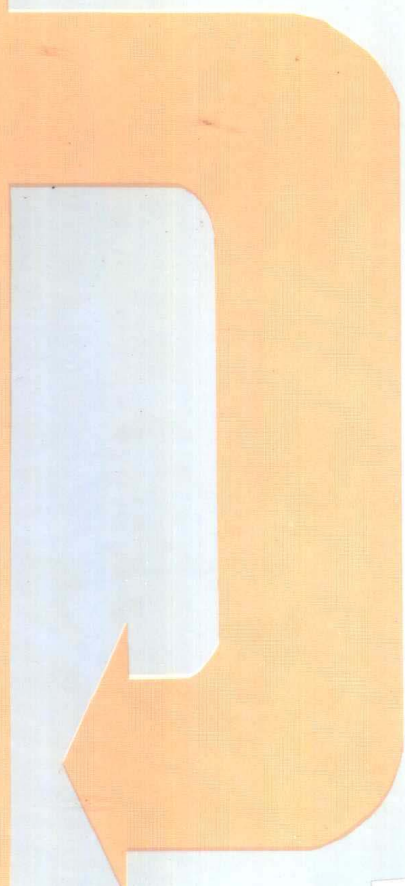




物理学概论

徐行可 张晓 张庆福 编



● 上册

西南交通大学出版社

物 理 学 概 论

上 册

徐行可 张 晓 张庆福 编

西南交通大学出版社

1995年12月

内 容 提 要

本书是西南交通大学在“大学物理”课程教学改革过程中编写的教材。全书分上、下两册。为加强物理素质教育,本书内容上压缩经典,加强近代,反映前沿,强化与现代工程技术的联系;体系上以物质的基本存在形式和基本性质为主线,对传统教材结构模式有所突破。全书始终融会着关于物质世界的对称性和统一性的物理思想,并注意保持基础课风格。

本书可作为理工科大学非物理专业的物理教材,也可以作为专科院校、函授、电视大学、夜大学师生和中学物理教师的教学参考书。

理 学 概 论

I 册

徐行可 张 晓 张庆福 编

*

西南交通大学出版社出版发行

(成都 二环路北一段 610031)

郫县印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:20.125

字数:482千字 印数:2001—5000

1995年12月第1版 1997年4月第2次印刷

ISBN 7-81022-878-1/O·077

总定价:43.00元(本册 21.00元)

发展独立思考和独立判断的一般能力，应当始终放在首位，而不应当把获得专业知识放在首位。如果一个人掌握了他的学科的基础理论，并且学会了独立地思考和工作，他必定会找到他自己的道路，而且比起那种主要以获得细节知识为其培养内容的人来说，他一定会更好地适应进步与变化。

阿尔伯特·爱因斯坦

物理学在 20 世纪取得了令人惊讶的成功。它改变了我们对空间和时间、存在和认识的看法，也改变了我们描述自然的基本语言。在本世纪行将结束之际，我们已拥有一个对宇宙的崭新看法。在这个新的宇宙观中，物质已失去了它原来的中心地位，取而代之的是自然界的对称性。引起这场思想革命的原动力，是探索自然界的终极规律——即对我们的问题——为什么世界是这个样子——的最终回答。

