

神奇的粒子世界

Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics

Martinus Veltman 著

丁亦兵 乔从丰 任德龙 李学潜 李琳 译

u **u** **u** up

d **d** **d** down

ν_e e-neutrino

e electron

c **c** **c** charm

s **s** **s** strange

ν_μ μ -neutrino

μ muon

t **t** **t** top

b **b** **b** bottom

ν_τ τ -neutrino

τ tau

神奇的粒子世界

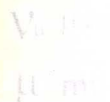
Facts and Mysteries
in
Elementary Particle Physics

Martinus Veltman 著

丁亦兵 乔从丰 任德龙 李学潜 李琳 译



e electron



图书在版编目 (CIP) 数据

神奇的粒子世界 / (荷) 威特曼 (Veltman, M.) 著; 丁亦兵译. —北京: 世界图书出版公司北京公司, 2006.12

书名原文: Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics

ISBN 978-7-5062-7285-8

I. 神... II. ①威... ②丁... III. 粒子—普及读物 IV. 0572.2-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 116579 号

Martinus Veltman

Facts and Mysteries in Elementary Particle Physics

ISBN: 981-238-148-1

Copyright © 2003 by M.J.G. Veltman. All rights reserved. This book, or parts thereof, may not be reproduced in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying, recording or any information storage and retrieval system now known or to be invented, without written permission from the Author.

神奇的粒子世界

作 者: Martinus Veltman

译 者: 丁亦兵 乔丰 任德龙 李学潜 李 琳

责任编辑: 高 蓉

装帧设计: 张 虹

版式制作: 封景工作室 (fjrh999@163.com)

出 版: 世界图书出版公司北京公司

发 行: 世界图书出版公司北京公司

(北京朝内大街 137 号 邮编 100010 电话: 64077922 64015659)

销 售: 各地新华书店

印 刷: 北京朝阳燕华印刷厂

开 本: 850 × 1168 1/32

印 张: 11.75

字 数: 220 千

版 次: 2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月第 1 次印刷

版权登记: 01-2006-0667

ISBN 978-7-5062-7285-8/O · 547

定 价: 39.00 元

版权所有 翻印必究

中文版序言

我满怀喜悦地欢迎《神奇的粒子世界》(Facts and Mysteries in Elementary Particles Physics)一书中文版的出版。

有许多中国学者从事粒子物理的研究工作，我同他们中的很多人关系一直很好。他们对于粒子物理学做出了重要的贡献，我希望这本书将有助于进一步促进这种贡献。我认为，在中国需要做出一生事业抉择年龄的人群中，极少有人对于粒子物理学有充分的了解，从而把它作为自己的奋斗目标。正因为如此，这本书或许可以用来使那些处于这一关键年龄段的学生们对这一学科有一些了解。

此外，由于中国业已在实验粒子物理学领域开展了工作，这本书将有助于阐明在这一学科所发生的事情，以及其研究工作的目的是什么。我认为，没有人会对我们这个物质世界的基础的研究漠不关心。毕竟我们所知道的一切，包括我们自己在内，都是由基本粒子构成的，而我们的世界乃至宇宙都是由这些粒子所遵从的物理规律所决定的。我们未知的东西还很多，我尽力强调了知识的局限性。这样一种状况，不可能不更

加激发每个聪明才俊的兴趣，因为它涉及到了我们整个宇宙的基础。

我充分相信，这本书会把很多有才华的青年人吸引到我们这个领域中来。并且，人们在进入这一研究领域之前就知道我们在做些什么也是非常重要的。毕竟，有谁会对我们宇宙中赖以存在的基元不感兴趣呢？

M·威特曼

译者的话

我们很高兴把这本由著名荷兰理论物理学家、诺贝尔奖金得主 M·威特曼教授撰写的，关于粒子物理的高级科学普及读物——《神奇的粒子世界》介绍给我国广大的读者。英文版原书由新加坡世界科学出版社于 2003 年出版。我们之所以选择翻译这本书，一是因为它确实写得非常出色；另一方面是出于作为物理学工作者的使命感。在当今的中国，乃至世界，年轻人中愿意投身于基础科学研究的已经越来越少。这其中既有经济因素的影响，也与我们科普工作的滞后有关。我们相信本书对研究生，大学生，甚至高中生了解粒子物理的过去、现在和未来都是十分有益的。他们将会体验到粒子物理，这个几乎可以说是自然科学领域中发展的最为完备的分支的神奇之处。

