



青少年前沿科学探索

神秘失踪的 中微子

◎ 张端明 何敏华 著

SHE NMI SHI ZON
ZHONG WEI ZI

河北出版传媒集团
河北科学技术出版社

神秘失踪的中微子

有一种极微粒子，这种粒子不带电，它们之间没有任何作用，既无强相互作用，也无电磁引力，通常的仪器对它根本无法检测。但它有一个极其独特的本领，这就是：这种极微粒子不论穿越地球还是太阳等简直就像旷野行军，如入无人之境，没有任何阻碍。人们估算，中微子穿过1000亿个地球，才可能跟其中的原子核碰撞一次。即使宇宙全部由实心铅所构成，它们从宇宙的这一头进去，从另一头出来，至多不过有5%的机会被“挡住”。无怪乎人们赐予它们一个佳号：幽灵粒子，它就是中微子。

图书在版编目(CIP)数据

神秘失踪的中微子 / 张端明, 何敏华著. —石家庄:
河北科学技术出版社, 2015. 7

(青少年前沿科学探索)

ISBN 978-7-5375-7825-7

I. ①神… II. ①张…②何… III. ①中微子-青少年
读物 IV. ①O572.32-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 151713 号

神秘失踪的中微子

张端明 何敏华 著

出版 河北科学技术出版社

地址 石家庄市友谊北大街 330 号(邮编:050061)

经销 新华书店

印刷 河北新华第二印刷有限责任公司

开本 700 毫米×1000 毫米 1/16

印张 16

字数 125 000

版次 2015 年 7 月第 1 版

印次 2015 年 7 月第 1 次印刷

定价 28.50 元

有一种极微粒子，这种粒子不带电。它们之间没有任何作用，既无强相互作用，也无电磁引力，因此，通常的仪器对它根本无法检测，这种粒子就是中微子。中微子有一个极其独特的本领，这就是：它不论穿越地球还是太阳等简直就像旷野行军，如入无人之境，没有任何阻碍。人们估算，中微子穿过 1000 亿个地球，才可能跟其中的原子核碰撞一次。即令宇宙全部由实心铅所构成，它们从宇宙的这一头进去，从另一头出来，至多不过有 5% 的机会被“挡住”。无怪乎人们赐予它们一个佳号：“幽灵粒子”。

该粒子取名为“中微子”（neutrino），意大利语原义为小的中性粒子，以有别于中子（neutron），后者原义为大的中性粒子。据说中微子的称呼，是美国科学家费米接受意大利科学家蓬蒂科尔沃的建议后正式提出来的。最初，中微子是著名物理学家泡利为了解决 β 衰变中有“能量丢失”的问题，提出的一种可能存在的假设粒子，这些看不见的粒子带走了这些丢失的能量。当时许多人不相信泡利的理论，他们说，这真有点像找不到丢了的钱，就干脆另造账目一样！因此，中微子第一次为人们所提到，就是在一次激烈的学术争论中，它的身世不同凡响。

这里还有一个问题，为什么当时的科学家未能察觉到中微子的存在呢？实际上这个问题与其后 20 年科学家们苦苦

追寻中微子却不见其踪迹是一脉相承的。原因是中微子只通过弱相互作用与物质耦合，它们与遇到的电子或原子核相互作用极其微弱。要捕捉到一个中微子异常艰难。但是科学家们勇于探索的科学精神，还是让这个“幽灵粒子”显现在了人类面前。

本书以图文并茂的形式为读者讲述了科学家们对这个看似微不足道，实则甚至与宇宙诞生有关的微小粒子的探索发现过程，从中读者朋友可以窥探宇宙深处的奥秘。

张端明

2014年8月

一 色彩斑斓的微观世界

- 宇宙的最小砖石——基本粒子 002
- 基本粒子王国的三代骑士 007
- 电子是怎样发现的 011
- 现代超级照相机 014
- 相互作用——编制微观世界的经纬 019
- 亚原子粒子与夸克 023
- 色味俱全的粒子王国 029