斯蒂芬·温伯格

序

开始于本世纪 70 年代的科学技术革命浪潮,核心是一批知识智力密集型的高新技术的兴起,其中包括信息技术、生物技术、新材料技术、空间技术、新能源技术和海洋技术等。这些高新技术以其强劲之力带动了社会生产力的发展,其发展速度之快、规模之大、作用范围之广、产生影响之深远,是历史上前所未见的。截止于公元 1980 年的估算表明,人类获得的科学知识,90%是在第二次世界大战后的三十余年获得的,并预言到 2000 年,人类社会获得的知识还将翻一番。即科学技术知识当前每三、五年就会增加一倍。从更新速度上说,我国物理教育四十年基本未变的课程体系与内容必须进行改革,既不能以不变应万变,也不能急功近利地追求“用什么学什么”的“立竿见影”模式,而是应以培养获取知识的能力作为重点。正如联合国教科文组织调研的结论那样,文盲是没学会学习方法的人,只有提高能力才能适应工作多变的需要。从变更过程的考察上看,曾风云一时于科技舞台上的角色,不过仅各领风骚数十年。40 年代中期至 50 年代中期以核能释放和利用为标志,人类开始了利用核能的时代;50 年代中期至 60 年代中期以人造地球卫星的发射成功为标志,人类开始走向地球外层空间;60 年代中期至 70 年代中期,以生物分子 DNA 的重组成功为标志,人类进入了可控制遗传和生命过程的历史新阶段;从 70 年代中期至 80 年代中期以微处理机的大量生产与使用为标志,揭开了向大脑要秘密的新篇章;从 80 年代中期至今则以软件开发与企业规模化为标志,开始了人们的热门话题——信息革命的到来。纵观这五十年的“革命角色”,无不与物理密切相关:第一个“角色”立足于原子核的研究,第二个“角色”立足于引力场的力学研究,第三个“角色”立足于分子概念进入生物学,冲破了细胞是生物学基元的观念,第四个“角色”得益于半导体物理与集成技术,第五个“角色”则基于光—电、电—光集成技术。统观上述新科技,无不得益于在本世纪初的四分之一世纪里建立的相对论与量子力学这两个理论支柱。这些事实向人们表明了绚丽多彩的高、新技术领域与产业革命无不与基础科学——物理学的突破密切相关。由此发人深思的是:本世纪末与上世纪末的形势有何关联,从而引发的新科技将使物理扮演什么角色呢?作为物理教师在这世纪之交将如何发挥更好的作用呢?在面向 21 世纪的时刻,我们的大学物理应以怎样的面貌呈现在各工程专业的大学生面前呢?

既然“你方舞罢我登场”,主角地位变化如此之快,那么呈现出的基础层次也会有所更新,演奏的音符、音色也将会有所调整,不能半个世纪总是老面孔。这就要精选出基础理论里的精华,即长期在新领域中起支柱作用的那些内容。我们不应沉溺于“斜面上的木块擦木块,再套滑轮”那样的从概念到概念式的学院式训练,而应着眼于使学生树立正确的时空观、物质观、辩证观、宇宙观方面;不应以提高解题技巧与熟练程度为目的,而应以让学生学会独立思考、独立学习为己任。

当然教学内容的变革与课程体系新模式的建立是一项涉及面很广、影响极其广泛与深远的改革,其系统性、科学性、严谨性要求很高。怎样处理好诸多关系,如与相关课程的联系、衔接,某些内容的裁撤、剪取,自身内容的经典模块与现代项目的选取以及其比重分配等,都是要

花费教者和学者巨大力量的。既不能一蹴而就,也不是形体动作式踏步可以解决的。

西南交通大学徐行可等老师在此大时代背景下,勇于改革,经过努力奋斗出版的这部《物理学概论》是新形势激励下写就的、经过试用而发行的一本好教材。他们初步打破了传统篇章层次序列,在当前既要满足“基本要求”的框架又要适应创新体系的条件下,力求向培养具有科学家头脑的工程师目标迈进,向着素质教育模式应具有品格方向探索。

愿作者与读者在学习和实践本书开篇的两条名言方面均有满意的丰收。

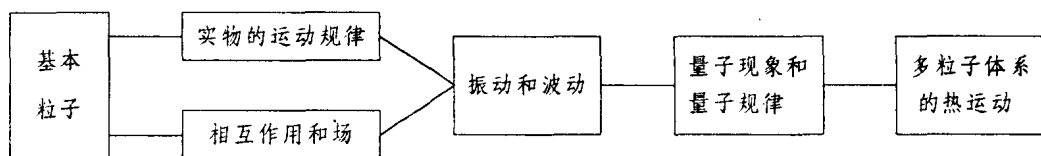
中国物理学会常务理事 王殖东
教学委员会高工分委员会主任
1995年4月 北京

前言

本书是作者在承担国家教委工科物理课程教学指导委员会和中国教育学会高等教育教材建设专业委员会“工科《大学物理》内容体系改革”课题的研究过程中,结合西南交通大学具体教学实践编写的教材。

我们认为,工科物理教育的主要目的是提高学生的物理素质,使学生在科学知识、科学思维方法、科学研究能力方面具有良好基础,以适应 21 世纪科技发展对人才的需求。基于这个认识,本书的主要思路 and 特点是:

一、教材结构上改变经典物理与近代物理两部分分离的传统模式,以物质的基本存在形式及基本性质为主线来组织教材。教材框图如下:



