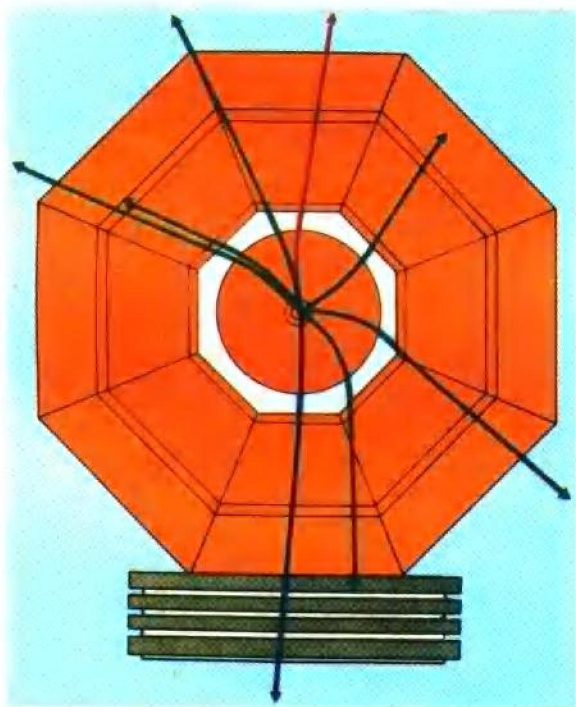


90年代物理学



基本粒子物理学

〔美〕基本粒子物理专门小组

科学出版社



科工委学院802 2 0028491 6

90年代物理学

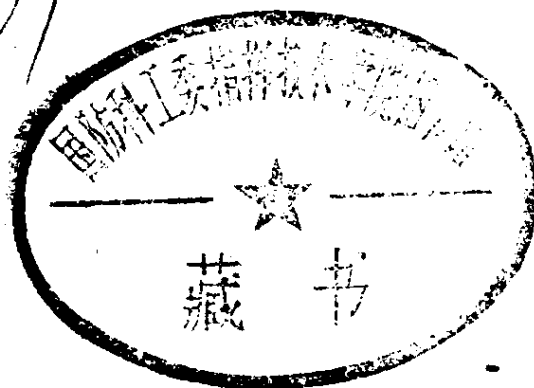
基本粒子物理学

[美]基本粒子物理专门小组 等 编著

沈齐兴 王 平 毛慧顺 译

叶铭汉 沈齐兴 徐德之 校

GF125/07



科学出版社

1992

(京)新登字 092号

内 容 简 介

本书是《90年代物理学》丛书中的一本,它系统地介绍了目前已有的关于基本粒子物理和基本作用力的知识,以及该领域的研究工作是如何进行的,并探讨了基本粒子物理研究的发展方向.本书除开头的实施概要外,全书共分9部分:1.引言;2.什么是基本粒子物理;3.在过去20年中我们得到的知识;4.基本粒子物理学:我们想知道什么;5.用于基本粒子物理研究的加速器;6.基本粒子物理学使用的仪器和探测器;7.同其他物理学领域和技术的相互影响;8.基本粒子物理学的教育、组织和决策;9.结论和建议.此外,书后还附有:A.世界上的高能加速器;B.建造中的粒子对撞机;C.美国基本粒子物理研究的统计信息;词汇表等.

本书可供与基本粒子物理学有关的、不具备任何基本粒子物理学专门知识的科技工作者、管理工作者和有关领导阅读.

Elementary-Particle Physics Panel et al.

Physics Through The 1990s

ELEMENTARY-PARTICLE PHYSICS

National Academy Press, 1986

90年代物理学

基本粒子物理学

〔美〕基本粒子物理专门小组 等 编著

沈齐兴 王 平 毛慧顺 译

叶铭汉 沈齐兴 徐德之 校

责任编辑 王昌泰

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

1992年7月第 一 版 开本: 850×1168 1/32

1992年7月第一次印刷 印张: 71/8

印数: 平1—1 000

精1—900

插页: 精2

字数: 180 000

ISBN 7-03-002844-9/O·530(平)

ISBN 7-03-002845-7/O·531(精)

定价: 压膜平装 8.20元
纸面精装 10.00元

中译本前言

《90年代物理学》(Physics Through The 1990s)是由美国全国研究理事会(National Research Council)组织,物理学评述委员会(Physics Survey Committee)所写的调查报告.全书共9册,其中6册分别阐述物理学的6个基本领域,即:《原子、分子和光物理学》(Atomic, Molecular, and Optical Physics),《凝聚态物理学》(Condensed-Matter Physics),《基本粒子物理学》(Elementary-Particle Physics),《引力、宇宙学和宇宙射线物理学》(Gravitation, Cosmology, and Cosmic-Ray Physics),《原子核物理学》(Nuclear Physics)以及《等离子体和流体学》(Plasmas and Fluid).另有3册分别是《总论》(An Overview)、《提要》(A Summary)、《交叉学科和技术应用》(Scientific Interfaces and Technological Applications).

