

夸克 Kuake

基本粒子物理学前沿

南部阳一郎 著
刘东风 李枚力 译

知识出版社



33

4007

夸 克

——基本粒子物理学前沿

南部阳一郎 著

刘东风 李敦力 译

知 识 出 版 社

夸 克

——基本粒子物理学前沿

南部阳一郎 著

刘东风 李枚力 译

知 识 出 版 社 出 版

(北京阜成门北大街17号)

新华书店总店北京发行所发行

北京师范大学印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张 7 字数 141千字

1988年12月第1版 1988年12月第1次印刷

影 印数: 1—870

ISBN 7-5015-0147-5/O·1

定价: 2.20元

序 言

基本粒子物理学的目的是寻找物质的基本结构和支配这些物质的规律。在这本书中我试图尽量简洁完满地解释这个学科 50 年来的发展和今天所知道的东西。

值得庆幸的是，日本对粒子物理在作着第一流的贡献。汤川秀树和朝永振一郎的名字恐怕无人不晓，此外，还有其他许多科学家在这个领域作出过重要贡献。这些贡献不仅是一项辉煌的工作，作为整体，它们也教给我们基本粒子理论将遵循的一般方向。

由于我也是在这样一个传统下成长的一员，我试图讲述物理学家达到目前知识状态的思想发展过程，而不是讲述作为正统观点的最新的知识。当然，这样做就不得不假设读者已具有一些专门知识，但我想这本书如果能使读者从中获得一些关于研究过程的概念，也就足够了。

基本粒子物理学在最近 50 年内已取得了巨大的进展。质子和介子不再被认为是基本的，夸克已取代了它们的位置。此外，有可能将以往认为不相关的各种力统一起来。更令人吃惊的是，可想象的最大物体宇宙本身的历史，已与可想象的最小尺度的问题全然交缠在一起了。

当然，理论与实验是携手并进的，今天的加速器具有比老的回旋加速器大上百万倍的能量，并需要几千人操作和巨大

的政府支持。研究人员还在梦想着下一步。如果我们是幸运的,同时世界保持和平优势,那么这些梦想最终将成为现实。在它对理论方面作出了如此众多贡献之后,看到日本将对实验方面同样作出贡献是非常美好的。

在我完成这本书的时候,汤川博士逝去了,好象一个时代也已随之逝去了。对于那些有兴趣于继续基本粒子物理学发展的青年读者,如果这本书起了入门的作用,我将感到庆幸。为了使这个英文版跟上时代,我对初版作了少量改动。

(鸣谢从略)

南部阳一郎

1985. 2·芝加哥

目 录

序言.....	I
1. 什么是基本粒子?.....	1
可能是没有答案的问题.....	2
某些不变的东西.....	3
是真的吗?	5
2. 夸克和轻子	8
夸克——尚未发现的异乎寻常的基本粒子.....	9
重粒子、轻粒子、中间粒子.....	10
什么是粒子的“大小”?	14
从散射实验所学到的东西.....	15
3. 寻找夸克	18
质子和中子的结构.....	19
寻找分数电荷粒子.....	21
4. 各种加速器	25
自然界的深奥——撞击越强产生共振越深.....	26
加速器的原理.....	27
对撞束——对撞的能力.....	30
5. 汤川理论的诞生	34
从原子到原子核.....	35
汤川的介子理论.....	37

