



高等学校教材

# 新编 大学物理学

(基础卷)

北方交通大学 林铁生 主 编  
大连铁道学院 高伟光 副主编

中国铁道出版社

04  
L60-2

高等学校教材

# 新编大学物理学

(基础卷)

北方交通大学 林铁生 主 编  
大连铁道学院 高伟光 副主编

中 国 铁 道 出 版 社

2000年·北京

(京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本书从现代科学技术发展和对 21 世纪工程技术人才的总体要求出发,重新建立了大学物理课程体系,加强了近代物理内容,注重工科大学物理的特色。全书分基础、专题两卷出版,基础卷内容包括粒子、相互作用与场、波动;专题卷内容包括现代物理与高新技术物理基础。本书为基础卷。

本书可作为高等工科院校各专业的大学物理教材,也可作为其他高等院校非物理专业的教材或教学参考书。

D271/A9

### 图书在版编目(CIP)数据

新编大学物理学/林铁生主编. —北京:中国铁道出版社,2000  
高等学校教材

ISBN 7-113-03630-9

I. 新… II. 林… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 77054 号

书 名: 新编大学物理学(基础卷)

作 者: 林铁生 主 编

高伟光 副主编

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街 8 号)

责任编辑: 程东海

封面设计: 陈东山

印 刷: 北京市兴顺印刷厂

开 本: 787×960 1/16 印张: 28.5 字数: 716 千

版 本: 2000 年 2 月第 1 版 2000 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~6000 册

书 号: ISBN 7-113-03630-9/G·128

定 价: 35.70 元

**版权所有 盗印必究**

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

## 前 言

本书是铁道部面向 21 世纪“物理系列课程教学内容与课程体系改革的研究与实践”教学研究项目的研究成果。参加该项目的院校有：北方交通大学、西南交通大学、大连铁道学院、上海铁道大学、长沙铁道学院和石家庄铁道学院。

本书编写的指导思想是：

1. 从现代科学技术发展和对 21 世纪工程技术人才培养的总体要求出发，重新建立了课程体系。本书将大学物理课程分为四大部分：(1) 粒子；(2) 相互作用与场；(3) 波动；(4) 现代物理与高新技术物理基础。这种体系有利于近代物理与经典物理的交叉融合，有利于各学科间的综合，有利于加强近代物理的讲授和突出工科物理的特色。

2. 加强了近代物理特别是量子力学的内容。随着科学技术的发展，量子力学对工程技术，特别是高新技术学科有着越来越重要的作用，为此，本书加强了这部分内容的讲授，并在编写上尽量采用演绎推理的方法，避免一些不必要的数学推导。

3. 从近代物理高度来处理传统的物理教学内容，更新观念，提高教学内容的层次。如在牛顿力学讲授时，不再采用牛顿三条运动定律为核心的讲法，而是以动量、角动量和机械能三个守恒定律为核心来阐述，并从时空对称性的高度进一步说明三个守恒定律的渊源。

4. 突出工科大学物理的工科特色，加强现代科学技术成就及相关物理知识的介绍。在本书专题卷中将以专题形式介绍这部分内容，从介绍内容来看又可分为两大类：一类是与物理相关的高新技术，如激光技术、红外技术、新材料技术、光纤技术等，一类是高新技术的物理基础，如能带理论、超导、等离子体、耗散结构等。

5. 要使大学物理成为培养和提高学生科学素质和创新能力的主要课程。物理学是一切自然科学的基础，由于物理学与许多新兴学科的交叉渗透，使得它已成为高水平科技人才知识结构中的重要部分，因此大学物理课程不仅要为学生提供足够的物理知识，更应成为能够较全面培养和提高学生科学素质和创新能力的主要课程。

本书分为基础与专题两卷，基础卷包括粒子、相互作用与场和波动，专题卷为现代物理与高新技术物理基础专题部分。

本书由北方交通大学林铁生教授主编，大连铁道学院高伟光副教授副主编。参加本书基础卷编写工作的有：王健、申立、成正维、刘岚岚、李果华、宋志怀、吴柳、林铁生、赵国忠、钟晓春、高伟光。