美国全国研究理事会共组织过三次物理学方面的调查.前两次分别于1966年和1972年完成.这次从1983年初开始,组织了近150位物理学家,耗资70万美元,于1986年4月出版本书.

这套书详尽地叙述了1985年前的十几年中物理学和与物理学有关的交叉学科所取得的重大进展以及物理学对其它学科、社会发展和人类进步的影响.本书还对美国物理学在世界上的地位、物理人才的培养和现代大型设备在物理学研究中的作用等作了详细的分析,并预测了20世纪90年代物理学的前沿课题及发展方向.

这套书的内容深入浅出,有一定的权威性,相信它将有助于我国物理学工作者了解当代物理学的重大进展、前沿课题及发展趋势.同时,本书对地球物理、生物物理、材料科学、化学、数学、微电子学、能源与环境科学、光信息技术、国防和医学等与物理有关的交叉学科的研究和教学人员也有很大的参考价值.此

外，对负责制定科技政策的各级政府领导和科研管理部门了解物理学的现状和发展，制定学科发展规划和基金指南等，也有一定的帮助。中国科学院数学部和复旦大学共同组织翻译了此书，将陆续出版。我们坚信，本书的出版将有助于推动我国物理学的发展。

在本书的翻译出版工作中，得到了科学出版社、复旦大学出版社、复旦大学物理系、中国科学院物理研究所、高能物理研究所和等离子体研究所等单位的大力支持，在此谨表谢意。

谢希德 周光召 章 综

前 言

关于基本粒子物理学的这篇报告是由国家研究理事会为国家科学院完成的物理学综合评述的一部分。专门小组撰写此文的目的有三个。第一是为了解释基本粒子物理的性质和描述这个领域中的研究工作是如何进行的。第二是为了总结我们目前已有的有关基本粒子和基本作用力的知识。第三是探讨基本粒子物理研究将来的发展方向，并对在美国开展这方面的研究提出一个方案。

非物理学界的人士能阅读本书，并对他们有所帮助，是撰写小组的共同心愿。因此，我们假设读者除了了解像质量、能量这样的一般概念外，并没有任何专门的数学和物理知识。我们也认为，读者以前没有任何关于基本粒子物理研究的技术设备（即加速器和粒子探测器）的知识。事实上我们已经提供了有关这些技术设备的基本的入门知识。

在过去的20年里，我们对基本粒子物理的认识经受了剧烈的变革。我们已经确立了三类基本粒子——夸克、轻子和传递作用力的粒子；我们已经知道存在三种以上的基本力，并已将弱力和电磁力统一在一个优美而又有效的理论中。加速器和粒子探测器有了巨大的技术革新。为了用很少的篇幅介绍所有这些知识，我们只能叙述主要的概念、重要的实验及理论上的成就。我们对一些重要而又优美的基本粒子物理工作没有很好地叙述，甚至没有提及，为此我们向同行们表示歉意。

基本粒子物理学是一门国际性的学科，在讲述它的内容和方法时，我们用到了全世界基本粒子物理学家们的工作成果。在展望基本粒子物理未来的需要和前景时，我们多半只限于美国国内的工作和国内情况的介绍，因为这是来自美国国家科学院的物理

评审委员会的一个项目，又因为工作小组主要是美国的物理学家组成的，要对国外的物理学作出评述是我们无法胜任的。因为本文的读者中包括和制定科学政策有关的美国联邦政府的成员，所以在讲述需要和前景时，我们理所当然地注意引用来自美国基本粒子物理学界的一些实例。我们希望国外同行们能够理解到这是本文的一个目的，从而不要由于我们在有限的篇幅中无法提供更多的来自国外基本粒子物理学界的工作实例而认为是我们轻视他们。

