



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中外物理学精品书系

经典系列 · 6

量子场论

朱洪元 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION

中 外 物 理 学 精 品 书 系

经 典 系 列 · 6

量子场论

朱洪元 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

量子场论/朱洪元编著. —北京:北京大学出版社,2013.8

(中外物理学精品书系·经典系列)

ISBN 978-7-301-22169-3

I. ①量… II. ①朱… III. ①量子场论 IV. ①O413.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第028380号

书 名: 量子场论

著作责任者: 朱洪元 编著

责任编辑: 顾卫宇

标准书号: ISBN 978-7-301-22169-3/O·0917

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路205号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

新浪微博: @北京大学出版社

电子信箱: zpup@pup.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

出版部 62754962

印 刷 者: 北京中科印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

730毫米×980毫米 16开本 22.25印张 448千字

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

定 价: 65.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

“中外物理学精品书系” 编委会

主任：王恩哥

副主任：夏建白

编委：（按姓氏笔画排序，标*号者为执行编委）

| | | | | |
|------|------|-----|------|------|
| 王力军 | 王孝群 | 王牧 | 王鼎盛 | 石兢 |
| 田光善 | 冯世平 | 邢定钰 | 朱邦芬 | 朱星 |
| 向涛 | 刘川* | 许宁生 | 许京军 | 张酣* |
| 张富春 | 陈志坚* | 林海青 | 欧阳钟灿 | 周月梅* |
| 郑春开* | 赵光达 | 聂玉昕 | 徐仁新* | 郭卫* |
| 资剑 | 龚旗煌 | 崔田 | 阎守胜 | 谢心澄 |
| 解士杰 | 解思深 | 潘建伟 | | |

秘书：陈小红

序 言

物理学是研究物质、能量以及它们之间相互作用的科学。她不仅是化学、生命、材料、信息、能源和环境等相关学科的基础,同时还是许多新兴学科和交叉学科的前沿。在科技发展日新月异和国际竞争日趋激烈的今天,物理学不仅囿于基础科学和技术应用研究的范畴,而且在社会发展与人类进步的历史进程中发挥着越来越关键的作用。

我们欣喜地看到,改革开放三十多年来,随着中国政治、经济、教育、文化等领域各项事业的持续稳定发展,我国物理学取得了跨越式的进步,做出了很多为世界瞩目的研究成果。今日的中国物理正在经历一个历史上少有的黄金时代。

在我国物理学科快速发展的背景下,近年来物理学相关书籍也呈现百花齐放的良好态势,在知识传承、学术交流、人才培养等方面发挥着无可替代的作用。从另一方面看,尽管国内各出版社相继推出了一些质量很高的物理教材和图书,但系统总结物理学各门类知识和发展,深入浅出地介绍其与现代科学技术之间的渊源,并针对不同层次的读者提供有价值的教材和研究参考,仍是我国科学传播与出版界面临的一个极富挑战性的课题。

为有力推动我国物理学研究、加快相关学科的建设与发展,特别是展现近年来中国物理学家的研究水平和成果,北京大学出版社在国家出版基金的支持下推出了“中外物理学精品书系”,试图对以上难题进行大胆的尝试和探索。该书系编委会集结了数十位来自内地和香港顶尖高校及科研院所的知名专家学者。他们都是目前该领域十分活跃的专家,确保了整套丛书的权威性和前瞻性。

这套书系内容丰富,涵盖面广,可读性强,其中既有对我国传统物理学发展的梳理和总结,也有对正在蓬勃发展的物理学前沿的全面展示;既引进和介绍了世界物理学研究的发展动态,也面向国际主流领域传播中国物理的优秀专著。可以说,“中外物理学精品书系”力图完整呈现近现代世界和中国物理