北方交通大学余守宪教授审阅了部分书稿，并提出了许多宝贵意见和建议，编者在

此表示衷心感谢。

由于编者学识有限,书中误谬和不妥之处在所难免,恳请读者和同行不吝赐教。

编者

1999年10月

## 目 录

绪 论	1
§ 1 什么是物理学	1
§ 2 物质结构及其相互作用	4
§ 3 单位制与量纲	10
<b>第一篇 粒 子</b>	
<b>第一章 机械运动的描述</b>	16
§ 1.1 质点 刚体 参照系	16
§ 1.2 位矢 速度 加速度	17
§ 1.3 圆周运动	22
§ 1.4 运动学中的两类问题	23
§ 1.5 刚体运动的描述	28
§ 1.6 相对运动	29
习 题	31
<b>第二章 时间与空间</b>	35
§ 2.1 绝对时空观	35
§ 2.2 狭义相对论基本假设	38
§ 2.3 洛仑兹坐标变换	40
§ 2.4 狭义相对论时空观	44
§ 2.5 因果律与速度极限	49
习 题	53
<b>第三章 守恒定律</b>	56
§ 3.1 动量守恒定律	56
§ 3.2 角动量守恒定律	65
§ 3.3 能量守恒定律	78
§ 3.4 守恒定律与对称性	95

习 题	101
<b>第四章 振 动</b>	109
§ 4.1 简谐振动	109
§ 4.2 简谐振动的合成	119
§ 4.3 振动的分解	124
§ 4.4 阻尼振动 受迫振动 共振	125
§ 4.5 非线性振动 混沌	129
习 题	135
<b>第五章 气体动理论</b>	139
§ 5.1 分子动理论的基本观点	139
§ 5.2 气体的状态参量 平衡态 理想气体状态方程	140
§ 5.3 理想气体的压强公式和温度公式	143
§ 5.4 能量按自由度均分定理 理想气体的内能	148
§ 5.5 麦克斯韦速率分布律	151
§ 5.6 玻尔兹曼分布律	155
§ 5.7 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	157
§ 5.8 气体的内迁移现象	159
习 题	162
<b>第六章 热力学基础</b>	165
§ 6.1 热力学的基本概念	165
§ 6.2 功 热量 内能	166
§ 6.3 热力学第一定律	169
§ 6.4 循环过程 卡诺循环	175
§ 6.5 热力学第二定律 不可逆过程	179
§ 6.6 熵与熵增加原理	181
§ 6.7 熵概念的扩展	186
习 题	189
<b>第二篇 相互作用与场</b>	
<b>第七章 万有引力和引力场</b>	192
§ 7.1 万有引力	192
§ 7.2 引力场的高斯定理	194

§ 7.3 引力势 .....	199
§ 7.4 广义相对论简介 .....	201
习 题 .....	204
<b>第八章 电相互作用与静电场</b> .....	<b>206</b>
§ 8.1 电相互作用 .....	206
§ 8.2 静电场的高斯定理 .....	211
§ 8.3 静电场的环路定理 电势 .....	214
§ 8.4 静电场与导体的相互作用 .....	218
§ 8.5 静电场与介质的相互作用 .....	223
§ 8.6 静电场的能量 .....	227
§ 8.7 恒定电场 .....	229
习 题 .....	231
<b>第九章 电磁相互作用和恒定磁场</b> .....	<b>235</b>
§ 9.1 磁相互作用 .....	235
§ 9.2 运动电荷的磁场 毕奥—萨伐尔定律 .....	243
§ 9.3 磁场的高斯定理 .....	247
§ 9.4 安培环路定理 .....	249
§ 9.5 磁场对电流的作用 .....	254
§ 9.6 磁场与磁介质的相互作用 .....	261
习 题 .....	271
<b>第十章 变化的电磁场</b> .....	<b>276</b>
§ 10.1 电磁感应定律 .....	276
§ 10.2 动生电动势 .....	278
§ 10.3 感生电动势 涡旋电场 .....	283
§ 10.4 自感和互感 .....	287
§ 10.5 磁场能量 .....	292
§ 10.6 位移电流 .....	294
§ 10.7 麦克斯韦方程组 .....	298
§ 10.8 电磁波 .....	301
习 题 .....	304

