见一般。

■桂冠如何加冕

基本粒子的桂冠并不容易戴上。首先它不能再剖分了；其次内部未发现结构；最后应该没有大小，或更确切地说，用现代仪器测量，无法测出其尺度，可以作为类点粒子(like-particle，即其大小可视为质点一类的粒子)处理。

因此，判断一个粒子是否可以进行基本粒子的加冕大典，必须核查它是否可剖分，内部有无结构，其大小如何？

分子不是基本粒子，因为加热或其他方法，很容易使它分裂为原子。可以测出最大分子的尺度有 $10^{-8}\sim 10^{-9}$ 米。

原子，尽管最初给它命名的希腊人，并无科学的实证根据，完全是哲学思辨的智慧结果，但是十分幸运，“基本粒子”的桂冠它居然已戴了2400余年。尽管几经沉浮，有亚里士多德(Aristotle)、柏拉图(Plato)的异议，也有伊壁鸠鲁(Epicurus)的执著宣扬；有漫长的中世纪的冷落和摧残，也有17世纪法国思想家伽桑狄

(P. Gassendi)复兴原子论的义举。牛顿(I. Newton)和英国科学家玻意耳(R. Boyle)赋予原子论以真正近代科学底蕴。经过法国化学家拉瓦锡(A. L. Lavoisier)、俄国人罗蒙诺索夫(M. V. Lomonosov)、里希特(J. B. Richter)和普鲁斯特(J. I. Proust)的辛勤耕耘,原子论完成了科学的洗礼,真正的科学的原子论终于在1803年10月21日诞生了。

这一天,英国科学家道尔顿(J. Dal-

ton)在曼彻斯特的一次学术会议上,宣读论文《论水对气体的吸收作用》,首次公布科学原子论的内容,其中还包括人类历史上第一张原子量表。他傲然讲道:“探索物质的终极质点,即原子的相对重量,到现在为止还是一个全新的问题。我近来从事这方面的研究,并获得相当成功。”

这是作为基本粒子的“原子们”大放异彩的时代,原子的确实存在性、不可分割性以及不变性得到公认。

19世纪伊始,人们知道的元素有28种,到了1869年,人们发现已跃而为63种,就是说,自然界存在63种原子(此时尚没有同

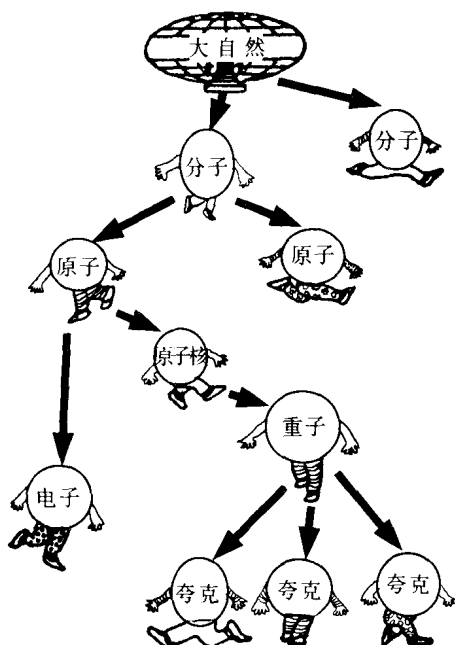


图4 今日基本粒子桂冠落入谁家

位素的发现)。原子论在化学研究中成果累累,令人炫目。

但是,门捷列夫(D. I. Mendeleev)元素周期表的发现:元素性质随原子量周期性的变化,分明暗示原子具有内部结构,而且呈现周期性变化,大大动摇原子的基本粒子宝座了。

1869年,英国科学家希托夫(J. Hittof)在他制造的玻璃管的阴极,发现绿色荧光(即阴极射线)。1897年,英国卡文迪什(H. Cavendish)实验室主任汤姆逊(J. J. Thomson)经过精密实验,首先判定射线带的是负电荷,然后将带电粒子的荷质比(电荷与其质量的比值)与氢离子的荷质比相比较,前者比后者要大2 000倍。就是说,带负电粒子的质量只有氢离子的 $\frac{1}{2\,000}$ 。这种粒子现在称为电子。原子的基本粒子桂冠自此坠落下去。

电子是我们发现的物理新层次的第一个粒子。实际上,用一束光或另一个原子轰击原子时,它就会分裂为原子核与电子。在历史上,正是年轻的物理学家卢瑟福(E. Rutherford)利用 α 粒子(氦原子核)作为大炮,轰击铝箔,发现绝大部分 α 粒子都毫无阻碍地穿过薄片,只是飞行方向略有偏移,散射角不过 1° 而已。但有少数 α 粒子有大角度偏转,有的甚至于偏转 180° ,即似乎反被弹射回来(术语叫背向散射)。由此他明白,原子中有一个集中其绝大部分质量的原子核,因而才会有背向散射;原子核一定占据原子体积很小部分,否则大角度散射与背向散射的事例就会很多了。

现在已弄清楚,原子核的直径只有原子的万分之一,大约 10^{-12} 米。如果原子的体积放大到直径为1千米的大圆球,核只不过是苹果那么大罢了。

原子核也非基本的。人们利用高能粒子,或高能光子(即 γ 射线)轰击原子核也会分裂为中子和质子。后者现在称为光致裂变。前者则是通常裂变的主要方式。



事实上,从历史上看,1938~1939年间,居里夫人的长女,约里奥·居里夫人(I. Joliot-Curie)及其助手萨维奇(P. P. Savic),利用中子轰击铀,使其裂变。德国科学家哈恩(O. Hahn)、施特拉斯曼(F. Strassmann)与奥地利杰出女物理学家梅特勒(L. Meitner)也进行类似的实验。精细化学分析(包括利用传统载体法和放射化学分析法)表明,铀核吸收中子后分裂为几大块,如钡($_{56}\text{Ba}$)、镧($_{57}\text{La}$)和铈($_{58}\text{Ce}$)等。在裂变时,有大量能量释放。这就是原子弹和原子能发电站能源的来源。

大概有半个世纪之久,物理学家一直把中子、质子视为基本粒子,20世纪60年代初,类似的“基本粒子”数目甚至增加到50余种了。但是,很快人们发现,中子、质子,以及此类称为强子(chadron)的基本粒子都是有结构的,均为现在我们称为夸克的粒子构成。在20世纪60年代前后,物理学家对所有“基本粒子”利用加速器和现代检测仪器进行一场最严格“甄别”审查。只有电子、中微子等轻子经受住考验,既无法将它们粉碎,也未发现任何证据,表明它们由更基本成分构成。

这样一来,几十顶基本粒子的桂冠,纷纷从中子、质子一类强子头上坠落下来。只有轻子们头上的鲜艳桂冠依然耀人眼目。尤其是电子头上的桂冠自1897年被发现以来,整整一个世纪过去了,依然不可动摇,可谓老牌基本粒子。

当然,新贵骄子“夸克们”风头正健,基本粒子的桂冠,自然“非君莫属”。目前已发现的轻子和夸克有12种。英格兰脍炙人口的英雄史诗“亚瑟王的12个圆桌骑士”,一直引人入胜。新时代粒子王国正好也是12位骑士:上夸克(u)、下夸克(d)、粲夸克(c)、奇异夸克(s)、顶夸克(t)、底夸克(b),以及电子(e)、电子型中微子(ν_e)、 μ 子(μ^-)、 μ 子型中微子(ν_μ)、 τ 子(τ^-)、 τ 子型中微子(ν_τ)。