科学发展的全貌，是一部目前国内为数不多的兼具学术价值和阅读乐趣的经典物理丛书。

“中外物理学精品书系”另一个突出特点是，在把西方物理的精华要义“请进来”的同时，也将我国近现代物理的优秀成果“送出去”。物理学科在世界范围内的重要性不言而喻，引进和翻译世界物理的经典著作和前沿动态，可以满足当前国内物理教学和科研工作的迫切需求。另一方面，改革开放几十年来，我国的物理学研究取得了长足发展，一大批具有较高学术价值的著作相继问世。这套丛书首次将一些中国物理学者的优秀论著以英文版的形式直接推向国际相关研究的主流领域，使世界对中国物理学的过去和现状有更多的深入了解，不仅充分展示出中国物理学研究和积累的“硬实力”，也向世界主动传播我国科技文化领域不断创新的“软实力”，对全面提升中国科学、教育和文化领域的国际形象起到重要的促进作用。

值得一提的是，“中外物理学精品书系”还对中国近现代物理学科的经典著作进行了全面收录。20世纪以来，中国物理界诞生了很多经典作品，但当时大都分散出版，如今很多代表性的作品已经淹没在浩瀚的图书海洋中，读者们对这些论著也都是“只闻其声，未见其真”。该书系的编者们在这方面下了很大工夫，对中国物理学科不同时期、不同分支的经典著作进行了系统的整理和收录。这项工作具有非常重要的学术意义和社会价值，不仅可以很好地保护和传承我国物理学的经典文献，充分发挥其应有的传世育人的作用，更能使广大物理学人和青年学子切身体会我国物理学研究的发展脉络和优良传统，真正领悟到老一辈科学家严谨求实、追求卓越、博大精深的治学之美。

温家宝总理在2006年中国科学技术大会上指出，“加强基础研究是提升国家创新能力、积累智力资本的重要途径，是我国跻身世界科技强国的必要条件”。中国的发展在于创新，而基础研究正是一切创新的根本和源泉。我相信，这套“中外物理学精品书系”的出版，不仅可以使所有热爱和研究物理学的人们从中获取思维的启迪、智力的挑战和阅读的乐趣，也将进一步推动其他相关基础科学更好更快地发展，为我国今后的科技创新和社会进步做出应有的贡献。

“中外物理学精品书系”编委会 主任
中国科学院院士，北京大学教授

王恩哥

2010年5月于燕园

内 容 简 介

本书朱洪元先生写成并出版于1960年9月(科学出版社)。书中全面、扼要地叙述了20世纪40年代末到1960年早期量子场论的发展过程,各种粒子场的基本性质和处理方法,各种相互作用及用以描述相互作用的数学形式,量子场论的一些具体应用(例如电子的反常磁矩及氢原子能级的兰姆移动),量子场论的局限性及其所遇到的困难,对消除困难的一些尝试以及进一步发展的展望。书的内容除了包含一般量子电动力学所处理的电磁相互作用过程以外,还对弱相互作用和强相互作用早期理论发展作了一些理论探讨和简略阐述。

作者在阐明数学形式及数学方法的同时,着重地对所涉及问题的现象和本质随时加以一定的物理诠释,这是本书探讨各种问题的一个特点。

几十年来,本书一直是量子场论课程的教材和理论物理研究的重要参考书。此次再版,加了两个附录和相关的参考文献,以供读者了解20世纪60年代后量子场论的进展。

再版前言

朱洪元先生的《量子场论》是国内最早介绍量子场论的著作。20世纪50年代中期国内仅有很少几位科学家懂得量子场论,1957年,朱洪元在北京大学讲授“量子场论”,次年,在青岛的“量子场论讲习班”上,为从全国各地前来的青年讲授“量子场论”,讲稿经朱先生整理后于1960年9月由科学出版社出版,成为我国几代粒子物理学者的标准教科书及参考书。这本书的特点是物理概念清晰,数学推导严格,历史线索分明,从中读者可以学到早期量子场论的发展历史和量子场论的物理精髓,特别是对粒子物理现象和各种相互作用过程的物理诠释,是读者掌握量子场论本质的好帮手。近40年来,虽然国外和国内有不少新的量子场论专著出版,但本书仍是学生掌握量子场论的主要参考书之一。