### 第三篇 波

<b>第十一章 机械波</b> .....	<b>309</b>
§ 11.1 机械波的产生和传播 .....	309



§ 11.2	平面简谐波	313
§ 11.3	声波 超声和次声	321
§ 11.4	波的干涉和衍射	324
§ 11.5	多普勒效应和超光速运动	334
	习 题	337
<b>第十二章</b>	<b>光 波</b>	<b>341</b>
§ 12.1	光波及其数学描述	341
§ 12.2	光波的叠加和干涉	345
§ 12.3	分波前干涉	349
§ 12.4	分振幅干涉	357
§ 12.5	光的衍射现象 惠更斯—菲涅耳原理	367
§ 12.6	夫琅和费单缝衍射 圆孔衍射	369
§ 12.7	衍射光栅	375
§ 12.8	偏振光的产生和检验	380
§ 12.9	偏振光干涉	386
	习 题	391
<b>第十三章</b>	<b>量子力学基础</b>	<b>396</b>
§ 13.1	量子力学产生的历史背景	396
§ 13.2	德布罗意物质波	403
§ 13.3	不确定关系	408
§ 13.4	态叠加原理	410
§ 13.5	薛定谔方程	411
§ 13.6	力学量的算符表示	418
§ 13.7	算符的本征值与本征函数	422
§ 13.8	表象理论初步	427
§ 13.9	粒子在有心力场中的运动	431
§ 13.10	电子自旋	435
§ 13.11	全同粒子系	436
§ 13.12	相对论量子力学简介	440
	习 题	442
	主要参考文献	446

# 绪 论

## § 1 什么是物理学

### 一、物理学研究的对象

我们把不依赖人的意识而独立存在的客观实在统称为**物质**。物质有**实物物质**和**场**两种形式。实物物质能够被人所感知,它表现出有形、有色、有味、有质量、有能量、有动量等多方面的自然属性。场一般不能被人所感知,它无形、无色、无嗅,但场也有质量、有能量、有动量,能够用很多方法间接地证实它的存在并测定它的属性。人类最早认识的物质形态都为实物物质,场的概念则是19世纪才提出来的。

形形色色的物质构成了广阔无垠、绚丽多姿的宇宙。大到日月星辰和星系,小到分子原子直至基本粒子(包括场量子),都处在永恒的运动与变化之中。早在一个多世纪以前,恩格斯就在他的《自然辩证法》一书中精辟地论述道:“运动,就其一般的意义来说,就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说,它包括宇宙中发生的一切变化和过程,从单纯的位置移动起直到思维。”一言以概之:没有不运动的物质,也没有无物质的运动。

物质运动的形式多种多样,研究各种运动形式的普遍规律是物理学最主要的任务之一。此外,物理学还研究物质的结构以及物质间的相互作用。从这些意义来说,物理学是一门最普遍,也是最基本的基础科学。

### 二、物理学的基本研究方法

人类最早对物质运动的认识来自**观察**。最早的观察当首推埃及人、苏美尔人和我国古代人对天文现象的观察,这些观察的文字记载可追溯到4 000多年以前。即使在科学已经极其发展的今天,人类还是在继续使用观察的手段,对宇宙的各个角落和物质的各个层次进行着探索。观察是人类认识自然的最简单和最直接的方法。依靠观察,在很早的时候人类就总结出一些物质运动的规律。如我国古代有关磁现象的记载;对光的反射规律的总结;希腊人阿基米德发现的浮力定律等都已有了2 000多年的历史。观察毕竟是最简单的方法,古代人对许多自然现象的观察都只能停留在感性认识的初级阶段,而无法从中总结出规律进而上升为理论。在16世纪以前的漫长时间里,科学的发展极其缓慢,似乎在渡过它的休眠期。

16世纪中叶,商业资本主义在欧洲得到迅速发展,特别是机械、航海、军事等方面

都向科学提出了各种迫切要求。也正是在这个时期,人类创造了**实验**的方法,从此科学的脚步就再也没有减缓过。意大利科学家伽利略在比萨斜塔所做的落体实验,开创了实验方法的先河。实验方法是科学上的一项重大进步。由于实验方法的诞生,物理学才从各门科学及哲学的混合物中升华出来,从而成为一门独立的学科。

我们把观察和实验所得到的结果称为**事实**,事实是构造科学知识这座宏伟建筑的砖石。人类通过不断的观察和实验,逐步积累起大量事实,用来建造科学的大厦。事实好比拼图板游戏中的碎片,科学要做的游戏就是找到这些碎片之间的固有关系,并按正确的方式把它们拼起来。对大量事实进行分析、归纳、抽象和概括,最后用精炼的语言把事实之间相互联系的模式表述出来,这叫作**定律**。如我们熟知的阿基米德浮力定律;开普勒行星运动定律;牛顿运动定律等都是事实的总结。定律不但确认了先前互不相关的各事实之间存在可重复的规律性,因而使人类获得的知识产生联系并得到简化;同时定律也提示人们,这些规律性可能存在于未曾观察到的现象之中。可以毫不夸张地说,观察与实验是物理学发展的源泉。