这种教材结构一开始就向学生展示当今人类对物质世界的最基本、最重要的认识——物质结构的基本层次和物质间的基本相互作用,使学生形成最概括的物质世界图象,同时使教材有一个较高的起点,便于近代物理概念向经典内容渗透。在分别讨论实物和场的运动规律的基础上,以振动和波动为中介过渡到物质的波粒二象性,介绍量子现象和量子力学基本规律。将热物理学放在教材最后,从体系上看强调单粒子—多粒子体系运动规律的变化,并且能够在量子力学基础上更加深入、全面地讨论热运动规律,如介绍近独立子系的量子统计等。

二、物理思想上以物质世界的对称性和统一性思想贯穿整个教材,努力以现代物理思想阐述基础物理内容。

从素质教育的角度看,学生学到的具体物理知识可能很快遗忘,但物理思想方法潜移默化的影响却让学生终生受益。因此,鲜明的物理思想应该是工科物理教材的灵魂。我们以现代物理的对称性和统一性思想贯穿始终:在《绪论》中专列了第二章来讨论物理学科学观、理论体系和研究方法的发展;在《实物的运动规律》中淡化力和牛顿定律,以动量、角动量、能量三个守恒量为中心,按守恒量—变化率—作用量—守恒定律—对称性的线索展开,列表介绍目前物理学已经证明了的对称性与守恒定律的对应关系,然后从自然规律的对称与统一思想出发讲述狭义相对论;在《相互作用和场》中用相对论分析运动电荷间的相互作用,建立磁场概念,使学生认识磁场是电场的相对论效应,从而更深刻地理解电磁场的统一性,还介绍了引力、强相互作用、弱相互作用及相关的场和统一场论的物理思想;在《振动与波动》部分将机械振动、机械波和波动光学纳入统一的方法论框架;在量子物理中突出对应原理、互补原理、概率幅的物理思想;在《多粒子体系的热运动》中强调近独立子系三种统计规律的联系和热力学基本定律在自然界中的支配地位;在《结束语》中再次从自然界的对称性和统一性高度来介绍物理学的未知课题等。

三、教学内容上注意加强近代,反映前沿,加强工科物理与现代工程技术的联系。

我们压缩经典内容的主要方法是通过合并来减少其篇幅,降低其地位。如刚体力学不再自成一章而是纳入三个守恒量的框架;稳恒电流以稳恒电场作为一节纳入电场的框架;所有关于电磁感应的内容作为一节纳入变化中的场的框架;传统气体动理论中压强、温度公式作为《统计方法的一般概念》一节的例题;麦氏分子速率分布、能均分、平均自由程都作为M-B分布的应用;气体内的输运过程仅从方法论角度举为一个例题等等。

教材增加了基本粒子、广义相对论、非线性振动和波动、信息光学、激光、超导、超流、液晶、量子统计、耗散结构、现代宇宙学等方面的内容;增加了介绍物理在现代工程技术中应用的实例;强化了在现代工程中应用广泛的熵的概念,将其专列一章;还在书末列《结束语——物理学的精髓在于探索未知》介绍21世纪物理学和新技术的课题。

四、教材保持基础课层次的风格特征,与低年级大学生的实际情况相适应。

为了适应低年级大学生的实际情况,本教材数学手段限于微积分和矢量运算,逻辑上从简单特例入手,然后指明结论的普遍性。不过分强调数学上的严密性,而着重突出物理思想和物理图象的清晰性。对于涉及比较繁难数学运算的内容,如大角度摆动、傅立叶光学、原子结构的量子理论、统计方法等都只给出思路和结论,而避免陷入烦琐的数学推导之中。

为了帮助学生把握教材各部分的知识线索和要点,在每一章开头简要阐明本章的主题,列出结构框图,章末列出内容提要。

本书的体系、内容由三位编者共同讨论拟定。全书由徐行可执笔,张晓绘制插图,张庆福修改审定。本书初稿曾由张庆福、徐行可、王祖源、王莉、彭海东等在西南交通大学93、94年级中试用。

在课题立项,教材编写、试用、修改、出版过程中,得到工科物理课程教学指导委员会,高等教育教材建设专业委员会,西南交通大学“211工程”办公室、教务处、出版社、新技术开发公司图文信息中心、应用物理系的大力支持和指导;得到恽瑛、余守宪、王韶华、焦善庆、殷传宗、周盛芳、缪钟英、陆果、李崇虎、唐清华、王彬、黄瑞霖、黄泉保、汤桂芳、陈孝飞、周培南、徐勇、王祖源、王莉、彭海东等老师的指导和帮助,在此致以衷心的感谢。并向本书编写过程中参阅的书籍文献的作者致谢。