二 笔尖下冒出的幽灵粒子

- “能量失窃案”震动科学界 034
- 漫长的追踪之路 042
- 中微子之父传奇 050
- 泡利和他敬重的三个半物理学家 056
- 泡利的失误 064

三 中微子教父费米及其弱相互作用

- 费米普适弱相互作用理论 071

- 弱相互作用是上帝的错误吗 077
- 中微子教父的靓丽人生 086
- 曼哈顿工程在二战中诞生 091

④ 环绕中微子的疑云怪雾

- 中微子有静止质量吗 095
- 太阳中微子失踪案 098
- 超级神冈探测器 101
- 破解中微子消失之谜 108
- 小小中微子支撑起的“伟业” 114
- 超级神冈小组的历史性贡献 118
- 上帝留下的缺憾 121

⑤ 中微子在微观世界掀起阵阵浪花

- 上帝是左撇子吗 126
- 誉满天下的无冕女王 129
- 中微子的难兄难弟——正电子 134
- 反物质世界存在吗 143
- 中国科学家加入了寻找反物质的征程 151
- 迷雾重重的 CP 破坏 157
- CPT 对称性魔镜会打破吗 162
- 反物质问题与 CP 魔镜 166

六 中微子的静止质量与上帝粒子

- 中微子的静止质量到底有多大 171
- 小小中微子决定着宇宙命运吗 173
- 大自然暗藏的韵律 178
- 什么是对称性自发破缺 181
- 寻找上帝粒子 184
- 探测宇宙奥秘的可靠信使 192
- 穿过地球观天的中微子天文望远镜 195
- 完美理想的中微子通信 199

七 2012 年中微子在科学界掀起惊天巨浪

- 欧洲科学家宣布发现中微子超光速运行 206
- 超光速乌龙余波荡漾 214
- 极其重要的 θ_{13} 222
- 大亚湾实验——中微子研究的灿烂一页 225
- 为什么中微子只有三味呢 231
- 惰性中微子存在吗 239

一、色彩斑斓的微观世界

在2012年，本书的主角——中微子掀起了科学界的两波惊天巨浪。一个是欧洲科学家宣布发现中微子超光速运行。这意味着物理学大厦的基础——狭义相对论需要改写，就是说物理学大厦的基础动摇了。一时间国际科学界议论纷纷，许多人惶惶然不知所措。另一个是中国科学家宣布，在大亚湾的实验基地发现中微子的第三种振荡模式，意味着打开了中微子物理研究的新方向。这个重大的发现不仅是高能物理研究的新成就，而且可望在广泛的高新技术应用领域（如中微子通讯）具有深远的前景。这两件事我们在本书中将详细介绍。

中微子也许是微观世界中最奇特、最富于浪漫色彩的基本粒子了。有位俄罗斯的女诗人吟诵道：“我爱那被人们满怀着希望预言的、在喜悦中诞生、在温柔中受洗礼的中微子。我爱那能穿透一切的天之骄子——中微子，它能够微笑着穿过银河，哪怕用混凝土来把银河浇铸。我爱中微子！”确实，中微子有着不平凡的身世。可以毫不夸张地说，中微子就是笔尖下冒出来的“幽灵粒子”。

● 宇宙的最小砖石——基本粒子

为了介绍中微子的不平凡身世，我们首先要明白什么是基本粒子。

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：四季的更替，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们难以遏制的好奇心和永难满足的求知欲：

我们的宇宙（天、地、日、月、星、辰等）是从哪里来的？又是如何演化的？

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、天体物理学、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：