基本粒子物理小组十分感谢许多物理学家的帮助，他们慷慨地化费了许多时间来商讨本卷的内容，他们审阅了每一章节，并对本卷的全部内容诚恳地提出了自己的看法和建议。我们非常感谢欧洲核子研究中心(CERN)的J. Ellis,他参加了工作小组的预备会议，并撰写了本书的一部分初稿。我们试图反映整个基本粒子物理学界的意见。但是，当然只有工作小组的成员才对本卷的取材负责。我们感谢物理评审委员会主席 W.F. Brinkman的指挥、领导和谆谆的教诲。对物理和天文学会会长D. C. Shapero,我们要表达感激之情，是他不厌其烦和慷慨地向我们提供了关于如何阐述科学界的观点，以及如何准备这类报告的知识和经验。最后，们们还要感谢打字员和绘图员L. Beer, sE. Christianson及斯坦福直线加速器中心出版办公室的成员，感谢他们耐心地反复为这个报告的几版稿本不倦地工作。

目 录

实施概要	1
1 引言	12
基本粒子物理学	12
我们已经知道的知识	14
我们想知道的知识	16
研究基本粒子物理的工具	16
研究基本粒子物理的未来工具	18
2 什么是基本粒子物理	19
什么是基本粒子	19
基本粒子有多少种	21
基本粒子的大小	24
基本粒子和高能	24
已知的基本力与基本粒子	26
四种基本力	26
已知的基本粒子家族	28
传递力的粒子	28
轻子	28
夸克	29
强子	31
粒子和反粒子	32
碰撞与衰变	32
粒子的碰撞	32
碰撞图解	34
碰撞与相互作用	35
粒子的自发衰变	36
守恒定律和对称性的概念	36
什么是守恒定律	36

对称性和不变性	37
对称性破缺	40
实验, 加速器和粒子探测器	41
基本粒子物理中的实验方法	41
在固定靶加速器上的实验	41
固定靶加速器	42
靶	43
荷电粒子的粒子探测器	43
次级粒子束	44
粒子对撞机	44
在粒子对撞机上的实验	47
粒子的衰变	48
基本粒子物理中不用加速器的实验	48
3 在过去的二十年中我们得到的知识	49
强子的夸克模型的进展	49
夸克模型的起源	49
粲夸克的发现	51
粲素态	52
第三代轻子和夸克的发现	54
τ 轻子的发现	54
底夸克的发现	55
第三代	58
夸克如何相互作用	59
强子的相互作用	59
轻子-质子散射实验	60
强子喷注	63
弱作用和电磁作用的统一	65
夸克之间的强相互作用	70
统一理论	76
4 基本粒子物理学: 我们想知道的知识	82
引言	82
质量的问题	84

所有这些质量标度起源于那里	85
复合夸克和复合轻子	86
基本力的统一	87
强子的相互作用	87
利用现有的和正在建造的加速器	88
对更高能量加速器的要求	92
一些基本问题	97
5 用于基本粒子物理研究的加速器	99
关于加速器的引言	99
为什么需要和需要什么样的加速器	99
粒子对撞机	101
加速器的超导磁铁	103
加速器的进展和能量的提高	103
基本粒子物理和各种加速器	105
已知粒子性质的研究	105
已知力的研究	105
新的思想和理论的检验	107
寻找新的粒子和质量标度	107
寻找解决难题的线索和开拓未知世界	108
正在运行和建造中的加速器	109
固定靶质子加速器	109
西欧核子中心的质子-质子与质子-反质子对撞机	113
费米实验室的2TeV质子-反质子对撞机	114
电子加速器: 固定靶	115
环形正负电子对撞机	115
TRISTAN和LEP环形正负电子对撞机	116
直线正负电子对撞机	117
电子-质子对撞机	118
超级超导对撞机, 超高能质子-质子对撞机	120
物理目标	120
对撞机目标	120
设计研究	121

超导磁铁	123
对撞机的初步设计与考虑	123
时间表和成本	126
超高能直线对撞机的研究和发展	127
物理动机	127
现有技术和概念	127
关于加速器和对撞机的新思想的研究	128
直线加速器和对撞机	129
能量极高的环形加速器	130
对加速器和对撞机作进一步研究的必要	130
6 基本粒子物理学使用的仪器和探测器	132
引言	132
探测器的必需条件和探测的物理原理	138
对撞机实验用的探测器	139
近区探测: 顶点探测器	140
带电粒子径迹室	141
粒子类型的辨认	142
量能探测和能量测量	143
固定靶实验中的探测器	144
小的或简单的固定靶实验	144
大的或复杂的固定靶实验	144
泡室	148
数据处理和计算机	149
不使用加速器的实验的装置和探测器	151
原子的、光学的、电子学的和低温的实验	151
采用放射性物质或反应堆的实验	152
利用宇宙线的实验	152
太阳中微子实验	154
寻找质子衰变	155
综述和展望未来	156
7 同其他物理学领域和技术的相互影响	157
宇宙学和天体物理	157