威特曼教授生于 1931 年。1963 年获得博士学位以后，正式进入粒子物理的理论研究工作直至 1997 年退休。1970 年前后，威特曼和他的研究生特·霍夫特在描写基本粒子的电弱相互作用的理论研究中取得了突破性的进展。他们证明了非阿贝耳规范理论可以重正化，从而消除了量子场论中使人困惑的

无穷大，得到了有意义的理论结果。这一开创性的工作为著名的电弱统一理论标准模型的建立以及其后许多惊人的实验发现奠定了一个坚实的基础。为此他们在1999年共享了诺贝尔物理学奖。

退休以后的威特曼致力于向一般公众，特别是青年学生解释粒子物理学。这是一件非常困难的任务。因为它不仅涉及诸如相对论和量子力学等极为抽象的理论，也涉及许多非常复杂的实验技术。粒子物理本身也引入了许多很难为常人接受的概念和理论。所有这些离我们的日常生活经验实在太远了。但是考虑到粒子物理学是要解释我们这个世界的最基本的结构及其动力学，并且我们周围的一切，包括宇宙都是由这些极其微小的粒子的行为所左右，普及这些知识是物理学家义不容辞的责任。读过这本书的读者，你一定会感受到威特曼这位年逾古稀的老人，满怀着一一种激情，像讲故事那样把我们一步一步引向那神奇的殿堂。

作为这本书的作者，这位卓越的科学家尽了最大的努力，用了尽可能通俗的语言，引导读者理解粒子物理学家究竟干了些什么，为什么这样做，他们遇到了什么样的难题，取得了什么样的成绩以及还有什么解决不了的谜团。尽管全书介绍了许多非常抽象的概念，但读起来却津津有味，受益匪浅。

特别值得一提的是，全书包含有八十多个插页，每个插页都提供了一幅或两幅极为珍贵的照片，配之以一篇短文。这些短文与书中的内容既有着密切的联系，又独立成章。它们多数是简单地介绍相关的著名物理学家(大多数是诺贝尔物理学奖

得主)的主要贡献和一些奇闻轶事,其中许多是鲜为人知的。这些极为难得的珍贵资料佐证了威特曼教授为写好这本书所付出的艰苦劳动和大量的心血。

这本书的翻译出版得到了威特曼教授本人的极大关注和帮助。他不仅为本书写了中文版前言,而且亲自委托密西根大学的华裔著名理论物理学家姚若鹏教授校阅了全部译文。在此我们要对他表示我们衷心的感谢。

我们还要感谢北京工业大学的谢贻成教授,她于百忙之中通读了译文,提出了不少修正建议。此外,对于文中所涉及的一些实验的专门术语的译法,高能物理研究所的沈肖雁研究员也给了我们不少帮助,在此我们也要向她表示谢意。

尽管为翻译本书我们付出了很多努力,但限于水平,疏漏甚至误译之处仍然难以避免,欢迎读者不吝赐教。

译者

2006年8月

目 录

引 言	1
致 谢	5
参考读物	6
短 文	7
方 程	8
第1章 初步知识	9
1.1 原子 原子核 粒子	9
1.2 光子	17
1.3 反粒子	21
1.4 质量和能量	24
1.5 事例	28
1.6 电子伏特和其它单位	35
1.7 粒子名称和希腊字母	38
1.8 科学计数法	39

第2章 标准模型	41
2.1 引言	41
2.2 能量和电荷守恒	47
2.3 量子数	50
2.4 颜色	53
2.5 电子中微子、电子数和交叉变换	57
2.6 第一代	62
2.7 代和力	67
2.8 自旋为 $1/2$ 的粒子	72
2.9 自旋为 1 和 2 的粒子	80
2.10 力和相互作用	81
2.11 作用分类	83
2.12 电磁、弱、强、希格斯及引力相互作用	87
2.13 描绘相互作用	90
2.14 量子数的起源	98
 第3章 量子力学 混合	 101
3.1 引言	101
3.2 双缝实验	104
3.3 几率幅和几率	109
3.4 卡比玻 (Cabibbo) 混合和 CKM 混合	117
3.5 中微子混合	128
3.6 粒子混合	130