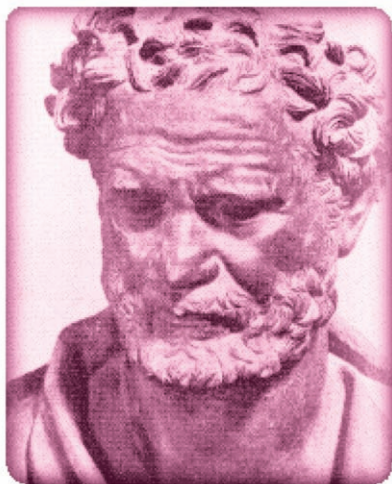
我们周围的物质世界是如何构成的？到底构成物质世界的砖石中，有没有最小的砖石（即再也不能剖分它们）存在？

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。”

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的话就是“至小无内，谓之一”。即最小的物质单元没有内部结构，叫做“一”。古希腊哲学家德谟克利特继承他的老师留基伯的思想，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。



德谟克利特（公元前460～前370）

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“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“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，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。

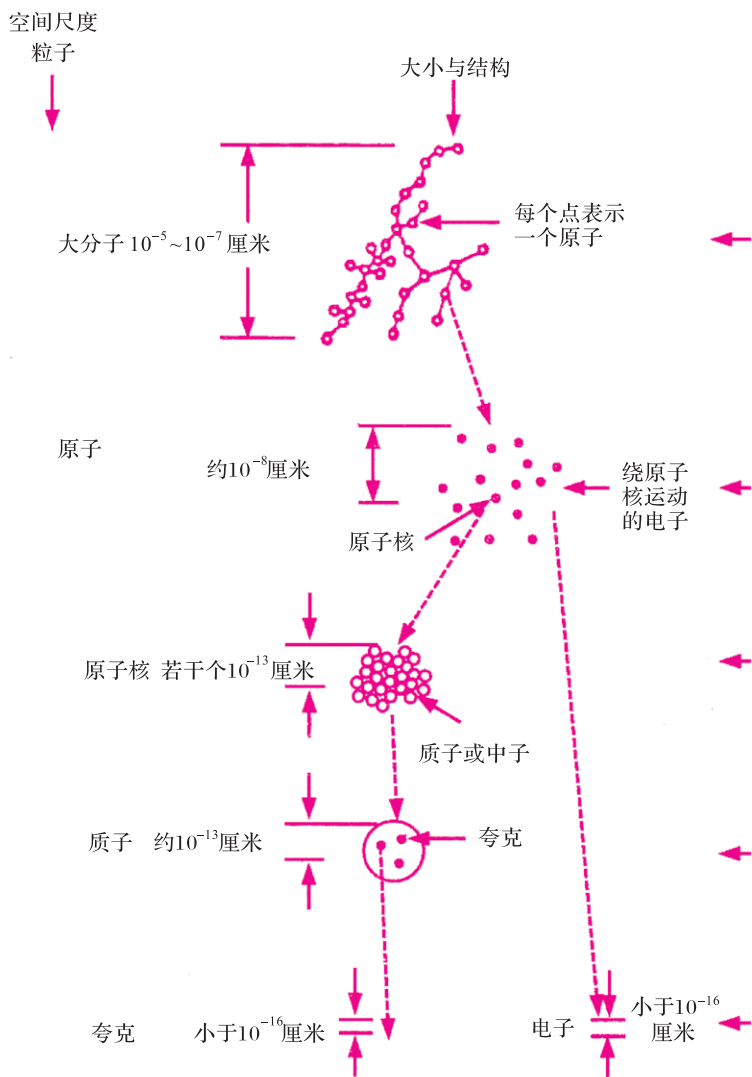
但岁月的流逝，尤其是近代科学的兴起，使人们变得比较聪明起来。人们感到上述两种观念似乎都有道理，但都有所不足。

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。”