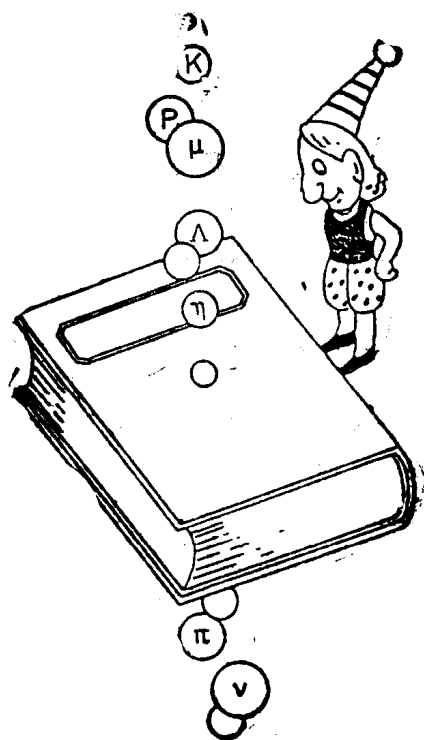
相对论量子力学·····	39
导致介子的观念·····	43
30年代·····	44
6. 新粒子的出现 ·····	47
库仑形式和汤川形式·····	48
π 介子 ·····	51
从二介子理论到 μ 子的发现·····	53
V粒子的戏剧性出现·····	55
各种情况都试一试·····	57
7. 基本粒子的有序和守恒定律 ·····	59
盖尔-曼-中野-西岛定律 ·····	60
观念的要旨·····	64
强相互作用和同位旋守恒·····	66
π 介子与核子的3-3共振 ·····	67
8. 宇称和守恒 ·····	72
什么是宇称? ·····	73
宇称的不守恒·····	76
CP破坏 ·····	78
自然界的规律在时间反演下不变吗? ·····	80
9. 强子的复合模型 ·····	83
从基本粒子期望什么? ·····	84
费密和杨振宁的复合模型·····	85
基本粒子物理世界中的“基本”与“复合”·····	86
坂田模型·····	88
10. 夸克模型 ·····	94
夸克模型与坂田模型有什么不同? ·····	95

夸克模型中的重子.....	97
发现了预言的 Ω^- 粒子	99
11. 夸克模型的演化.....	102
构造夸克复合体.....	103
与原子核类比.....	105
夸克有了色和味.....	107
九夸克模型.....	108
存在带色强子吗?.....	109
整数电荷夸克的可能性.....	110
意外的新粒子 J/ψ	112
12. 粲夸克及其后继者.....	113
J/ψ 粒子显示了自然界的深邃.....	114
J/ψ 粒子的真实证据.....	116
完善了夸克模型的第 4 种夸克 c	118
再一次被自然界征服.....	120
至少有 6 种轻子和 5 种夸克.....	122
13. 由弦连接的夸克.....	124
一个佯谬.....	125
强子的弦模型.....	128
什么是弦?	133
14. 什么是部分子?	135
强子是软的.....	136
无限小的点粒子.....	138
费因曼部分子模型.....	139
与夸克模型比较.....	140
15. 朝永的重正化理论.....	143

粒子物理在忙于追寻新现象.....	144
量子电动力学.....	144
无限大自能.....	145
重正化理论——一个放弃某些因素的做法.....	147
16. QCD——色的量子力学	151
从介子理论到色动力学.....	152
什么是规范场?	153
色的动力学.....	154
胶子——夸克的粘合剂.....	154
渐近自由.....	156
威尔孙格点理论.....	159
17. 对称性的自发破缺	161
什么是对称性?	162
对称性自发破缺.....	163
自发对称性破缺的遗迹.....	165
超导电性.....	166
夸克质量的起源.....	168
18. 弱相互作用的倾斜结构	171
上帝的失误?	172
什么是弱相互作用?	173
弱相互作用中的有序.....	174
一定存在粲夸克.....	176
19. 温伯格-萨拉姆理论	180
在汤川介子理论基础上.....	181
W玻色子.....	182
弱作用力和电磁力的统一.....	184

与超导电性比较·····	186
20. 统一场论 ·····	190
3种力的统一·····	191
难以置信的能量——但不能说是荒谬的·····	192
爱因斯坦未了的梦想·····	194
3种力的统一和粒子的统一·····	195
21. 大统一的设想 ·····	196
最后的问题·····	197
乔治·格拉肖的统一理论·····	198
有比夸克和轻子更深层次的粒子吗?·····	200
一个惊人的结论——所有物质都是不稳定的·····	202
粒子理论和宇宙学合而为一·····	203
人类在瞬间推测物质和宇宙的奥秘·····	204
术语 ·····	206

什么是基本粒子？



可能是没有答案的问题

多数人——尤其那些对物理学格外感兴趣的人，都曾在某些地方听说过“基本粒子”这个词。例如，《朝日新闻》就辟有冠以“基本粒子”的编辑专栏。当然，报纸的“基本粒子”专栏与我们在物理学中所说的基本粒子之间毫无关系。然而选择这样一个标题，肯定是因为它是奇妙而吸引人的。为什么它这么引人注意呢？这是由于始于汤川秀树介子理论的日本基本粒子理论的传统被人们引以自豪地接受下来了。