用一个或几个普遍定律去代替其他更多的定律,这种情况在历史上已经发生过多次。比如,开普勒行星运动定律和伽利略落体定律最终都被包含在牛顿运动定律之中。这些少数的普遍化的定律构成了科学知识概念性组织的更高层次,我们称之为**理论**。今天,许多领域的物理学理论已经建立,每一种运动形式只用少数几个普遍化定律就能解释其所有现象。经典力学由牛顿的三个运动定律就可表述;经典电磁学也被麦克斯韦总结为四个方程;宏观热现象也只有三条定律;狭义相对论则仅从两条基本假设出发就得全部建立。在寻找定律进而建立理论的过程中,科学家们使用的方法不外乎**假说**、**推理**和**演绎**。恩格斯曾断言:“只要自然科学在思维着,它的发展形式就是假说。”在物理学的发展史上,曾出现过不少著名的假说。如安培分子电流假说;麦克斯韦涡旋电场和位移电流假说;狭义相对论基本假设;普朗克量子假说;乌伦贝克电子自旋假说等,都在物理学发展的过程中起到过里程碑的作用。我们必须明确,假说是一种思维方式的结晶,但绝不是无的放矢的空想。假说以事实为依据,在事实没有得到可靠的解释之前,为了概括所获得的全部经验材料,假说就作为一种暂时性的方案被提出。假说能否反映真实的客观规律,能否站得住脚,最终只能靠实践来检验。只有当假说能够说明已有的全部事实,并且它的逻辑推论又为以后的实践所证实时,它才能成为可靠的理论,否则假说就会被修正或抛弃。逻辑推理是又一种重要的思维方式,它是从假说出发,推得未知现象之结果的思维过程,而演绎则是推理采用的主要形式。推理和演绎是进行理论工作时必不可少的重要手段。如麦克斯韦对电磁波的预言;量子力学对正电子的预言;狭义相对论对物质静能的预言等,都是逻辑推理的成功典范。经逻辑推理而得出的结论,其真理标准仍然是实践。

纵观物理学的建立和发展过程,其使用的方法大致可概括如下:首先经观察和实验得出事实,进而对事实进行抽象性和概括性的总结并提出假说和建立定律,再由此出发

进行逻辑推理和演绎使之上升为理论。理论再经实践的检验,去粗取精,去伪存真,不断得到修正和完善。

近半个世纪以来,现代物理学所研究的课题越来越复杂,比如,粒子物理中对撞机的使用,航空航天设备的研制与发射等等无一不是大规模的系统工程,物理学的成就越来越显示出集体劳动的共同成果。信息的储存、交流和反馈,计算机网络和现代化通信设备的应用,自动化操作系统的实施,理论人才、实验人才、工程技术人才和管理人才的协同配合等越来越显示出其重要意义。因此,在现代物理的研究中,除上述那些传统的方法之外,信息论、系统论、控制论和协同论的方法已成为必不可少的研究手段。

必须指出,由于受到观察角度和观察环境的制约以及实验条件和实验精度的限制,反映任何一种运动形式的已有理论,总带有一定的近似性和局限性,它们都只在一定程度上和一定范围内反映客观实际的规律性。我们在学习和应用物理学理论的时候,一定要牢记这一点,绝不可把任何一门理论的适用范围无限地外推。比如,关于气体的热力学理论只适用于可看作理想气体的系统。再如,经典力学只在宏观低速条件下才是正确的,在高速情况它要让位给狭义相对论,在微观领域它又被量子力学所取代。

### 三、物理学与其他学科及工程技术的关系

早期的自然科学史表明,自然科学的产生与发展完全是由于生产实践的需要。在以农业为主要生产方式的古代,人类需要知道气象、天文和水利等方面的知识,因此天文学、水利学被最早地发展起来。土地的丈量需要几何知识,因此欧几里德几何学早在两千多年以前就得到了相当程度的发展。不过在那个时代,由于生产水平和认识水平所限,人类对自然的认识只能停留在一些表面的肤浅的观察上,科学与哲学常常混在一起,带有明显的思辨性质。16世纪中叶,科学从思辨走向实验,物理学才真正成为一门精密的科学。在那之后,生产和生活实践不断向物理学提出新课题,促进了物理学的发展。反过来,物理学的新发现,它所产生的新概念及新理论又常常发展为新的学科或学科分支。物理学理论与实验方法向其他学科或技术领域的渗透,几乎毫无例外地促成该学科或技术领域发生革命性的变化与进步。历史上,几次重要的技术革命都是以物理学的进步为先导。17、18世纪,机械工业的兴起和热机的研究使得经典力学和热力学理论得到完善,最终导致了以蒸汽机的广泛应用为标志的第一次工业革命,从而使人类进入了使用热能的时代。到了19世纪中叶,电磁理论的完成,使电力与电子工业以及无线电技术得到蓬勃发展,人类进入全面应用电能的时代,这被称之为第二次工业革命——工业电气化。20世纪的前30年里,相对论和量子力学相继诞生,这使人类对原子、原子核以及放射性的认识日益深入,人类开始进入应用原子能的时代。特别是20世纪后半叶以来,物理学与其他学科和技术的联系更加紧密。40年代中期到50年代中期,原子弹产生的冲击波刚刚平息,原子反应堆便如雨后春笋般地在世界各地建立起来,同时人类也开始了可控热核聚变的研究。50年代中期到60年代中期,人造地球卫星发射成功,