我们荣幸地得到王殖东教授为本书作序,诚致谢意。

“大学物理”内容体系改革是一项需要反复实践的艰巨课题。我们所做的工作还只是初步的探索,加上编者自身水平的局限,缺点错误在所难免,期望得到专家、同行和读者的批评指正。

编 者

1995年6月于西南交通大学

目 录

第一篇 绪 论

第一章 物质世界	1
§ 1.1 基本粒子及其相互作用	1
§ 1.2 物质存在的基本形式	6
§ 1.3 物质与运动	10
本章提要	12
思考题和习题	12
第二章 物理学理论体系与方法的发展	13
§ 2.1 物理学理论体系的发展	13
§ 2.2 物理学科学观及方法论的发展	15
§ 2.3 物理学与工程技术	17
思考题	18

第二篇 实物的运动规律

第三章 运动的描述	19
§ 3.1 质点和刚体	19
§ 3.2 参考系和坐标系	20
§ 3.3 运动的描述	23
§ 3.4 运动学的两类基本问题	37
§ 3.5 相对运动	40
本章提要	44
思考题	44
习 题	46
第四章 动量 动量守恒定律	49
§ 4.1 质量和动量	49
§ 4.2 动量的时间变化率	52
§ 4.3 动量定理	61
§ 4.4 动量守恒定律	66
本章提要	70
思考题	70

习 题	71
第五章 角动量 角动量守恒定律	75
§ 5.1 角动量 转动惯量	75
§ 5.2 角动量的时间变化率	82
§ 5.3 角动量定理	86
§ 5.4 角动量守恒定律	89
本章提要	96
思考题	96
习 题	97
第六章 能量 能量守恒定律	101
§ 6.1 动能 功 动能定理	101
§ 6.2 保守力 势能 功能原理	108
§ 6.3 机械能守恒定律	114
本章提要	122
思考题	123
习 题	124
第七章 狭义相对论	129
§ 7.1 力学相对性原理 伽利略变换	129
§ 7.2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	133
§ 7.3 狭义相对论时空观	139
§ 7.4 狭义相对论动力学基础	147
§ 7.5 狭义相对论的意义	154
本章提要	155
思考题	156
习 题	157

第三篇 相互作用和场

第八章 电相互作用和静电场	160
§ 8.1 库仑定律 静电场	161
§ 8.2 电场强度	164
§ 8.3 高斯定理	170
§ 8.4 环路定理 电势	178
§ 8.5 场强与电势的关系	183
§ 8.6 静电场中的导体	186
§ 8.7 静电场中的电介质	190
§ 8.8 电容 电容器	195
§ 8.9 静电场的能量	198

§ 8.10 稳恒电场	200
本章提要	203
思考题	206
习 题	207
第九章 运动电荷间的相互作用 稳恒磁场	215
§ 9.1 运动电荷间的相互作用	215
§ 9.2 磁感应强度 毕奥—萨伐定律及其应用	221
§ 9.3 磁场的高斯定理和安培环路定理	225
§ 9.4 磁场对运动电荷及电流的作用	232
§ 9.5 磁介质	242
§ 9.6 铁磁质	247
本章提要	250
思考题	251
习 题	252
第十章 变化中的磁场和电场	258
§ 10.1 电磁感应	258
§ 10.2 磁场能量	272
§ 10.3 位移电流	275
§ 10.4 麦克斯韦方程组的积分形式	278
本章提要	281
思考题	282
习 题	283
第十一章 引力相互作用与引力场	288
§ 11.1 引力场	288
§ 11.2 广义相对论简介	290
本章提要	295
思考题	295
第十二章 强、弱相互作用与“粒子场”	296
§ 12.1 强相互作用简介	296
§ 12.2 弱相互作用简介	298
本章提要	299
附 录	
I. 国际单位制(SI)	300
II. 常用基本物理常数	302
习题答案	303

第一篇 绪 论

第一章 物质世界

我们把不依赖人的意识而独立存在的客观实在称为物质。物理学是研究物质的基本结构、相互作用和基本运动规律的科学。从古希腊时代的自然哲学到现代物理学,在不懈地追求和探索中,人们对物质世界形成了一个怎样的总体图象呢?可以概括为:物质世界是由基本粒子组成的;物质以实物和场这两种基本形式存在着;物质处于不断的运动变化之中。