当汤川理论诞生时，我还是高中的学生。我在大学开始主修物理学的时候，基本粒子一词已经广泛得到应用。因此，我和几个大学同学去到我们的教授那里，表示了我们学习基本粒子理论的愿望。

化学上“元素”(element)一词，是用于表示化学物质的基本的结构单元。“元素”的意思是各种物质都是由它组成的，而它却不是由什么东西组成的。可能是当人类开始考虑其外部环境的时候，这种理论便应运而生了。但是现代科学中元素的概念受到古希腊自然哲学的极大影响。

那么，确切地讲，什么是元素呢？这个问题可以分两部分表述。第一，确实有元素这种东西吗？第二，如果有元素这种东西，那么它又是什么呢？迄今，基本粒子物理学的目的就是回答这些问题，这一点已显而易见了。

但是回答不是那么容易的。人们甚至还不知道是否有这样的答案。在现代自然科学以前，曾有过一种理论认为土、水、

空气和火是元素。这个理论是由亚里士多德提出的。在英国，他们还说自然界对人类的影响，特别是下雨、打雷、地震等造成的破坏是由这种“元素”引起的。

当然，今天没有人还会认为土、水、空气和火是真正的元素。为了验证自然科学的基本原理，我们必须采取实际的措施分离物质，直到最小的组分。但是即使我们真这样做了，也不会分得很细。如果我们用刀子切割物质，并用显微镜分析它，我们将始终得不到任何类似基本组分的东西。大约1微米大小的粒子仍具有形状，并且似乎还有内部结构。但是用刀子和显微镜，我们不能达到下面更小的尺度。最终，刀子本身也是由元素构成的，因此没办法获得比元素本身还细锐的刀子。由于我们需要刀刃比准备分析的物体还小，所以我们又回到原来的问题上了。

直到19世纪化学科学得到了迅速发展，原子的概念才诞生。古希腊哲学家德谟克利特建立了所有物质都是由叫做原子(不可分裂的)的不变元素构成的理论。但是我们在化学中所说的原子，是在研究化学反应中自然设想到的。这个发现过程完全不同于我前面讲的机械分割，而是建立在根本不同的原理基础上的。下面我们将转而介绍这些原理。

某些不变的东西

如果我们把某些化学物质A、B、C、D、…混合起来，就会发生化学反应。例如：



$$A + D = E + F, \quad (b)$$

等等。我们要找出支配混合这些物质的结果的规律,为此,让我们看看在这些反应中是否有什么特点。

我们发现了什么呢?检验的结果表明,物质的质量在反应前后保持不变。也就是说,如果我们改变上式的解释,而认为A、B等是物质A、B等的质量,那么这些方程就变为普通的数学方程了。

就此我们发现了一个自然界的守恒定律——质量守恒定律。物质可以在一起相互反应并完全改变其性质,但有某个量保持不变,这就是守恒定律的含义。

现在让我们设想在对上述反应做了更为细致的研究后,我们弄清楚了下列问题:要发生反应(a),A和B必须以1:2的质量比相混合。例如,如果我们试图混合相等质量的A和B,那么总是有一半的A要剩余下来。同样,在反应(b)中物质也有A、D、E和F间的固定质量比。换句话说,参与反应的物质的质量具有整数比关系。

考虑上述情况是如何出现的无异于追溯到19世纪化学的发展历史。虽然现在人人都知道这些问题的答案,但是下列思路也是很好理解的。如果某种物质在许多化学方程式中可以由最小的整数表示,那么是否所有其他物质也是由这些最小的单元构成的呢?比率为整数这一事实,是否表示在这些反应中的物质本身就由这种基本单元组成?那么让我们把这个基本单元命名为“原子”,并尝试把我们的新理论应用到其他情形中去。

化学实际上要复杂得多。存在不只一种原子。氢原子是最轻的,还有许多更重的原子(元素),它们有大致为氢原子质

量的整数倍的质量，然而不能把它们打散为氢原子。如果我们更深入地研究，就会发现原子质量的整数倍关系不是精确的，甚至质量守恒也不是严格遵守的，开始出现这些和许多其他问题。