人类开始走向外层空间。今天人类早已登上月球,登陆车也在火星表面着陆,空间实验站也建立起来,航天飞机不断起落,人类还向太阳系之外发射了寻求智慧生物的宇宙飞船。60年代中期到70年代中期,从人工合成胰岛素到重组DNA分子,人类开始进入控制遗传和生命的新阶段。目前已达到克隆动物的水平。70年代中期到80年代中期,微处理机在生产和生活中被普遍应用,人类又开创了研究大脑秘密的新纪元。80年代中期至今这十余年的时间里,以各种计算机软件的开发和利用为内容,人类进入了信息时代,有人称之为第三次工业革命。回顾这半个世纪来科学技术突飞猛进、日新月异的发展,每个阶段都与物理学密切相关。核能的开发和利用,是建筑在相对论质能关系的基础之上;空间技术的发展,是引力场理论研究的重要实践之一;生物工程之花,是物理学与生物化学嫁接的产物;微机的出现,依赖的是半导体物理学与集成技术的结合;信息革命得以实现,靠的是光—电、电—光转换机制与激光集成电路技术。物理学提供的理论依据,使许多高新技术日臻完善,极大地发展了生产力;而高新技术与生产力的进步,又反过来为物理学的进一步研究提供了雄厚的物质条件,再一次促进了物理学的发展。

当代物理学的研究成果,在转化为生产力方面的速度越来越快,周期越来越短,有些还能迅速发展成一门新兴工业。科学技术与生产生活实践不断向物理学提出新问题,许多发现发明已很少带有偶然性,而往往是人们有意识、有目的地进行系统研究的结果。当今自然科学发展的重要特征是各学科之间的相互渗透与交叉,这一特征在下个世纪将显得更为突出。半个世纪来,一大批知识密集型的高新技术的崛起,极大地推动了社会生产力的发展,其速度之快、规模之大、范围之广、影响之深远,在历史上是空前的。统计表明,截至1980年,人类积累的知识有90%左右是在近50年中获得的。有人曾预言,到下个世纪初,人类社会获得的知识还将翻一番。

## § 2 物质结构及其相互作用

### 一、物质结构的层次

自古以来,人们就相信宇宙万物都有一个共同的本源。古希腊人泰勒斯认为:“水为万物之本。”我国古代也有万物由“金、木、水、火、土”形成的五行说。大约在公元前550年,希腊人莱乌起保斯和德谟克利特就提出了朴素的原子论。他们认为,物质(当时仅指实物物质)都是由一种最小的不可再分的单元——原子构成。atom一词就来自希腊语,意思是不能再分之物。按照他们的观点,物质虽然可以运动和变化,但原子是永远不变的,是不能被破坏的终极粒子。

古希腊人的朴素原子论大约统治了400年,之后由于基督教的兴起,除亚里斯多德的哲学之外,其他一切都被视为异端邪说,原子论从此逐渐被人们所遗忘。直到文艺复兴时期开始之后,与伽利略同时代的加桑迪才重提原子论。最早用原子论解释物理学和化学现象的是玻义耳。他认为多数物质可由其他物质通过化学反应而得到,但也有一些

