

粒子
物理
和场论

[美] 李政道 著
汤拒非 阮同泽
庆承瑞 朱重远 译

山东科学技术出版社

粒子物理和场论

〔美〕李政道 著

汤拒非 阮同泽
庆承瑞 朱重远 译

山东科学技术出版社

粒子物理和场论

〔美〕李政道 著

汤拒非 阮同泽 译
庆承瑞 朱重远

*

山东科学技术出版社出版
(济南市玉函路 邮政编码 250002)

山东省新华书店发行
山东新华印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16开本 33.25印张 4插图 733千字
1996年12月第1版 1996年12月第1次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-5331-1381-0
O·57 定价:68.00元

山东省泰山科技专著出版基金会

名誉会长	赵志浩 宋木文 陆懋曾 伍 杰 卢鸣谷 董凤基 宋法棠
会 长	陈光林 石洪印
副 会 长	宋桂植 何宗贵 吕可英 车吉心 孙肇琨 王为珍(常务副会长)
秘 书 长	王为珍(兼)
副秘书长	尹兆长
理 事	(以姓氏笔画为序) 王为珍 王凤起 尹兆长 刘韶明 李道生 李德泉 张传礼 陈 刚 蒋玉凤
评审委员会	(以姓氏笔画为序) 卢良恕 吴阶平 杨 乐 何祚庥 罗沛霖 高景德 唐敖庆 蔡景峰 戴念慈

山东省泰山科技专著出版基金会
赞 助 单 位

山东省财政厅

山东省出版总社

山东省科学技术委员会

山东科学技术出版社

山东泰山酿酒饮料集团总公司

董事长兼总经理张传礼

山东金泰集团股份有限公司

董事长兼总裁刘黎明

我们的希望

进行现代化建设必须依靠科学技术。作为科学技术载体的专著,正肩负着这一伟大的历史使命。科技专著面向社会,广泛传播科学技术知识,培养专业人才,推动科学技术进步,对促进我国现代化建设具有重大意义。它所产生的巨大社会效益和潜在的经济效益是难以估量的。

基于这种使命感,自 1988 年起,山东科学技术出版社设“泰山科技专著出版基金”,成立科技专著评审委员会,在国内广泛征求科技专著,每年补贴出版一批经评选的科技著作。这一创举已在社会上引起很大反响。

1992 年,在山东省委、省政府的支持下,在原“泰山科技专著出版基金”的基础上,由山东省出版总社、山东省科学技术委员会和山东科学技术出版社共同成立了“山东省泰山科技专著出版基金会”,并得到企业界的热情赞助,为资助学术专著的出版提供了更加可靠的保证。

但是,设基金补助科技专著出版毕竟是一件新生事物,也是出版事业的一项改革。它不仅需要在实践中不断总结经验,逐步予以完善;同时,也更需要社会上有关方面的大力扶植,以及学术界和广大读者的热情支持。

我们希望,通过这一工作,高水平的科技专著能够及早问世,充分显示它们的价值,发挥科学技术作为生产力的作用,不断推动社会主义现代化建设的发展。愿基金会支持出版的著作如泰山一样,耸立于当代学术之林。

泰山科技专著评审委员会

1992 年 12 月

中译本序言

这本《粒子物理和场论》是依据 1979 年春季我在北京中国科技大学研究生院的讲稿,曾由科学出版社先出版中文本。以后我再补充了一部分内容,使篇幅增加约三分之一,1981 年出版了英文本,现再从英文译成中文出版,以供国内读者参考。

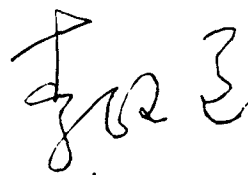
汤拒非、阮同泽、庆承瑞和朱重远四教授承担了本书的翻译任务,由于他们认真的工作,使本书的中译本能够在较短时间内和国内的读者见面,我向他们表示衷心感谢。

李政道

新版序言

在山东科学技术出版社泰山科技专著出版基金会的支持下,《粒子物理和场论》的新版本才得以和中国的读者见面。本书始于1979年我在北京中国科技大学研究生院讲授“粒子物理和场论”课程的讲义。1984年科学出版社出版了本书的第一版。由于近年来粒子物理学的迅速发展,有必要将一些新的内容补充到本书里。这一新版本较重要的补充是:在有关章节中增加了这些年来中间玻色子 $W^\pm$ 及 Z^0 的实验结果,并在最后的展望中增加了对可能存在小黑洞的讨论。此外,本书还改正了过去版本里某些印刷错误和个别表述不尽确切之处。