第 4 章 能量、动量和质壳	137
4.1 引言	137
4.2 守恒定律	140
4.3 相对论	151
4.4 相对论不变性	157
4.5 关系式 $E=mc^2$	163
 第 5 章 探测器	 167
5.1 引言	167
5.2 光电效应	174
5.3 气泡室	178
5.4 火花室	184
5.5 多丝正比室	188
 第 6 章 加速器与储存环	 189
6.1 能量泡	189
6.2 加速器	192
6.3 次级束流	207
6.4 加速器的建造者	212
 第 7 章 CERN 中微子实验	 221
7.1 引言	221
7.2 实验装置	228
7.3 中微子物理	233

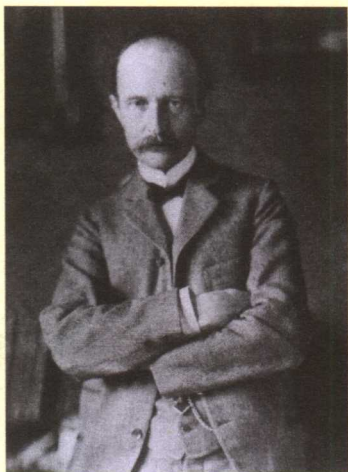
7.4 第一个中微子实验	240
7.5 矢量玻色子	244
7.6 错过的机会	249
7.7 尾声	255
第8章 粒子大家族	257
8.1 引言	257
8.2 束缚态	260
8.3 夸克束缚态的结构	264
8.4 束缚态的自旋	268
8.5 介子	269
8.6 重子	274
8.7 奇特粒子	277
8.8 发现夸克	277
8.9 三重态与双重态及轻子-夸克对称性	282
第9章 粒子理论	285
9.1 导论	285
9.2 费曼规则	287
9.3 无穷大	298
9.4 微扰论	304
9.5 重整化	308
9.6 弱相互作用	311
9.7 康普顿(Compton)散射	315

9.8 中性矢量玻色子	318
9.9 粲(Charm)夸克	323
9.10 希格斯粒子	326
9.11 一般的希格斯耦合	328
9.12 推测	330
9.13 ρ 参数	331
第 10 章 寻找希格斯粒子	333
第 11 章 量子色动力学	342
11.1 简介	342
11.2 禁闭	345
11.3 渐近自由	347
11.4 标度性	350
第 12 章 尾声	355

引言

20世纪见证了物理学无与伦比的进步。这个世纪的前半叶，基础物理由相对论、爱因斯坦（Einstein）的引力理论和量子力学所主导。而在其后半叶，人类目击了基本粒子物理学的异军突起。虽然物理学的其他分支也取得了长足的进步，但在某种意义上诸如超导现象的发现和超导理论的建立等，只是在广度上，而不是深度上扩充了我们对物理世界的理解，因而丝毫不影响我们对自然基本规律的认识。任何在低温物理或统计力学领域工作的没有人会认为这些领域的发展，会影响我们对量子力学的理解，无论它们是多么重要。

这些进步使人们的观念产生了微妙的变化。在爱因斯坦的引力理论中，时空起着主导作用。物质在空间的运动由空间的性质所决定。在这个引力理论中，物质定义了空间，而物质在空间中的运动又由空间的结构所确定。这是一个划时代的、令人震撼的观点。尽管爱因斯坦有着无比的权威，但大多数物理学家并没有囿于其理论。爱因斯坦穷其后半生试图将电磁学纳



马克斯·普朗克 (Max Plank)

(1858—1947) 量子物理的奠基人。1900 年他构思出把能量量子化的思想，提出了一个现在称为普朗克常数的量，这个常数为所有量子现象设立了标度。1918 年他获得了诺贝尔物理奖，是“为表彰他因发现能量量子而对物理学的进步所做的贡献”。普朗克是最早承认爱因斯坦工作，特别是对论的人之一。根据爱因斯坦的