特殊物质不能由其他物质通过化学反应来合成,他把这些特殊物质称之为**元素**。进一步,他认为对应各种不同的元素存在着不同的原子。1704年,牛顿在他的《光学》一书中对原子作了如下的描述:“在我看来,似乎上帝在开始创造物质时,就创造了牢固、沉重、坚硬、不可穿透、能够运动、具有这般大小和形状、具有诸如此类的其他性质并且在空间按这样比例配置的粒子,……;这些原始的粒子是坚固的,比起任何由它们组成的疏松实体来是无比坚硬的;它们坚硬到不能损坏和分割;任何寻常的力量都不能分开上帝自己在第一次创造时所造出的任何粒子。”1799年,普劳斯特发现了化学的定比定律;1804年,道尔顿发现了倍比定律,这两个定律都暗示物质是由某种最小单位构成。1809年,盖·吕萨克又发现了气体反应定律。实验中用2L的氢气和1L的氧气化合后,生成了2L的水蒸汽。盖·吕萨克认为,如果假定同温、同压、同体积的任何气体中都含有相同的原子数,则容易说明实验现象。可道尔顿马上发现了问题。若盖·吕萨克的假设成立,设2L的氢气中有 $2N$ 个氢原子,那么1L的氧气中就有 $N$ 个氧原子,生成的水蒸汽也应该是 $2N$ 个,这样每个水蒸汽中就只能是半个氧原子了!这与原子是不可分的前提假定相矛盾。1811年,阿伏伽德罗引入分子的概念,解决了上述矛盾。他认为,构成气体的要素不是原子,而是由几个原子相结合而成的分子;元素的分子由同种原子构成,化合物的分子由几种不同的原子构成。例如氢气分子由两个氢原子构成,氧气分子也由两个氧原子构成,而水分子则由一个氧原子和两个氢原子构成。进而他提出:不论何种气体,在同温同压下,相同体积中所含的分子数(而不是原子数)都相同(阿伏伽德罗假说),这样就圆满地解释了气体反应定律。从这以后,实物物质由分子、原子构成的观点逐渐被人们所接受。1869年,门捷列夫把已发现的各种元素按质量大小排列起来,他发现元素的物理、化学性质大体上呈现出周期性变化的趋势。进而门捷列夫把这些元素按上述周期性重复的方式排成一个表。表中的空位被他认为是尚未发现的元素,他同时也预言了这些元素的物理和化学性质,结果都与后来的发现惊人的符合。元素周期表应该算是早期原子论的最有力证据了。

1858年,普留卡在研究稀薄气体放电的现象中发现从阴极发射出一种不可见的物质,该物质打到阳极上可产生荧光,且该物质在磁场中路径会发生偏转,因而可断定该物质带负电。1876年哥尔德斯坦再次确认了这一现象,并把从阴极发射的物质命名为**阴极射线**。1897年,J. J. 汤姆逊提出大胆假说,他认为阴极射线是由比原子、分子轻得多的带负电粒子形成的高速粒子流。之后不久,人们又发现阴极射线在电场作用下也会发生路径偏转。接着汤姆逊利用阴极射线在电场磁场同时作用下的偏转实验测定了它的荷质比( $m/e$ ),结果表明阴极射线的荷质比与气体种类无关。同电解后的氢原子的荷质比较,发现阴极射线的荷质比只是氢原子荷质比的两千分之一左右。汤姆逊把他假想的粒子称为**电子**。接着他又设计了一系列精巧的实验,最终证实电子所带的负电荷与电解后的氢原子所带的正电荷数值相等,这说明电子质量只有氢原子质量的两千分之一左右。

汤姆逊对电子的发现,是对早期原子论的重大突破。人们开始认识到,原子并不是构成物质的最小单元,原子也有内部结构,它至少包括两种粒子(分别带有正、负电荷)。根据这些,1903年汤姆逊提出了一个原子结构模型:原子质量的绝大部分由一个带正电的粒子所占有,这个粒子的大小就代表原子的大小(约为 $10^{-10}\text{m}$ );而体积与质量都小得多的电子被埋没在这个带正电的粒子内部。汤姆逊的原子模型不能解释1908年卢瑟福所做的 $\alpha$ 粒子散射实验。为了说明 $\alpha$ 粒子的大角度散射现象,1911年卢瑟福提出了原子的有核模型。卢瑟福认为原子中的正电荷和几乎全部质量由一个叫**原子核**的粒子所携带,原子核的大小约为 $10^{-15}\text{m}$ ;带负电的电子则绕核运行,类似行星绕太阳的运动,电子轨道的大小约为 $10^{-10}\text{m}$ 。卢瑟福把最轻的核——氢原子核称为**质子**,并认为其他原子核是由数目不等的质子构成的复合体。可很快就发现了问题:除氢原子以外,其他原子的电中性问题受到了挑战。比如氦,它有两个核外电子,可它的质量却是氢原子的4倍!其他原子都存在类似情况。到了1920年卢瑟福不得不假定,原子核内除了质子之外,还有一种与质子质量相同但却不带电的粒子。1932年,查德威克证实了这种粒子的存在,并为它取名叫**中子**。