§ 1.1 基本粒子及其相互作用

物质是由什么构成的?自古以来,人们就有一个信念:万物都有共同的本原。古希腊朴素唯物主义把物质归结为水(泰勒斯),归结为火(赫拉克利特),归结为水火土气(亚里士多德),归结为真空和原子(德莫克利特)。在古代中国则有元气说、阴阳说和五行(金木水火土)说。近代机械唯物主义把物质归结为各种化学元素的原子。而19世纪末、20世纪初X射线、电子和放射性的发现揭示出原子也是有内部结构的。这样,人们为寻找物质的基本构成单位而一步步深入到物质的更深层次。最初,人们认为物质微粒结构的最小单元是质子、中子、电子和光子,并称它们为基本粒子。后来,又把凡是和这些粒子可以相互作用和相互转化,并在当时的认识水平上认为是同一层次的粒子,统称为“基本粒子”。迄今为止已经发现了数百种这样的“基本粒子”。而且,人们在对这些“基本粒子”的深入研究中发现某些基本粒子并不“基本”,它们有内部结构,而且从内部结构的情况来看,已有的基本粒子并不都属于同一层次。因此,现在已将这些基本粒子改称粒子。基本粒子物理学改称粒子物理学。而我们当今所提的“基本粒子”则指的是人们目前所认识到的组成物质的基本单元,即迄今尚未发现有内部结构的粒子。当然,它们也不一定是构成万物的终极基元,随着人们对物质结构的认识不断深入,“基本粒子”所指的具体对象也将随之向更加深入的层次转移。

如果要用一句话来概括我们现在关于基本粒子的知识,那么就是:“三大家族四大力”。为了理解基本粒子的分类,我们首先介绍其主要属性和相互作用。

一、描述粒子特征的主要物理量

1. 质 量

除光子和中微子外,其余已发现的基本粒子的静止质量均不为零。由于粒子的质量很小,用国际单位制(SI)单位 kg 来计量很不方便。所以通常用两种间接方式来表述粒子的质量:一

种是以电子的静质量 m_e (约 $9.11 \times 10^{-31} \text{kg}$) 为单位,把粒子质量表示为 m_e 的倍数;另一种是利用爱因斯坦质能关系 $E = mc^2$,用相应的能量(MeV) 来表示质量。与 1 MeV 相对应的质量是

$$m = \frac{E}{c^2} = \frac{10^6 \times 1.602 \times 10^{-19}}{(3 \times 10^8)^2} \approx 1.78 \times 10^{-30} \text{kg}$$

2. 电 荷

粒子的电荷以质子电荷 e 为单位:

$$e = 1.602 \times 10^{-19} \text{C}$$

长期以来,人们认为粒子所带电荷只能是 e 的整数倍。现代理论认为存在着电荷为 $\pm e/3$ 和 $\pm 2e/3$ 的基本粒子(夸克),即以 $e/3$ 为单位,粒子的电荷是量子化的。

3. 自 旋

在量子力学中,我们常常借用经典语言来描述微观粒子的性质,自旋就是这样的一个概念。它描述粒子相关于但不同于经典自转运动的一种内部性质。粒子的自旋角动量也是量子化的,通常以普朗克作用量子 $\hbar$ 为单位。

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6.626 \times 10^{-34}}{2\pi} \approx 1.05 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$$

基本粒子可按其自旋划分为两类:自旋角动量为 $\hbar$ 的整数(1,2) 倍的粒子叫做玻色子,它们不遵从泡利不相容原理,服从玻色—爱因斯坦统计规律;自旋角动量为 $\hbar$ 的半整数(1/2, 3/2) 倍的粒子叫做费米子,它们遵从泡利不相容原理,服从费米—狄拉克统计规律。目前认为实物物质都由费米子组成,而玻色子传递粒子之间的相互作用。

4. 寿 命

实验发现,除电子、质子、光子、中微子等少数粒子外,其余粒子都是不稳定的。它们都要衰变为其他粒子。粒子衰变前平均存在的时间叫做粒子的寿命。如自由中子的寿命为 900 s, π^+ 介子的寿命为 10^{-8}s ,共振态粒子的寿命约 10^{-24}s 等。粒子的寿命是基本粒子间相互转化现象的反映和量度。

除此之外,描述粒子性质的物理量还有磁矩、同位旋、超荷等等。

二、粒子间的相互作用

基本粒子是依靠它们间的相互作用结合在一起,组成各种形态的物质的。粒子之间的相互作用有四种基本形式:引力相互作用、电磁相互作用、强相互作用和弱相互作用。它们的基本特征如表 1.1—1 所示。