庆承瑞教授为新版翻译了增加的内容,在此一并致谢。



一九九五年五月十八日

前 言

1979 年春天,我应中国科学院的邀请在北京讲授粒子物理和统计物理,讲课笔记的一部分(《场论与粒子物理学》)已在中国出版。以后我又对粒子物理部分进行了增补,发展成了这一本书。

这一课程的目的是要把理论物理和实验物理的学生带到这个非常活跃和令人兴奋领域的最前沿。由于听课的人有不同的背景,这本书是自成系统的。只要可能,我就尽量按实际发展的次序而不是按公理化的次序来叙述。所有的推导都显式地作出,这对一个比较有经验的读者来说,可能显得有点烦琐。

那些没有论述到的题目有:场论中重正化理论的详细情况,粒子物理中色散技术的应用,以及规范理论中非常漂亮的拓扑性孤立子解等。幸而某些这类问题已经由 Bjorken 和 Drell 的《相对论量子力学》、《相对论量子场》和 Itzuko、Zuber 的《量子场论》讨论到了。

很多人对我提出了有价值的建议。特别要感谢 N. H. Christ 和 A. H. Mueller。对我来说,如果没有 Irene Tramm 的帮助,实质上也难以完成这一本著作。

李政道

译者的话

根据李政道教授的建议,我们把美国 Harwood Academic Publishers 出版的《粒子物理和场论简引》(Particle Physics and Introduction to Field Theory)一书译成中文并定名为《粒子物理和场论》,以供我国读者学习参考。其中第一章至第十二章由阮同泽译;前言以及第十三章至第二十章由汤拒非译;第二十一章至第二十二章由庆承瑞译;第二十三章至第二十五章由朱重远译;索引由汤拒非、阮同泽共同整理。

由于我们的水平所限,许多地方未能表达出李政道教授原著的精确含义。特别是其中还难免有舛误之处,希望读者不吝指出,以便使这一工作更臻完善。

汤拒非 阮同泽
庆承瑞 朱重远
于北京

目 录

第一部分 场论

第一章 有限自由度系统的力学	(4)
1.1 经典力学	(4)
1.2 量子化	(4)
1.3 若干一般定理	(8)
第二章 零自旋场	(12)
2.1 一般讨论.....	(12)
2.2 傅里叶展开(自由场或相互作用场).....	(14)
2.3 希耳伯空间(自由场或相互作用场).....	(16)
第三章 自旋为$\frac{1}{2}$的场	(19)
3.1 数学准备.....	(19)
3.2 自由场.....	(20)
3.3 量子化(自由场或相互作用场).....	(21)
3.4 傅里叶展开(自由场或相互作用场).....	(22)
3.5 希耳伯空间(自由场或相互作用场).....	(24)
3.6 动量和角动量算符.....	(26)
3.7 旋量间相因子的约定.....	(28)
3.8 二分量理论.....	(30)
第四章 自旋为1的场($m \neq 0$)	(34)
4.1 自由场.....	(34)
4.2 相互作用场.....	(36)
第五章 费曼图	(38)
5.1 海森堡表象、薛定格表象和相互作用表象	(38)
1. 海森堡表象	(38)
2. 薛定格表象	(38)
3. 相互作用表象	(38)
5.2 S 矩阵	(40)
5.3 编时乘积、正规乘积和收缩	(43)
5.4 微扰级数.....	(46)
5.5 维克定理.....	(47)
5.6 应用.....	(49)
5.7 $1+2 \rightarrow 1' + 2' + \cdots + n'$ 的微分截面	(53)