朱洪元1945年留学英国曼彻斯特大学,在布莱克特(P. Blackett)教授的指导下于1948年获曼彻斯特大学哲学博士学位。他的论文《论在磁场中的快速荷电粒子放出的辐射》在英国皇家学会的会刊上发表,是世界上最早详细给出同步辐射基本性质的两篇研究工作之一(相同的结果,由美国物理学家许温格(J. Schwinger)在研究加速器中的电子辐射的性质时得到,稍后于1949年在美国发表)。1950年朱洪元离英返国任中国科学院近代物理研究所研究员。1959年至1961年,朱洪元到苏联杜布纳联合核子研究所工作,任高级研究员。1965年朱洪元及其北京基本粒子组合作建立了强子结构及强子过程的“层子模型”;1982年,“层子模型”理论被授予国家自然科学二等奖。1980年朱洪元被选为中国科学院学部委员(后改称中国科学院院士)。多年内朱洪元为在中国建立高能物理实验基地作出重要的贡献。

朱洪元先生自1950年回国后为培养我国的理论物理人才做出重大贡献,除了反映在《量子场论》作为我国最早的教材所起的作用外,他还在北京大学、原子能研究所、高能物理研究所、中国科学技术大学以及多种形式的讲习班上言传身教培养了一批青年学者,有许多人后来成为我国科技发展在中国科学

院和高等院校的学科带头人。朱洪元对所研究的问题的详尽周密的考虑与严谨的治学作风,丰富的学科知识与准确的科学判断都是为人称颂的,读者可以从阅读本书中受到教益。

北京大学出版社的“中外物理学精品书系”将《量子场论》作为经典著作再版,这不仅是对朱洪元先生为我国理论物理发展所作出的贡献的肯定,而且将为现在年轻的学者和学生掌握和理解量子场论提供有益的帮助,以培养更多优秀人才,在国际竞争中作出重要贡献。

考虑到本书是1960年出版的,此后五十余年中粒子物理和量子场论有很多重要的发展,黄涛研究员在书后增加了两个附录以及相关的参考文献。戴元本院士对本书再版和审校工作提出了宝贵的建议。吴慧芳研究员在再版前通读了原书并对书中某些物理学名词按现在规范做了适当修改。此外还对原书中一些印刷错误和个别笔误做了修改。除此之外,尽量保持原书的样子,仅在个别必要的地方加注说明。本书所用的 Lorentz 空间四维时空度规是 1234, 即 $x_\mu = (x_1, x_2, x_3, x_4)$ ($x_4 = it$), 这与目前通用的 0123 度规, 即 $x_\mu = (x_0, x_1, x_2, x_3)$ ($x_0 = t$) 有所不同, 由此也带来一系列符号和约定上的差别。对此再版未做改动, 读者可以了解和欣赏早年老一代科学家研究工作所习惯使用的方式, 相信读者有能力掌握这两种不同度规之间的联系。

冼鼎昌 黄涛

2012年4月

序

最近十五年来,利用宇宙线和高能加速器进行的关于基本粒子的研究有了巨大的进展.作为分析和总结基本粒子物理现象的理论工具的量子场论,在1947年以来也有显著的发展.基本粒子物理已经成为物理学的重要组成部分.

本书的原材料是作者先前在北京大学讲授量子场论的讲义.因为在工作与教学中感觉到目前存在着对量子场论书籍的需要,在1959年夏将材料重新整理,写成本书.

本书的主要部分介绍处理电磁相互作用、弱相互作用和对称性质的理论工具.关于强相互作用的理论近年来虽然进行了大量的研究工作,但是显著的进展仍然不多.因此在这方面本书只限于介绍目前研究强相互作用的基本理论工具:海森伯表象和色散关系的初步理论.

在本书的写作和出版过程中,曾经得到中国科学院数学研究所戴元本同志的许多帮助,谨在此对戴元本同志表示感谢.