表 1.1—1 四种基本相互作用

种 类	作用对象	作用距离 (cm)	相对强度 (10^{-13}cm 处)	传递作用的基本粒子
引 力	所有物质	∞	10^{-38}	引力子(?)
弱 力	大多数粒子	$< 10^{-16}$	10^{-13}	中间玻色子($W^\pm, Z^0$)
电磁力	带电粒子	∞	10^{-2}	光子(γ)
强 力	强 子	$< 10^{-13}$	1	胶子(g)

1. 引力相互作用

即物质间的万有引力。它是一种长程力,在所有的物质间均存在。因为引力在四种相互作用中是最弱的,粒子质量又很小,两相邻质子间的万有引力只有 10^{-34}N ,所以在粒子现象中引力作用可以忽略不计。在宏观领域,尤其在天体问题中,由于涉及的质量很大,则是引力起主要作用。关于引力相互作用的理论主要有万有引力定律、广义相对论、量子引力理论等。

2. 电磁相互作用

电磁力只存在于带电粒子之间。它也是一种长程力,在宏观和微观范围都起作用。电子和原子核就是靠电磁力作用而组成原子的。日常生活和工程技术中常见的相互接触物体间的弹力和摩擦力,以及流体的压力和浮力等就其本质而言都可归结为分子间的电磁相互作用。迄今为止,电磁力是四种基本相互作用中被认识得最清楚的一种。其主要理论有经典电动力学、量子电动力学(QED)。

3. 强相互作用

强力由于其强度大和力程短而成为粒子间最重要的相互作用。两相邻质子间的强力可达 10^4N 。强力在粒子间距离为 $10^{-15} \sim 0.4 \times 10^{-15}\text{m}$ 时表现为引力,距离再减少就表现为斥力。正是强力将夸克束缚在一起组成质子和中子,并将质子和中子束缚在一起组成原子核。研究强相互作用的理论是量子色动力学(QCD)。

4. 弱相互作用

弱力的力程比强力更短,力也更弱。两个相邻质子间的弱力约为 10^{-2}N 。弱力制约着放射性现象,只在 β 衰变等过程中才显示其重要作用。研究弱相互作用的理论是量子味动力学(QFD)。

现代物理认为,物质间的四种相互作用都是由场来传递的,是靠交换玻色子来实现的。传递电磁相互作用的是光子 γ 。传递弱相互作用的是1984年发现的中间玻色子 $W^\pm$ 和 Z^0 。传递强相互作用的粒子是胶子,目前依据胶子的存在而进行的理论计算结果都与实验结果相符,但还未能能在实验中找到自由的胶子。按照这样的思想,引力相互作用应该由引力子来传递,但目前对引力子的认识还很不充分。

将实际现象中各种表现上完全不同的复杂纷纭的力归结为四种基本相互作用是物理学的光辉成就。但物理学家对此并不满足,仍然不断探求四种基本力之间的联系。爱因斯坦就曾企图把万有引力和电磁力统一起来,但没有成功。格拉肖(1961年)、温伯格和萨拉姆(1967年)提出了弱作用和电磁作用统一的理论并获得了一系列实验证明,取得了巨大的成功。进一步寻求把弱作用、电磁作用和强作用包括在内的“大统一理论”也已经取得一些重要成果。如果这一步获得成功,下一步便是寻求把四种基本力全部包括在内的超统一理论。这些都是当今理论物理学界最活跃的前沿课题。我们将在第三篇中进一步讨论这方面的内容。

三、基本粒子的分类

按照基本粒子的性质及其与相互作用的关系,可以把基本粒子分为三类:夸克、轻子和规范粒子。

1. 规范粒子

规范粒子是传递相互作用的媒介,是构成场的基本粒子,也称为场量子。它们的基本特征

如表 1.1—2 所示。

表 1.1—2 规范粒子

名称	符号	静质量(MeV)	电荷(e)	自旋($\hbar$)	寿命(s)	传递的相互作用
光子	γ	0	0	1	∞	电磁
中间玻色子	$W^\pm$ Z^0	$80\,600 \pm 400$	± 1	1	$(2.93 \pm 0.18) \times 10^{-25}$	弱
		$91\,161 \pm 31$	0	1	$(2.60 \pm 0.03) \times 10^{-25}$	
胶子	(g)	0	0	1	∞	强
(引力子)	?	0	0	2	?	引力