现在科学家们已经知道，中子与质子等是由“夸克”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。

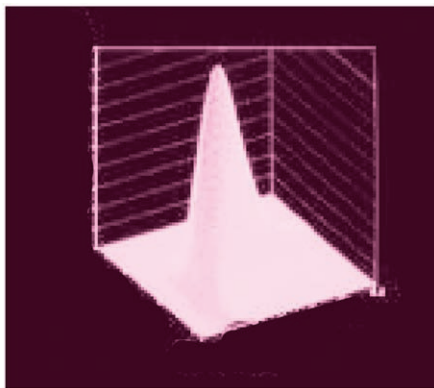
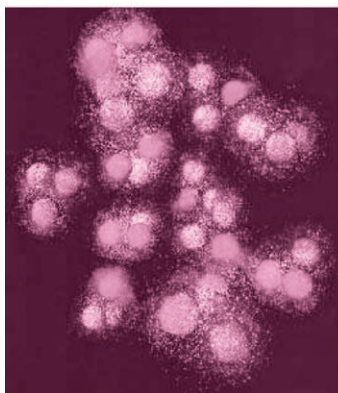
如果说“原子”作为基本粒子的桂冠，直到19世纪末才卸下来，持续2000余年，而中子和质子一类强子有此桂



物质的微观结构不同层次

冠都不过半个世纪而已。今日基本粒子的桂冠由谁戴着的呢？

答曰：“主要是两类：中微子与电子一类的轻子与夸克。也许还包括光子、胶子等一类的媒介粒子。”这些粒子的具体性质我们以后还会介绍。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。



夸克及探测轻子

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，或者就是现代粒子物理学的鼻祖。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，由此可见一斑。

● 基本粒子王国的三代骑士

基本粒子的桂冠并不容易戴上。首先它要求不能再剖分了；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、柏拉图的异议，也有伊壁鸠鲁的执著宣扬；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复兴原子论的义举。牛顿和英国科学家玻意耳赋予原子论以真正近代科学底蕴。经过法国人拉瓦锡、俄国人罗蒙诺索夫、里希特和普鲁斯特的辛勤耕耘，原子论完成了科学的洗礼，真正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



玻意耳 (1627 ~ 1691)

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，人们的发现已跃为63种，就是说，自然界存在63种原子（此时尚没有同位素的发现）。原子论在化学研究中成果累累，令人炫目。

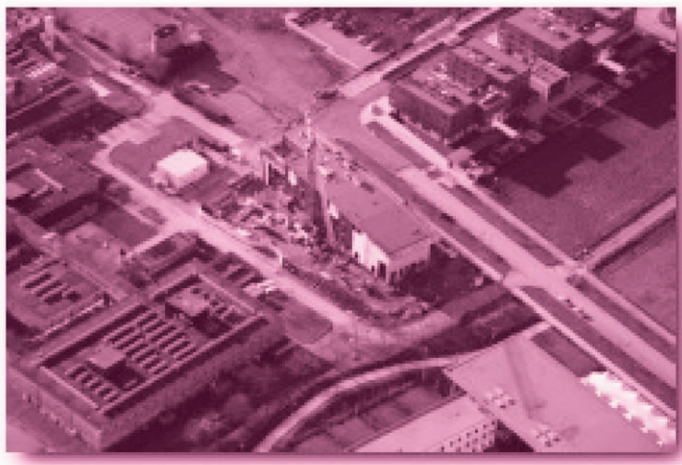
但是，门捷列夫元素周期表的发现：元素性质随原子量周期性的变化，分明暗示原子具有内部结构，而且呈现周期性变化，大大动摇了原子的基本粒子宝座。

1869年，英国科学家希托夫在他制造的玻璃管的阴极，发现绿色荧光（即阴极射线）。1897年，英国卡文迪什实验室主任汤姆逊经过精密实验，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



门捷列夫 (1834 ~ 1907)

者比后者要大 2000 倍。就是说，带负电粒子的质量只有氢离子的 $1/2000$ 。这种粒子我们现在知道了为电子。原子的基本粒子桂冠自此坠落下去。



卡文迪什实验室

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利用粒子（氦原子核）作为大炮轰击铝箔，发现绝大部分粒子都毫无阻碍地穿过箔片，只是飞行方向略有偏移，散射角不过 1° 而已，但有少数粒子有大角度偏转，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} 米直径原子的体积放大到直径为 1 千米的大圆球，核