第六章 量子电动力学	(60)
6.1 拉格朗日量	(60)
6.2 库仑规范	(60)
6.3 量子化	(62)
6.4 光子的传播子和相对论不变性	(63)
6.5 说明	(65)
第七章 孤立子	(68)
7.1 早期历史	(68)
7.2 定义、分类和若干一般说明	(71)
7.3 一维空间例	(73)
1. 拓扑孤立子	(73)
2. 非拓扑孤立子	(75)
7.4 德雷克(Derrick)定理	(79)
7.5 孤立子与平面波的关系	(80)
1. 一维空间	(81)
2. 二维空间	(82)
3. 三维空间	(83)
7.6 量子化	(85)
1. 拉氏量、哈密顿量和对易关系	(85)
2. 集体坐标	(87)
3. 微扰展开	(89)
第二部分 粒子物理	
A. 数量级估计	
第八章 数量级估计	(95)
8.1 氢原子半径	(95)
8.2 强子大小	(96)
8.3 高能 pp 、 πp 和 Kp 总截面	(96)
8.4 $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$	(97)
8.5 $\nu + N \rightarrow \dots$	(98)
8.6 康普顿散射	(98)
8.7 质量奇异性和高能行为	(99)
8.8 高能光子产生 e^+e^- 对	(101)
B. 对称性	
第九章 一般讨论	(103)
9.1 不可观测量、对称变换和守恒定律	(103)
9.2 不对称性和观测量	(104)
第十章 U_1 对称性和 P, C 不变性	(109)
10.1 QED 例	(109)

10.2 应用	(114)
1. 法雷定理	(114)
2. 电子偶素	(115)
3. 零自旋粒子 $\rightarrow 2\gamma$ 的衰变	(116)
4. 自旋为1的粒子 $\rightarrow 2\gamma$	(118)
10.3 一般讨论	(119)
10.4 重子数和轻子数	(119)
第十一章 同位旋和 G 宇称	(123)
11.1 同位旋	(123)
1. U_2 对称性	(123)
2. 同位旋变换	(124)
11.2 G 宇称	(127)
1. 核子—反核子系统	(127)
2. 量子数 G	(128)
11.3 对介子和重子的应用	(130)
1. π 介子	(130)
2. 矢量介子	(131)
3. Λ 和 K 介子	(133)
4. 介子和重子八重态	(134)
11.4 同位旋破坏	(135)
1. 电磁相互作用	(135)
2. 弱相互作用	(137)
第十二章 SU_3 对称性	(142)
12.1 数学准备	(142)
1. 张量	(143)
2. 表示	(144)
3. $\otimes \times \otimes$ 的分解	(145)
4. 进一步的一些性质	(145)
5. 其它群一览	(148)
12.2 强子态及其味和色的对称性	(150)
1. 赝标八重态	(150)
2. $1/2$ 自旋重子八重态和 $3/2$ 自旋重子十重态	(151)
12.3 质量公式	(154)
1. H_{sym} 和假粒子表述形式	(155)
2. 八重态质量公式	(155)
3. 十重态质量公式	(157)
第十三章 时间反演	(160)
13.1 薛定格表象中的时间反演	(160)

13.2	对微观系统建立时间反演量子解的不可能性	(161)
13.3	T 算符的一些性质	(163)
1.	以 QED 为例	(163)
2.	时间反演与角动量	(167)
13.4	不同表象中的时间反演	(170)
1.	海森堡表象	(170)
2.	相互作用表象	(171)
13.5	S 矩阵的 T 不变性	(172)
13.6	倒易性	(173)
1.	倒易关系	(173)
2.	二体反应	(174)
3.	π 介子的自旋	(175)
4.	说明	(175)
13.7	相角关系	(175)
1.	β 衰变	(175)
2.	Λ^0 衰变	(176)
第十四章	CPT 不变性	(180)
14.1	CPT 定理	(180)
14.2	应用	(184)
1.	粒子和反粒子的质量相等	(184)
2.	粒子与反粒子之间相反的电磁性质	(185)
3.	粒子和反粒子的寿命相等	(185)
第十五章	$K-\bar{K}$ 系统	(188)
15.1	达立兹(Dalitz)图	(188)
1.	相空间	(189)
2.	边界	(190)
3.	自旋的确定	(191)
15.2	历史	(192)
15.3	中性 K 介子复态的一般讨论	(195)
1.	质量和衰变矩阵	(195)
2.	本征值	(197)
3.	K_S^0 和 K_L^0	(199)
15.4	相干现象	(201)
15.5	T 破坏	(202)
15.6	在 CPT 不变的假定下作的分析	(203)
1.	态矢	(203)
2.	K_S^0 或 $K_L^0 \rightarrow \pi^\mp + l^\pm + \nu_l$ 或 $\bar{\nu}_l$	(205)
15.7	参数 ϵ 和 ϵ'	(207)