1905年爱因斯坦为解释光电效应提出了**光子理论**,1923年由康普顿效应进一步得到证实。1930年狄喇克预言了**正电子**(质量与电子相同,电荷却与质子一样),1932年被安德森在宇宙线中找到。1931年泡利提出**中微子**假设,1953年由来因兹和柯望证实。汤川秀树1935年预言在核内还有 **$\pi$ 介子**,1947年由泊叶尔和拉迪斯证实。坂田昌一、谷川安孝、井上健于1942年预言了 **$\mu$ 介子**。1937年安德森和尼德迈尔在宇宙线中发现一种质量约为电子质量200倍的粒子,当时被误认为是 **$\pi$ 介子**,后来在1947年才由泊叶尔和拉迪斯确认为是 **$\mu$ 介子**。

总之,到1947年为止,人们已经发现和预言了电子、质子、中子、光子、中微子、 $\pi$ 介子、 $\mu$ 介子(后称 **$\mu$ 子**)等基本粒子。正电子被叫做电子的**反粒子**,其他反粒子也被预言。如1930年狄喇克预言了**反质子**,1955年由加利福尼亚小组发现。以上这些粒子连同它们的反粒子一起被称为**第一代基本粒子**。就在1947年,罗彻斯特和巴特拉利用雾室发现两个成“V”字形的径迹,与任何已知粒子的径迹都不相同,这预示着新粒子的发现。从那之后,加速器的能量不断提高,对撞机也被设计出来。另外探测手段也不断提高,由40年代的威尔逊**云雾室**,发展到50年代的**原子核乳胶**,进而是**汽泡室**和**放电室**。这一来,真是让物理学家大开眼界, $\Delta$ 粒子、 $\Sigma$ 粒子、 $\Xi$ 粒子、 $K$ 介子等相继被发现。现在人们把这些称为**第二代基本粒子**。50年代初,人们用 $\pi$ 介子轰击质子,发现质子并不是一成不变的“基本”粒子,它可以有多种不同的状态,称之为**共振态**。之后在重原子核的研究中发现各已知的粒子几乎都有许多共振态。当时对于共振态是不是基本粒子还不能作出回答,人们就暂且把各种共振态统称为**第三代基本粒子**。共振态一出现,基本粒子家族一下子人丁兴旺起来,包括各种共振态在内,一共发现了三百多种基本粒子,而且数目还在逐年增加。这使物理学家们感到十分不安。人们的本意是找到少数几个真正基

本的粒子,用它们的不同组合和相互作用来说明宇宙万物及其运动。但现在一下子出来这么多粒子,而且还在越来越多,到什么时候才是个头呢?共振态现象其实已经在暗示人们,过去认为是基本粒子的东西其实并不基本,它们也有内部结构。于是有些人开始了对基本粒子的资格审查工作。在这方面,最早的比较系统的模型是1956年坂田昌一提出的**坂田模型**。在这个模型中,质子、中子、 $\Lambda$ 粒子被作为**基础粒子**,其他**重子**( $\Sigma$ 、 $\Xi$ 粒子等)和介子被认为是由这三种基础粒子构成的复合体。例如 $\Sigma^+$ 粒子由质子( $p$ )、反中子( $\bar{n}$ )和 $\Lambda$ 粒子构成,记为( $p\bar{n}\Lambda$ ); $\Sigma^-$ 粒子则为( $n\bar{p}\Lambda$ ); $\pi^+$ 介子是( $p\bar{n}$ ); $\pi^-$ 介子是( $\bar{p}n$ )等等。不过坂田模型在构成**轻子**(包括电子、 $\mu$ 子、 $\tau$ 子和各种中微子)时遇到困难。1961年盖尔曼和内曼又提出了由八种基础粒子构成**强子**(重子和介子的统称)的**八重态模型**。这个模型与坂田模型的思维方式是一样的,同时也存在着构成轻子的困难。八重态模型要求有一种新粒子存在,很快在1963年就找到了符合要求的 $\Omega$ 粒子。1964年,盖尔曼、兹维格等人又提出**标准模型**。在这个模型中提出了强子都是由**夸克**粒子构成的假说。理论上认为夸克有三代共六“味”,每“味”夸克又有红、绿、蓝三“色”。于是连反夸克在内,共有36种夸克。需要说明,这里所说的“味”和“色”只是一种类比,意指夸克的不同属性。根据标准模型,重子都由三个夸克构成,质子由两个 $u$ 夸克和一个 $d$ 夸克构成;中子由两个 $d$ 夸克和一个 $u$ 夸克构成。介子都由一个夸克和一个反夸克构成: $\pi^+$ 由一个 $u$ 夸克和一个反 $d$ 夸克构成; $K^+$ 介子由一个 $u$ 夸克和一个反 $s$ 夸克构成; $J/\Psi$ 粒子则由正、反 $c$ 夸克构成等等。标准模型要求夸克具有 $\pm\frac{1}{3}e$ 或 $\pm\frac{2}{3}e$ 的电荷。标准模型提出到现在的30多年时间里,人们还没有办法找到自由状态的夸克。但按照夸克理论计算的结果都与实验符合。1990年8月在新加坡召开的第25届高能物理国际会议上对标准模型曾作过如下结论:“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。”