作者谨识

1960年6月

目 录

| | |
|---|------|
| 第一章 引言 | (1) |
| § 1.1 基本粒子物理实验和量子场论的发展 | (1) |
| § 1.2 量子力学和相对论性经典物理理论的局限性 | (2) |
| § 1.3 量子场论的发展过程 | (4) |
| § 1.4 量子场论发展中所遇到的基本困难 | (6) |
| 参考文献 | (7) |
| 第二章 场的量子化方法的正则形式 | (8) |
| § 2.1 量子力学的正则形式 | (8) |
| § 2.2 经典场论的拉氏形式 | (9) |
| § 2.3 运动规律的对称性和守恒定律 | (10) |
| § 2.4 第一种规范变换和电荷守恒定律 | (10) |
| § 2.5 坐标移动和能量守恒定律及动量守恒定律 | (12) |
| § 2.6 洛伦兹变换和角动量守恒定律 | (12) |
| § 2.7 经典场论的哈密顿形式 | (14) |
| § 2.8 场的量子化方法的正则形式 | (16) |
| § 2.9 能量和动量算符 | (19) |
| § 2.10 总角动量算符 | (19) |
| 参考文献 | (21) |
| 第三章 自旋等于零的粒子的场 | (22) |
| § 3.1 自由粒子及其波动方程 | (22) |
| § 3.2 标量场和赝标量场 | (23) |
| § 3.3 荷电粒子场的拉氏函数和守恒量 | (24) |
| § 3.4 荷电粒子场的量子化 | (24) |
| § 3.5 分解为平面波 | (25) |
| § 3.6 量子场的粒子性 | (26) |
| § 3.7 $a_k, a_k^*, b_k, b_k^*, N_{ka}$ 和 N_{kb} 的显示表式 | (28) |

| | | |
|------------|--|-------------|
| § 3.8 | 分解为球面波 | (30) |
| § 3.9 | 场的角动量 | (32) |
| § 3.10 | 对易关系的相对论不变性 | (34) |
| § 3.11 | 对易关系和时间反演 | (36) |
| § 3.12 | 正反粒子共轭变换 | (39) |
| § 3.13 | 自旋为零的中性粒子的理论 | (39) |
| § 3.14 | 同位旋空间和同位旋守恒 | (42) |
| § 3.15 | 个别粒子的同位旋 | (45) |
| | 参考文献 | (48) |
| 第四章 | 光子·自由电磁场的量子化 | (49) |
| § 4.1 | 麦克斯韦方程的相对论性形式 | (49) |
| § 4.2 | 拉氏函数密度、能量、动量和角动量 | (51) |
| § 4.3 | 自由电磁场的量子化 | (51) |
| § 4.4 | 洛伦兹条件 | (53) |
| § 4.5 | 分解为平面波 | (55) |
| § 4.6 | 光子的自旋 | (58) |
| § 4.7 | 洛伦兹条件的意义 | (59) |
| § 4.8 | 洛伦兹条件带来的困难 | (60) |
| § 4.9 | 应用不定度规的量子化方法 | (61) |
| § 4.10 | 纵光子和标量光子的意义 | (65) |
| § 4.11 | 对易关系的洛伦兹不变性 | (67) |
| | 参考文献 | (68) |
| 第五章 | 自旋等于$\frac{1}{2}$的粒子的场 | (69) |
| § 5.1 | 狄拉克波动方程 | (69) |
| § 5.2 | 狄拉克波动方程和空间反射 | (73) |
| § 5.3 | 狄拉克波动方程和时间反演 | (75) |
| § 5.4 | 狄拉克波动方程和正洛伦兹变换 | (77) |
| § 5.5 | 由波函数组成的协变量 | (78) |
| § 5.6 | 正反粒子共轭变换 | (80) |
| § 5.7 | 狄拉克波动方程的量子化 | (83) |
| § 5.8 | 分解为平面波 | (85) |
| § 5.9 | 真空组态 | (88) |
| § 5.10 | a, a^*, b, b^* 的显示形式 | (89) |