15.8 CP 不守恒相互作用的唯象分析	(209)
1. 毫弱作用	(209)
2. 超弱作用	(210)
第十六章 真空作为不对称之源	(212)
16.1 什么是真空?	(212)
16.2 逸失对称	(212)
16.3 真空激发	(213)
16.4 CP 不守恒和自发对称破缺	(214)
C. 相互作用	
第十七章 夸克囚禁	(220)
17.1 问题	(220)
17.2 色电介常数	(221)
17.3 经典电磁学上一个假想的问题	(223)
17.4 一个唯象的说明	(225)
1. QCD 真空作为一种完全的抗色电介质	(225)
2. 与超导的类似	(227)
3. 说明	(227)
第十八章 量子色动力学和规范理论	(228)
18.1 非阿贝尔规范场理论	(228)
18.2 一个例子	(232)
1. 一个简单的力学模型	(233)
2. $\xi=0$ 规范	(234)
3. $x_2=0$ 规范	(234)
18.3 量子化: $V=0$ 规范	(235)
18.4 库仑规范	(239)
1. 坐标变换	(239)
2. 刚体转动	(240)
3. SU_2 规范场(经典)	(243)
4. 量子哈密顿量	(249)
18.5 真空的抗色电(反屏蔽)性质	(250)
1. SU_2 规范理论	(250)
2. 微扰计算	(251)
18.6 渐近自由	(257)
第十九章 路径积分	(262)
19.1 笛卡儿坐标	(262)
1. 一维问题	(262)
2. 从哈密顿算符到路径积分	(263)
3. N 维问题	(266)

19.2 韦尔(Weyl)编序的哈密顿量	(267)
1. 从路径积分到哈密顿算符	(268)
2. 韦尔编序	(269)
19.3 曲线坐标	(271)
1. 哈密顿算符	(271)
2. 路径积分公式	(273)
3. 一个例子	(276)
19.4 费曼图	(278)
1. 收缩	(278)
2. 连接图和不连接图	(281)
3. 有相互作用的自旋为 0 的场	(284)
19.5 费米子	(287)
1. 格拉斯曼代数	(287)
2. 量子力学	(291)
3. 路径积分	(295)
19.6 QCD	(297)
1. 协变规范	(298)
2. 协变规范的费曼规则	(302)
3. 库仑规范	(304)
第二十章 强子的夸克模型	(312)
20.1 唯象的表述	(312)
1. 色电介常数 κ	(313)
2. 能量密度函数 $U(\sigma)$	(314)
3. f 耦合	(314)
20.2 强子作为孤立子(袋)	(315)
20.3 近似的 SU_6 对称	(317)
1. 质量简并	(317)
2. 态矢	(319)
20.4 零级孤立子解	(320)
1. 基本方程	(320)
2. 孤立子	(323)
3. MIT 袋	(324)
4. SLAC 袋	(325)
20.5 对核子的应用	(326)
1. 电荷半径	(326)
2. 磁矩	(326)
3. g_A/g_V	(327)
20.6 一级修正	(328)

1. 胶子交换和质量公式	(328)
2. 夸克质量	(331)
20.7 重夸克的强子	(334)
第二十一章 弱相互作用	(338)
21.1 纯轻子的相互作用	(338)
1. 唯象的拉氏量	(338)
2. μ 粒子衰变	(339)
3. 中性轻子流	(341)
21.2 半轻子相互作用的唯象拉格朗日量	(343)
21.3 π_{l2} 和 K_{l2} 衰变	(344)
1. π 衰变	(344)
2. K 衰变	(346)
21.4 经典(原子核) β 衰变	(346)
1. 电荷对称	(346)
2. 第一类流和第二类流	(346)
3. CVC 和同位旋三重态流的假定	(347)
4. 实验验证	(349)
5. β 衰变中的费米常数	(351)
21.5 卡比坡理论(包括 GIM 修正)	(352)
1. 原子核 β 衰变	(353)
2. π_{l2} 和 K_{l2} 衰变	(353)
3. 奇异数不守恒流	(353)
4. 重子八重态的 β 衰变	(354)
5. D 介子的轻子衰变	(356)
21.6 高能中微子反应	(356)
1. 运动学	(356)
2. 结构函数	(358)
21.7 半轻子中性流相互作用	(360)
1. $\Delta S=0$ 规则	(360)
2. 高能中微子反应	(362)
3. 极化电子散射	(362)
4. 原子过程的宇称破坏	(363)
21.8 无轻子相互作用	(364)
21.9 中间玻色子(历史部分)	(364)
1. 中间玻色子假设	(364)
2. 费米理论的局限性	(365)
3. $\mu \rightarrow e + \nu$	(365)
4. 中间玻色子的发现	(365)