说法，普朗克对待他就像对待一枚珍稀邮票。噢，不管怎么说，普朗克把爱因斯坦搞到柏林去了。

普朗克的重要性和影响怎么说都不为过分。德国 Max Plank 学会以他的名字命名是很公平的。他正是量子力学的发起者。在普朗克之前，尽管分立结构（原子）已被提出，能量仍被认为是连续的，是他导出了能量的量子行为。他是以真实的物理观测为基础做出这项工作的。

普朗克还具有物理之外的其他天才。他是一位杰出的钢琴家，能作曲，会演唱，还能演戏。他写了一部歌剧“森林中的爱”，剧中有着“激动人心的优美的歌”。

在他近 90 年的生命中也有悲剧的一面。他的第一位夫人在结婚 22 年后于 1909 年去世，抛下他及两个儿子和两个女儿。长子死于第一次世界大战，两个女儿都因难产很年轻就去世了（1918 年和 1919 年）。他的房子在第二次世界大战中全部被毁，小儿子被牵连于 1944 年 7 月 24 日试图谋杀希特勒的案件中，尽管他向希特勒求了情，但还是被希特勒的亲信以可怕的方式处决了。

入这幅图像中，把电场和磁场也描述为时空的性质。我们知道，这就是他对统一理论的探索。尽管他不是一个轻易放弃自己观点的人，但在这一点上他始终没成功。然而，由于除了引力和电磁力外，人们还发现了其他相互作用力，这使爱因斯坦的统一观点变得无法成立了。认为这些力都可以解释为时空的性质是不现实的。那种统一理论的时代已经过去了。

或许最好通过一个类比来说明我们所持有的观点。对我们来讲，时空和量子力学规律就像舞台装饰，是表演的布景。基本粒子是演员，物理学就是它们的表演。我们看到的舞台上的门，不一定就是真的。只有当我们看到有演员走过时，我们才知道这是一扇门。否则，可能只是一个假门，是画上去的。

因此，在本书中基本粒子是主角。它们是我们观看的演员，表演着引人入胜的戏剧。这出戏有一些神秘的地方。在一个剧中三个演员总是一起出现，你会怎么想？这些三个一块儿出现的演员看上去完全一样，他们穿着同样的衣服，说着同样的话，只是身材不同。但是这种差别实在太大了：其中一个演员比他的伙伴大 35000 倍，而除此之外他们是完全相同的。这就是今天当我们对基本粒子系统研究时所看到的。没人理解为什么它们会三个一起出现。它是我们这个时代的一个难解之谜。当然，当你看到这出戏时，你一定会认为出现这种多重性是有原因的。它应该是在看完第一幕时你就能理解的东西，但实际不是这样。关于基本粒子和它们的相互作用我们懂得了很多东西，但这个

谜，还有其他一些谜，很清楚地表明我们离彻底的理解粒子世界还相差甚远。并且最重要的是：我们仍不了解引力以及它与量子力学的相互关系。

本书内容安排如下：第1章介绍有关原子、原子核、质子、中子、夸克以及光子和反粒子的初步知识，还包括对质量和能量的一些浅显的讨论。接下来描述“事件”这一在粒子物理中的核心概念。在这一章结尾介绍了所用的单位以及粒子的命名等实用内容。第2章我们从介绍演员，即基本粒子，和它们的相互作用开始。按照我们今天理解，力来自于粒子交换。所以我们使用“相互作用”而不用“力”这个词。第2章中描述的这些粒子和力的综合就是所谓的标准模型。第3章阐述量子力学的一些非常基本的概念。第4章讨论普通力学和相对论理论的某些方面。换言之，我们也应该介绍演员演出所用的舞台。在第5章和第6章中通过对基本物理思想和实验方法的综述，清晰地说明这个领域的研究工作是如何组织和进行的。第7章概述了1963年欧洲核子中心的中微子实验，说明这些实验是如何实际操作的。它告诉我们，要在已知的基本粒子表中简单地添加一点新东西，如何需要付出实验上的巨大的努力。第8章回顾已观察到的粒子谱（包括束缚态），即通常所谓的粒子家族，说明夸克的观念是如何产生的。这个观念把已观测到的粒子大家族减少为几种基本粒子。在第9章我们谈及更深奥的部分——对基本粒子理论的理解。第10章进一步讨论希格斯（Higgs）粒子