| | | |
|------------|--|--------------|
| § 5.11 | 对易关系的相对论不变性 | (91) |
| § 5.12 | 同位旋 | (94) |
| § 5.13 | 二分量中微子理论 | (96) |
| | 参考文献 | (99) |
| 第六章 | 基本粒子间的相互作用 | (100) |
| § 6.1 | 相互作用的分类 | (100) |
| § 6.2 | 轻子与电磁场之间的相互作用 | (102) |
| § 6.3 | 介子、重子与电磁场之间的相互作用 | (106) |
| § 6.4 | 强相互作用 | (110) |
| § 6.5 | 奇异粒子和奇异量子数 | (114) |
| § 6.6 | 牵涉到奇异粒子的强相互作用 | (116) |
| § 6.7 | 费米弱相互作用理论 | (119) |
| § 6.8 | 汤川弱相互作用理论 | (122) |
| § 6.9 | 描述相互作用的其他数学形式 | (124) |
| | 参考文献 | (125) |
| 第七章 | 相互作用表象 | (126) |
| § 7.1 | 海森伯表象和薛定谔表象 | (126) |
| § 7.2 | 相互作用表象 | (127) |
| § 7.3 | 核子与 π 介子相互作用 | (130) |
| § 7.4 | 轻子与电磁场相互作用 | (133) |
| § 7.5 | 包含有场量微商的相互作用 | (136) |
| | 参考文献 | (139) |
| 第八章 | 散射矩阵和微扰论 | (140) |
| § 8.1 | 散射矩阵 | (140) |
| § 8.2 | 微扰论 | (141) |
| § 8.3 | 散射矩阵的简化 | (143) |
| § 8.4 | 正规乘积 | (144) |
| § 8.5 | 维克的二条定理 | (147) |
| § 8.6 | 用图形表示正规乘积的方法 | (151) |
| § 8.7 | 正规乘积所代表的物理过程 | (156) |
| § 8.8 | 函数 $D_f(x)$, $\Delta_f(x)$ 和 $S_f(x)$ 的表式 | (161) |
| § 8.9 | 动量表象 | (167) |
| | 参考文献 | (171) |

| | |
|---|-------|
| 第九章 微扰论的具体应用 | (172) |
| § 9.1 跃迁几率和反应截面 | (172) |
| § 9.2 γ 矩阵的一些性质 | (174) |
| § 9.3 康普顿散射 | (177) |
| § 9.4 电子和正电子的湮没 | (181) |
| § 9.5 韧致辐射 | (183) |
| § 9.6 μ^+ 介子衰变为正电子、中微子和反中微子 | (189) |
| 参考文献 | (194) |
| 第十章 量子场论中的发散困难 | (195) |
| § 10.1 发散困难 | (195) |
| § 10.2 电子的自能 | (197) |
| § 10.3 发散积分 | (199) |
| § 10.4 质量重整化 | (202) |
| § 10.5 $\Sigma^{(2)}(p)$ 所包含的其他发散困难 | (204) |
| § 10.6 电子传播函数的二次近似 | (208) |
| § 10.7 电荷重整化和辐射修正 | (210) |
| § 10.8 真空极化 | (211) |
| § 10.9 $\Pi_{\mu\nu}(k)$ 的显示表式 | (215) |
| § 10.10 光子传播函数的二次近似 | (217) |
| § 10.11 真空极化导致的电荷重整化 | (219) |
| § 10.12 顶角函数的高次近似 | (220) |
| § 10.13 顶角部分导致的电荷重整化 | (224) |
| § 10.14 小结 | (224) |
| 参考文献 | (225) |
| 第十一章 电子反常磁矩和兰姆能级移动 | (226) |
| § 11.1 辐射修正 | (226) |
| § 11.2 电子为外场所散射的 S 矩阵元 | (227) |
| § 11.3 电子的反常磁矩 | (232) |
| § 11.4 能级的兰姆移动 | (234) |
| § 11.5 K 与 ρ 的数值之间的关系 | (238) |
| § 11.6 红外发散困难 | (241) |
| 参考文献 | (244) |