到现在为止,人们总算理出了一个头绪。基本粒子可分为三大类。

### 1. 规范粒子

**规范粒子**是构成各种场的粒子,也叫**场量子**,它们是传递各种相互作用的媒介。规范粒子被认为共有四类。光子( $\gamma$ )是电磁场的场量子,用以传递电磁作用;**中间玻色子**( $W^\pm, Z^0$ )参与弱相互作用;**胶子**( $g$ )在组成强子及把强子结合成原子核的过程中起作用;**引力子**目前还是人们假想的引力场量子,它是传递万有引力的媒介。

### 2. 轻子

轻子不参与强相互作用。轻子共3代12种(包括反粒子)。第一代是电子( $e^-$ )和**电子型中微子**( $\nu_e$ ),第二代是 $\mu$ 子( $\mu^-$ )和 **$\mu$ 型中微子**( $\nu_\mu$ ),第三代是 $\tau$ 子( $\tau^-$ )和 **$\tau$ 型中微子**( $\nu_\tau$ )。

### 3. 夸克

夸克的第一代是**上夸克**( $u$ )和**下夸克**( $d$ ),第二代是**粲夸克**( $c$ )和**奇异夸克**( $s$ ),第三



代是**顶夸克**( $t$ )和**底夸克**( $b$ )。

在粒子物理的研究方面,还存在很多悬案。如能否打破“禁闭”,释放出自由夸克;能否找到自由胶子;引力子到底存不存在;如何解释夸克和轻子的“代”;中微子的质量等都有待解决。

## 二、物质间的相互作用

**相互作用**在物理学上是指:一个粒子的运动及位置受到周围其他粒子的影响。相互作用也被抽象为物体彼此间施加的力。最初人们把力分为两大类:一类是相互接触的物体互施的力;另一类是相互分离的物体互施的力。后来人们才认识到这两类力的作用机理是一样的。所有相互作用都是通过交换场量子而实现的。按所交换的场量子的种类可以把相互作用分为四种。

### 1. 强相互作用

人类认识强相互作用是从原子核开始的。原子核内有很多质子,按静电斥力,它们应该相互分离,但人们所发现的各种原子核不但十分稳定,而且不用很高的能量很难将它们拆散。于是人们猜想在原子核内部必然存在着某种比库仑力大得多的力,这种力的力程很短,只在原子核的范围内起作用。1935年汤川秀树提出介子理论来解释核力。该理论认为,核子(包括中子和质子)间的强相互作用是通过交换 $\pi$ 介子来实现的。例如一个质子和一个中子间的交换力,既可以是中子从质子周围的介子场中获得一个 $\pi^+$ 介子,也可以是质子从中子周围的介子场中获得一个 $\pi^-$ 介子,或者两种情况同时发生。在上述交换过程中,中子可瞬时地变为质子,质子也可瞬时地变为中子。对于两个同类的核子来说,它们交换的是不带电的 $\pi^0$ 介子。自从标准模型被提出之后,波利策、格罗斯和维尔泽克于1973年又建立了**量子色动力学**。该理论认为,强相互作用首先在夸克之间通过交换胶子把夸克束缚在一起形成核子,进而再通过交换 $\pi$ 介子把核子束缚在一起形成原子核。

强相互作用的范围是 $2.0 \times 10^{-13} \text{m}$ 之内。在此范围之外,强相互作用迅速衰减到可忽略不计的程度。

### 2. 电磁相互作用

电磁相互作用产生于带电粒子之间。电磁相互作用是一种长程力,它可以在相当大的范围内起作用。交接力的思想最早是用来解释电磁相互作用的,后来才被强相互作用所借用。电磁相互作用交换的场量子是光子。电磁相互作用的大小只有强相互作用的 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 。解决电磁相互作用的理论是1945~1948年间由费曼、施温格、朝永振一郎等三人创立的**量子电动力学**。电磁相互作用是目前被人们认识得最清楚且理论最完善的一种相互作用。

### 3. 弱相互作用

已发现的各种粒子,都有自己的**寿命**。质子的寿命约为 $10^{31}$ 年,电子的寿命约为