宇宙线物理	160
原子核物理	161
原子物理	163
凝聚态理论物理	164
加速器的其它应用	166
同步辐射	166
加速器在医学中	168
高通量中子源	169
加速器和等离子体物理	169
大规模使用超导体	169
支持及促进新技术	170
B 基本粒子物理的教育、组织和决策	172
历史背景	172
1960年以前	172
美国, 60年代以后	173
国外, 50年代以来	175
加速器建造和使用的进度和计划	176
构想	176
提案	176
决策	177
建造	177
将加速器用于物理	177
加速器的关闭	178
总结	178
基本粒子物理实验的性质	179
研究生教育	180
粒子物理学界和联邦政府的相互影响	182
大学	182
加速器实验室	182
决策和咨询	183
国际合作和竞争	185
未来的趋势和问题	188

研究生的作用	188
粒子物理的科学人材	188
先进的加速器和探测器研究	189
实验室管理	190
咨询机构	191
9 结论和建议	192
过去20年中的变革	192
变革是怎样取得的	192
我们想知道什么	193
对设在大学里的研究机构和使用美国现有设施的建 议	194
对美国新的加速器设施的建	195
对加速器研究与发展的建	196
对粒子物理理论研究的建	196
对非加速器物理实验的建	196
对基本粒子物理中国际合作的建	197
结论	198
附录	199
A. 世界上的高能加速器	199
B. 建造中的粒子对撞机	201
C. 美国基本粒子物理研究的统计信息	202
词汇注释	205

实 施 概 要

基本粒子物理学这门阐述物质的基本组元和它们之间相互作用的学科，在过去的20年中取得了巨大的进展。新一代粒子加速器获得一批新的实验结果，以及解释这些结果的理论思想的迅速形成，均对基本粒子这门学科产生了新的促进，给进一步认识自然界带来了新的可能性，并树立了新的目标。粒子物理取得的进展，比在1972年《物理学的展望》（国家科学院，哥伦比亚特区，华盛顿，1972）中对物理学的展望所设想的更激动人心、更深刻。在该文中谈到的许多重要的问题已被提出来了，而且许多预见已被实现。其结果是，使我们提出了一些新的、更基本的问题，并去构想能够探讨这些问题的新的仪器设备。

基本粒子物理学是研究能量、空间、时间等物质的基本属性的学科。基本粒子物理学家的任务是探索物质的基本组元和支配这些组元性质的力。和所有的物理学家一样，基本粒子物理学家也探索确定我们周围物质世界的统一的原理和物理定律。

原子、原子核和构成它们的基本粒子是非常微小的，我们无法直接看到或直接研究它们。一个世纪以来，为了观测这些粒子的径迹和它们的成分，物理学家设计了比以往任何时候更尖端的探测设备。同时，为了更深入地探查物质的结构，物理学家一直在研制能量越来越高的高能粒子束。早期的一个例子是，用X射线探测原子的电子结构和用辐射源研究原子核。大家知道，电子和质子这种普通物质的组元是十分稳定的，而且在电场和磁场中很容易被控制。因此，它们能够被加速到很高的能量，并把它们作为一个探针，去探索非常微小尺度的基本组元。对高能粒子的对撞和碰撞产物的分析是实验粒子物理的最重要的工作。因此，经常把粒子物理称为高能物理。

粒子物理的变革

30年前，人们普遍认为一般的物质是由质子、中子和电子构成的。为了查明这些粒子的结构，并研究在原子核和原子中将这些粒子束缚在一起的力，人们进行了一系列的实验。在这些实验过程中，物理学家发现了一百多种称为强子的新粒子，它们有许多类似于质子和中子的性质。它们中没有一个粒子看起来比其它的粒子更基本，它们彼此之间相互作用的机制也还没有一个合理的解释。

此后，由于有了许多关键性的发现和理论上的进展，一个全新的、简单的图象出现了。现在我们已经明白，质子、中子和其它的强子都不是基本的，它们是称为夸克的更小的粒子的复合体系，这与原子是由电子和原子核构成的复合体系十分相似。现已确认了五种夸克，并且已得到了第六种夸克的初步实验证据。

和中子、质子不同，电子经受住了实验的考验，它依然为物质的基本组元，是没有结构的和不可分的。可是，我们现在已经知道，存在六种类似于电子的粒子，它们被称为轻子。于是，按照我们目前已有的知识，普通的物质是由夸克和轻子构成的。