| | |
|-------------------------------|-------|
| 第十二章 重整化的一般理论 | (246) |
| § 12.1 原始发散 | (246) |
| § 12.2 法雷定理 | (248) |
| § 12.3 不可约化的图形及其无穷大 | (251) |
| § 12.4 光子相互散射的 S 矩阵元 | (255) |
| § 12.5 正规图形和非正规图形 | (257) |
| § 12.6 顶角函数中的辐射修正 | (260) |
| § 12.7 可以约化的电子自能部分 | (261) |
| § 12.8 可以约化的真空极化图形 | (265) |
| § 12.9 重整化 | (270) |
| § 12.10 其他量子场的重整化 | (275) |
| 参考文献 | (277) |
| 第十三章 海森伯表象 | (278) |
| § 13.1 海森伯表象与相互作用表象间的联系 | (278) |
| § 13.2 真空的波函数 | (280) |
| § 13.3 波函数和矩阵元 | (282) |
| § 13.4 传播函数 | (283) |
| § 13.5 S 矩阵元 | (285) |
| § 13.6 邱和骆的方程 | (289) |
| § 13.7 邱-骆方程的进一步简化 | (296) |
| § 13.8 相移与 S 矩阵元之间的关系 | (299) |
| § 13.9 相移所满足的积分方程 | (306) |
| 参考文献 | (312) |
| 第十四章 色散关系 | (313) |
| § 14.1 因果律与色散关系 | (313) |
| § 14.2 散射幅与推迟格林函数 | (317) |
| § 14.3 解析延拓 | (320) |
| § 14.4 色散关系 | (322) |
| § 14.5 展望 | (324) |
| 参考文献 | (325) |
| 附录一 基本粒子 | (326) |
| 参考文献 | (329) |
| 附录二 非阿贝尔规范场论 | (330) |
| 参考文献 | (336) |

第一章 引言

§ 1.1 基本粒子物理实验和量子场论的发展

经典物理学理论是 19 世纪末以前大量实验所累积的事实和所发现的规律的总结. 这一理论在低速的、宏观的物理现象的范围内起着普遍的作用. 由于实验进入了新的现象领域, 物理理论在 20 世纪初经历了两个飞跃: 由于对微观物理现象的研究而产生了量子论, 以后进一步发展成为量子力学; 由于对高速物理现象的研究而产生了特殊相对论. 量子力学在低速的、微观的物理现象范围内起普遍的作用; 相对论性的经典物理理论则在高速的、宏观的物理现象范围内起普遍的作用. 其后, 随着物理实验的进一步发展, 人们开始研究高速微观物理现象, 从而在三十年时间内发现了一系列新的前所未有的现象. 如果我们仅仅运用量子力学或相对论性经典物理理论, 是不可能解释这些新现象的. 因此, 有必要建立新的理论来概括这些新的现象.

这些新的研究的重要成果之一是形而上学原子概念的破产. 永恒不变而彼此孤立的原子概念产生于二千多年以前, 以后它曾以各种不同的形式保持了下来, 其中包括德谟克利特(Democritus, 公元前 460—370)的原子概念, 迦生迪(Gassendi, 1592—1655)的原子概念, 道尔顿(Dalton, 1766—1844)的原子概念, 以及泼劳特(Prout, 1785—1850)所提出的氢原子为最原始物质的概念等. 在化学的原子结构被发现之后, 人们又开始设想, 电子和质子是永恒不变的、不可分割的最后物质单位. 其后又发现了, 在一定的条件下, 光子可以转化为一对电子和正电子, 电子和正电子也可以倒过来转化成为一对光子; 中子可以转化为质子、电子和反中微子, 质子也可以倒过来转化为中子、正电子和中微子. 这样就证明了, 即使电子和质子也并不是永恒不变的. 我们不能确定究竟什么是更基本的物质. 既不能说, 光子是电子和正电子所组成的, 也不能说, 电子或正电子是由光子所组成的; 既不能说中子是由质子、电子和反中微子组成的, 也不能说质子是由中子、正电子和中微子组成的. 因此, 永恒不变的、不可分割的最后物质单位并不存在.

这些新的研究的另一个重要成果是一系列前所未有的新粒子的发现. 我们将这些粒子以及质子、中子、电子、光子等一律称为基本粒子. 到目前为止, 已经发现的基本粒子约达二十六种. 它们的名称和一些基本性质见于表 1. 表中有问号者表示实验数值尚未确定. 在这些基本粒子之中, 除了质子、反质子、电子、正电子、光

子、中微子及反中微子以外,其余的粒子都是不稳定的. 这些不稳定粒子的平均寿命长者不过 10^3 秒,短者不及 10^{-15} 秒. 即使是质子、反质子、电子、正电子、光子、中微子和反中微子,它们在一定的条件下也都会产生和消失.