2. 轻子

轻子不参与强相互作用。已发现的轻子共三代十二种：电子、 μ 子、 τ 子及相应的中微子和它们的反粒子，如表 1.1—3 所示(未列出反粒子)。

表 1.1—3 轻子

代	名称	符号	静质量(MeV)	电荷(e)	自旋($\hbar$)	寿命
一	电子	e^-	$0.510\,999\,06 \pm 0.000\,000\,15$	-1	$\frac{1}{2}$	稳定, $> 10^{21}$ 年
	电子型中微子	ν_e	$< 1.7 \times 10^{-5}$	0	$\frac{1}{2}$	稳定
二	μ 子	μ^-	$105.658\,387 \pm 0.000\,034$	-1	$\frac{1}{2}$	$(2.197\,03 \pm 0.000\,04) \times 10^{-6} \text{s}$
	μ 型中微子	ν_μ	< 0.27	0	$\frac{1}{2}$	稳定
三	τ 子	τ^-	$1\,776.9 \pm 0.5$	-1	$\frac{1}{2}$	$(0.303 \pm 0.008) \times 10^{-12} \text{s}$
	τ 型中微子	ν_τ	< 35	0	$\frac{1}{2}$	

3. 夸克

我们把参与强相互作用的粒子称为强子。强子又可按其自旋的不同分为两大类：自旋为半整数的统称为重子，如质子、中子和各种超子；自旋为整数的统称为介子，如 π 介子、K介子等。实验中已发现的数百种粒子中绝大部分是强子或强子的共振态。共振态即较稳定的强子激发态。共振态的存在说明强子是有内部结构的。其他许多实验也说明了这一点。如 1955 年用高能电子束测出质子的电荷和磁矩并不集聚于一点，而是有大约 $0.8 \times 10^{-15} \text{m}$ 的分布半径；1968 年又发现用高能电子轰击质子时，电子发生大角度散射(这与卢瑟福发现原子核式结构的 α 粒子散射实验的情况很相似)等等。1964 年盖尔曼等人提出强子都是由更基本的夸克组成的标准模型。这种理论在许多方面取得很大的成功并获得 1969 年诺贝尔物理奖。近二十年来用加速器和对撞机做了大量实验，对标准模型理论进行了多方面的检验。1990 年 8 月在新加坡召开的第 25 届高能物理国际会议上总结了检验结果。结论是：“标准模型理论成功地经受住了所有实验的检验。超出标准模型理论的实验结果一个也没有得到。”目前认为夸克应该有三代六种

“味”，而每种夸克又分“红”、“蓝”、“绿”三种“色”。这样，三代夸克连同它们的反粒子共有 36 种。夸克的自旋都是 $\frac{1}{2}$ ，并带有分数电荷。三代夸克的主要性质如表 1.1—4 所示。

表 1.1—4 夸 克

代	名 称	符 号	静质量 (MeV)	电荷 (e)	自旋 ($\hbar$)
一	上夸克	u	~ 300	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
	下夸克	d	~ 300	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
二	粲夸克	c	$\sim 1\,500$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
	奇异夸克	s	~ 450	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$
三	顶夸克	t	$\sim 174\,000$	$\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$
	底夸克	b	$\sim 5\,000$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$

根据夸克理论，重子都由三个夸克组成，而介子则由一个夸克和一个反夸克组成。如质子由两个 u 夸克和一个 d 夸克组成，中子由两个 d 夸克和一个 u 夸克组成， π^+ 介子由一个 u 夸克和一个反 d 夸克组成， K^+ 介子由一个 u 夸克和一个反 s 夸克组成， J/Ψ 粒子由正、反 c 夸克组成等等。实验还表明夸克的大小和轻子一样，半径小于 10^{-18}m ，但至今尚未从实验中找到自由夸克。这可以用夸克禁闭的理论来解释。究竟能否打破禁闭，直接找到自由夸克，这是当代物理理论和实验的一个前沿课题。