是真的吗？

这些原子是怎样存在的呢？毫无疑问，那些做过化学实验的人都认为，有作为物质存在的元素。氢、氮、碳等可以实际进行分离，但原子就另当别论了，我们甚至说不出一个原子的大小。我们不能用肉眼观察它——似乎我们并没有比德谟克利特的原子概念前进多少。

但实际存在着重大的差别。首先，原子的化学概念是基于一个定量的规律，并能用实验加以证实。其次，由于研究的进步，原子的存在从许多不同方面开始得到证实。我们能发现原子的大小，从某种意义上说，我们可以用我们自己的眼睛看见原子。

例如，粒子在气泡室留下的径迹引起我们能实际上看见原子的“错觉”。一个人如果得知原子的大小约 10^{-8} 厘米，那么他立即会断定说，他不可能看见原子，而那径迹则一定是错觉。但这是正确的吗？

虽然我们能看见面前的这本书，但我们不能简单地说这本书因其大而存在。进入我们脑中的是被书反射的光的刺激而不是书本身。当带电粒子进入气泡室，它激发并电离了室内的液体，这些离子成为形成气泡的种子，而且当这些气泡变

得足够大后，就可以看到它们的反射光。现在看到的气泡室中径迹的过程比看见书多少要复杂一些，但是我们能说它们是根本不同的吗？

要回答“什么是存在？”这一自古以来就被哲学家们提出的问题，我们必须由诸如上述深思熟虑的朴素思想起步，科学家对这类问题的态度是相当平常的，只是日常逻辑的简单延伸。

如果我们怀疑一本书的存在，我们可以试着摸摸它，如果我们仍有疑虑，还可以问问边上的人是否看到了书。倘若尝试了所有令人置信的检验我们仍然没有发现矛盾，那么我们将断定这本书是实际存在的。当然，一旦使自己相信了书的存在，我们就不会再意识到这类问题了。

但试想当我们遇到某种全新事物——如UFO（不明真象的空中飞行物）时的情况，我们将怎么办呢？那时我们就将遵循上面概述过的验证的步骤。在最终的分析中，原子的真实性是以同样的方法建立的。如果我们设想原子具有这样那样的特性，并且经过所有的检验能够弄清原子的特性，那么，我们将确信原子的存在。随着实施检验的类型的增加，我们对于原子特性的知识将变得越来越精确。在不放弃存在原子的前提下，我们还可以修改或补充有关原子的理论。如果我们的理论不甚高明，那么某些前后矛盾便会暴露出来，我们将不得不对其加以修补。如果需要不断修改，那么，我们的理论大概是错误的，我们最好还是完全摆脱这个理论。另一方面，如果我们选择的是正确的理论，那么我们就能揭开一个又一个的秘密。这非常象解纵横组字谜，我们从某些似乎是容易的地方下手，并且试着组出一些词。即使我们在几处成功了，还

可能出现许多不一致，虽然我们稍作修改，但仍无济于事。忽然我们得到某种启发，而剩下的问题几乎是迎刃而解了。

当物理学中的一个理论达到上面这样的地步时，我们开始相信它是真实有效的。但是由于物理学不是封闭的学科，某些东西还在变化和发展，所以这种宁静的状况不会持续很久。这时我们达到这样一个阶段：理论结构受到破坏，先前的理论变得无用。这里我们必须再次重复我们的劳动，不过还应当记住，那些曾经受过许多检验的旧的理论不会完全错误。由于旧理论在新条件下不再适用，我们必须建立包括只适用于特殊条件的旧理论的一个新理论结构。

原子是化学“元素”这仍然是正确的。当我还是学生的时候，诸如汤川介子的东西就被认为是真正的基本粒子。今天，甚至一般的公众都知道夸克和轻子这类词。如果你问今天的物理学家，他会说这些是真正的“基本粒子”。

那么，这些夸克和轻子是什么呢？它们与原子和介子的关系是怎样的呢？回答这些问题就是本书的目的。为此，我们要研究本世纪物理学的发展史。

现在我们不再按时间顺序讲故事发展，而从现在开始回顾过去。