表 1 基本粒子的名称、自旋、质量和平均寿命^①

| 分类 | 名称 | 符号 | 自旋/ \hbar | 质量/MeV | 平均寿命/s |
|--------|------------------------------|----------------------------|--------------------|---------------------------------|--|
| 光子 | 光子 | γ | 1 | 0 | 稳定 |
| 轻子和反轻子 | 中微子和反中微子 | $\nu, \bar{\nu}$ | $\frac{1}{2}$ | 0 | 稳定 |
| | 电子和正电子 | e^-, e^+ | $\frac{1}{2}$ | 0.510976 ± 0.000007 | 稳定 |
| | 负 μ 介子和正 μ 介子 | μ^-, μ^+ | $\frac{1}{2}$ | 105.655 ± 0.010 | $(2.212 \pm 0.001) \times 10^{-6}$ |
| 介子 | 正 π 介子和负 π 介子 | π^+, π^- | 0 | 139.59 ± 0.05 | $(2.55 \pm 0.03) \times 10^{-8}$ |
| | 中性 π 介子 | π^0 | 0 | 135.00 ± 0.05 | $(2.2 \pm 0.8) \times 10^{-16}$ |
| | 正 K 介子和负 K 介子 | K^+, K^- | 0 | 493.9 ± 0.2 | $(1.224 \pm 0.013) \times 10^{-8}$ |
| | 第一种中性 K 介子 | K_1 | 0 | 497.8 ± 0.6 | $(1.00 \pm 0.038) \times 10^{-10}$ |
| | 第二种中性 K 介子 | K_2 | 0 | 497.8 ± 0.6 | $(6.1^{+1.6}_{-1.1}) \times 10^{-8}$ |
| | 质子和反质子 | P, \bar{P} | $\frac{1}{2}$ | 938.213 ± 0.01 | 稳定 |
| 中子和反中子 | N, \bar{N} | $\frac{1}{2}$ | 939.507 ± 0.01 | $(1.013 \pm 0.029) \times 10^3$ | |
| 重子和反重子 | Λ 超子和反 Λ 超子 | $\Lambda, \bar{\Lambda}$ | $\frac{1}{2}$ | 1115.36 ± 0.14 | $(2.51 \pm 0.09) \times 10^{-10}$ |
| | 正 Σ 超子 | Σ^+ | $\frac{1}{2}$ | 1189.40 ± 0.20 | $(0.81^{+0.06}_{-0.05}) \times 10^{-10}$ |
| | 负 Σ 超子和反负 Σ 超子 | $\Sigma^-, \bar{\Sigma}^-$ | $\frac{1}{2}$ | 1195.96 ± 0.30 | $(1.61^{+0.1}_{-0.09}) \times 10^{-10}$ |
| | 中性 Σ 超子 | Σ^0 | $\frac{1}{2}$ | 1191.5 ± 0.5 | $< 0.1 \times 10^{-10}$ |
| | 负 Ξ 超子 | Ξ^- | ? | 1318.4 ± 1.2 | $(1.28^{+0.38}_{-0.30}) \times 10^{-10}$ |
| | 中性 Ξ 超子 | Ξ^0 | ? | 1311.0 ± 8.0 | $\sim 1.5 \times 10^{-10}$ |

基本粒子的存在和它们之间的相互转化是高速微观现象的主要特点. 不论量子力学或相对论性的经典物理理论都未能全面地反映这些特点.

§ 1.2 量子力学和相对论性经典物理理论的局限性

自从海森伯(Heisenberg)和薛定谔(Schrödinger)发现了量子力学以后,量子力学就一直被用来解决一系列经典物理学理论所无法解决的问题. 例如:原子结构,分子结构,固体的结构和性质等等. 在这些问题的解决上,量子力学已取得了重

^① 本书中用 P, N 表示质子和中子(见表中),现在通用的形式是 p, n.