在基本粒子问题上还存在许许多多未解决的课题。如中微子的质量问题，夸克和轻子的“代”是如何产生的，夸克和轻子还有没有内部结构等等。在寻求基本力的统一的同时，人们也在努力寻求基本粒子的统一。这方面的进展取决于高能加速器的发展和探测器的发展。随着我们越来越深入到物质的更深层次，我们对加速器的能量和规模的要求越来越高。现在世界上最大的固定靶加速器在美国费米实验室，它的能量可达 1TeV (图 1.1—1)；最大的质子—反质子对撞机也在费米实验室，能量为 2TeV；最大的正负电子对撞机在西欧原子核研究中心，能量可达 200 GeV。我国 1988 年建成的北京正负电子对撞机 (BEPC) 每束电子流能量达 2.2 GeV，已取得首批成果。现代探测器可分为逼近探测、径迹探测和量热探测几类，其结构和规模也是越来越复杂和庞大。

综上所述，人类对基本粒子及其相互作用认识的现状如表 1.1—5 所示。当然，随着人类对物质世界结构的认识的深化，这张表的内容还会发展和更新。

表 1.1—5 粒 子 物 理 现 状

相 互 作 用	参 加 粒 子	传 播 子	理 论
强相互作用	夸 克	胶 子	量子色动力学
电弱相互作用	夸克和轻子	光子和中间玻色子	$SU(2) \times U(1)$ 包括量子电动力学
引 力	全 部	引力子	广义相对论

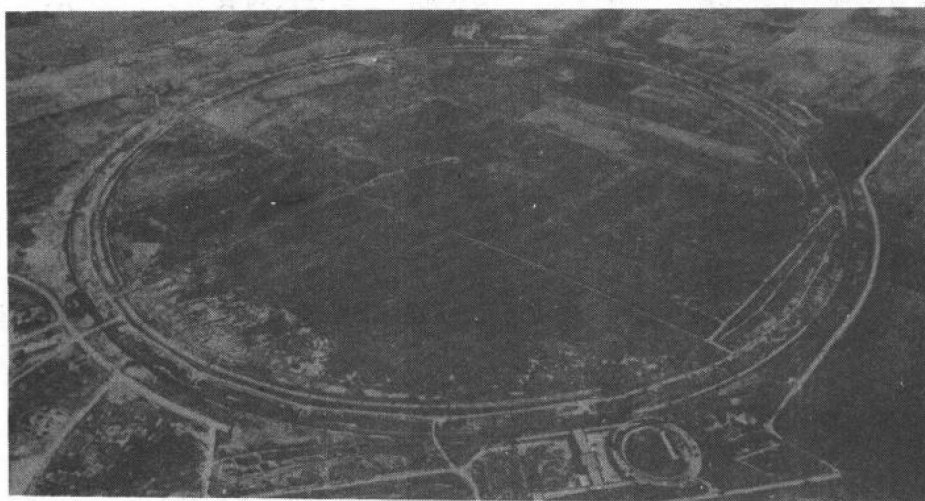


图 1.1—1 美国费米国家实验室的大型加速器外景
(加速器的直径 2000 m)

§ 1.2 物质存在的基本形式

上一节中介绍了基本粒子的三大家族,这些基本粒子靠基本力联系到一起而构成物质世界。当今物理学界认为,丰富多彩、仪态万千的物质世界以两种基本形式存在着。这两种基本形式就是实物和场。其结构层次大体上如图 1.2—1 所示。

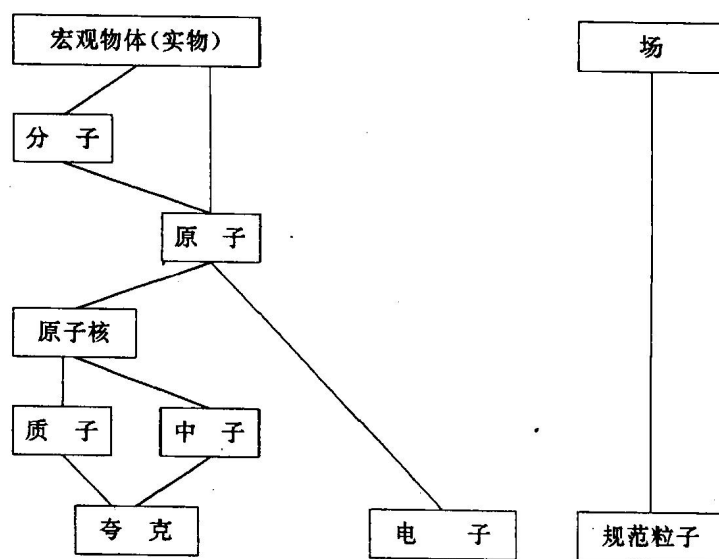


图 1.2—1