夸克和轻子之间的重要差别在于，一种被称为强力的极强的相互作用将夸克紧紧地束缚在强子内，但对轻子不起作用。还有三种基本力对夸克和轻子都有作用，它们是电磁力、引起某些放射性衰变的弱力和引力。

在过去的20多年里，对强力、弱力和电磁力的性质的认识取得了巨大的进展。现在已经建立起一个弱力和电磁力的统一理论。从统一理论得到的预言已引人注目地被许多实验所证实，特别是1983年W和Z粒子的发现，达到了最高潮。这些弱力的传递者和传递电磁作用的光子很相似，光子的存在是20世纪20年代就被证实了的。除此之外，还有一些间接的但是很有说服力的证据表明，存在一种称为胶子的粒子，它是强力的传递者。强作用、

弱作用和电磁作用都是用类似的数学理论来描述的，这种理论称为规范理论。目前，在基本粒子物理中引力所起的作用还不太清楚。我们还不能直接测量出引力对基本粒子之间碰撞的任何影响。

随着夸克和轻子被确认为基本粒子，以及规范理论被用于描述基本的相互作用，我们现在已经有了一个合理的观点，并且可以用很简洁的语言来描述所有的亚核现象。这个进展使粒子物理成为一门更加统一的学科，也有助于我们了解与其它专业共同关心的一些问题。作为基本粒子物理学近期进展的一个重要的副产品，我们已经认识到基本粒子物理学和宇宙早期演变的研究有着密切的关系，这个宇宙是从称为大爆炸的极高能量的原始爆炸开始的。粒子物理为弄清早期宇宙中普遍存在的过程和状况提供了重要的手段，并且使我们能够从宇宙目前的状态反过来推算出在极高能量下粒子作用过程的有关知识，这样高的能量是无法从实验室中产生的，它只能在原始爆炸的最初一瞬间才存在。

我们想知道的知识

过去10年中基本粒子物理学的进展，使我们对物理定律的认识达到了新的水平。这个新的认识水平通常称为基本粒子物理的标准模型。如通常那样，认识水平的提高，使人们又重新把注意力集中到一些已被抛开的老问题上，同时也提出了一些以前不可能提出的新问题。强子的夸克模型和强作用、弱作用与电磁作用的规范理论，不但能使我们现有的知识系统化，而且为超越我们目前的认识提供了一个很好的基础。

虽然标准模型为描述基本粒子和它们的相互作用提供了一个框架，但在许多方面这个模型还是不完善和不充分的。我们仍然还不明白是什么决定了夸克和轻子的基本性质，例如它们的质量。我们也不完全了解，无质量的电磁力的传递者（光子）与有质量的弱力的传递者（W和Z粒子）之间的差别是如何产生的。

为了应付这些问题，目前的办法是在理论中引入许多没有解释清楚的常数，但许多物理学家发现，这种处理办法带有很大的任意性，因此是不能令人满意的。对于这些问题，目前物理学家们正积极寻求更完善和更基本的答案。

还有另一类问题也是目前的理论体系无法回答的。例如，夸克和轻子有多少类？如果夸克和轻子之间存在某种联系的话，它们是如何联系的？怎样将强力与已经统一的电磁力和弱力进一步统一起来？

于是就产生了和我们对基本粒子物理总的看法有关的一些问题。夸克和轻子真是基本的吗？是否还存在其它类型的力和基本粒子？引力是否能像其它的几种力一样用量子力学的方法来处理，是否能够和其它几种力统一起来？更加一般地，量子力学是否能继续用来探索越来越小的距离？我们能认识空间和时间的基本属性吗？

研究基本粒子物理的工具

实验与理论之间错综复杂的相互影响促进了基本粒子物理的发展。当实验上取得一批新的实验数据时，理论就要被这些数据检验，同时理论又被用来使这批数据系统化。有时，理论上的预见推动了新的实验工作；有时一个实验产生的出人意料的新结果又会完全推翻当时已被普遍接受的理论。有时不断积累的实验资料可能会导致佯谬，以致于只能通过对理论思想的重大修正才能解决。而有时候实验家又会去探索一些新的实体，例如自由夸克或磁单极子，它们和已知的模型是不一致的。总之，物理学是一门实验科学，只有实验和观测才能告诉我们，哪些想法是正确的，哪些是错误的。

基本粒子物理领域的大部分实验的实现，需要用能够产生高能粒子束的加速器来进行。这些高能粒子束或者与静止靶碰撞（“固定靶”实验），或者与另一粒子束对撞。使两束粒子发生对撞