

大学物理教程

(上册)

徐行可 张 晓 张庆福 编

西南交通大学出版社

·成都·

内 容 提 要

本书是西南交通大学在“大学物理”课程教学改革实践过程中所编写的教材。全书分上、下两册。为加强科学素质教育,本书在内容上压缩经典,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。全书始终融汇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。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程(上) / 徐行可, 张晓, 张庆福编.
—成都:西南交通大学出版社, 2005. 2
ISBN 7-81057-892-8

I. 大... II. ①徐... ②张... ③张... III. 物理学
—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 101606 号

大学物理教程(上册)

徐行可 张晓 张庆福 编

*

责任编辑 刘莉东
封面设计 何东琳设计工作室
西南交通大学出版社出版发行
新华书店 经销

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

E-mail: cbsxx@swjtu.edu.cn

四川森林印务有限责任公司印刷

*

开本: 787mm×1092mm 1/16 总印张: 45.375

总字数: 1123 千字 印数: 1—6000 册

2005 年 2 月第 1 版 2005 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 7-81057-892-8/O·086

套价(上、下册): 49.50 元

图书如有印装质量问题,本社负责退换

本书无四川省版权防盗标识,不得销售;版权所有,违者必究,

举报有奖。举报电话:(028)86636481、87600562

目 录

第一篇 绪 论

第一章 物质世界

| | |
|----------------|----|
| 第一节 基本粒子及其相互作用 | 3 |
| 第二节 物质存在的基本形式 | 9 |
| 第三节 物质与运动 | 14 |
| 本章提要 | 16 |

第二章 物理学理论体系与方法的发展

| | |
|-------------------|----|
| 第一节 物理学理论体系的发展 | 17 |
| 第二节 物理学科学观及方法论的发展 | 20 |
| 第三节 物理学与工程技术 | 22 |
| 本章提要 | 23 |

第二篇 实物的运动规律

第三章 运动的描述

| | |
|----------------|----|
| 第一节 质点和刚体 | 27 |
| 第二节 参考系和坐标系 | 28 |
| 第三节 运动的描述 | 31 |
| 第四节 运动学的两类基本问题 | 47 |
| 第五节 相对运动 | 51 |
| 本章提要 | 55 |
| 习 题 | 56 |

第四章 动量 动量守恒定律

| | |
|--------------|----|
| 第一节 质量和动量 | 60 |
| 第二节 动量的时间变化率 | 64 |
| 第三节 动量定理 | 73 |
| 第四节 动量守恒定律 | 78 |

| | |
|----------------------------|-----|
| 本章提要 | 81 |
| 习 题 | 82 |
| 第五章 角动量 角动量守恒定律 | |
| 第一节 角动量 转动惯量 | 86 |
| 第二节 角动量的时间变化率 | 94 |
| 第三节 角动量定理 | 99 |
| 第四节 角动量守恒定律 | 102 |
| 本章提要 | 109 |
| 习 题 | 110 |
| 第六章 能量 能量守恒定律 | |
| 第一节 动能 功 动能定理 | 114 |
| 第二节 保守力 势能 功能原理 | 122 |
| 第三节 机械能守恒定律 | 129 |
| 本章提要 | 126 |
| 习 题 | 137 |
| * 第七章 对称性与守恒定律 | |
| 第一节 对称性和对称性原理 | 142 |
| 第二节 对称性与守恒定律 | 147 |
| 第三节 对称性的自发破缺 | 150 |
| 本章提要 | 155 |
| 第八章 相对论 | |
| 第一节 力学相对性原理 伽利略变换 | 156 |
| 第二节 狭义相对论的基本原理 洛仑兹变换 | 160 |
| 第三节 狭义相对论时空观 | 167 |
| 第四节 狭义相对论动力学基础 | 180 |
| * 第五节 广义相对论简介 | 187 |
| 第六节 相对论的意义 | 199 |
| 本章提要 | 201 |
| 习 题 | 203 |

第三篇 相互作用和场

第九章 电相互作用和静电场

| | |
|--------------------|-----|
| 第一节 库仑定律 静电场 | 209 |
|--------------------|-----|

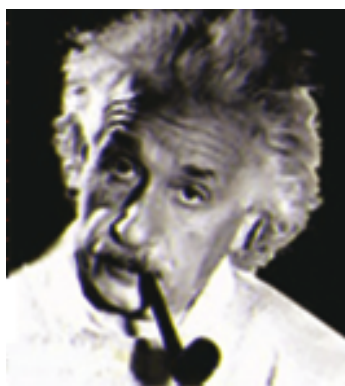
| | | |
|--------|-------------------|-----|
| 第二节 | 电场强度 | 213 |
| 第三节 | 高斯定理 | 220 |
| 第四节 | 环路定理 电势 | 228 |
| 第五节 | 场强与电势的关系 | 234 |
| 第六节 | 静电场中的导体 | 237 |
| 第七节 | 静电场中的电介质 | 242 |
| 第八节 | 电容 电容器 | 247 |
| 第九节 | 静电场的能量 | 251 |
| 第十节 | 稳恒电场 | 254 |
| | 本章提要 | 257 |
| | 习 题 | 260 |
| | | |
| 第十章 | 运动电荷间的相互作用和稳恒磁场 | |
| * 第一节 | 运动电荷间的相互作用 | 268 |
| 第二节 | 磁感应强度 毕奥-萨伐定律及其应用 | 274 |
| 第三节 | 磁场的高斯定理和安培环路定理 | 279 |
| 第四节 | 磁场对运动电荷及电流的作用 | 287 |
| 第五节 | 磁介质 | 298 |
| * 第六节 | 铁磁质 | 303 |
| | 本章提要 | 307 |
| | 习 题 | 308 |
| | | |
| 第十一章 | 变化中的磁场和电场 | |
| 第一节 | 电磁感应 | 313 |
| 第二节 | 磁场能量 | 328 |
| 第三节 | 位移电流 | 331 |
| 第四节 | 麦克斯韦方程组的积分形式 | 335 |
| | 本章提要 | 338 |
| | 习 题 | 340 |
| | | |
| * 第十二章 | 引力相互作用, 强、弱相互作用 | |
| 第一节 | 引力场 | 345 |
| 第二节 | 强相互作用简介 | 347 |
| 第三节 | 弱相互作用简介 | 349 |
| | 本章提要 | 351 |
| | | |
| 附录 A | 国际单位制和物理量的量纲 | 352 |
| 附录 B | 矢量简介 | 356 |
| 习题参考答案 | | 361 |

第一篇

绪 论

发展独立思考和独立判断的一般能力，应该始终放在首位，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，并且学会了独立的思考和工作，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



Albert Einstein.

(1879—1955)

第一章

物质世界

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像呢？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。

第一节 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(德谟克利特)。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地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认识的不断深入，“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

(一) 质量

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 9.11×10^{-31} 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

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

(二) 电荷

粒子的电荷以质子电荷 e 为单位，即

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

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。

(三) 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。它描述粒子相关但不同于经典自旋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，而

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

粒子可按其自旋划分为两类：自旋角动量为 \hbar 的整数(1, 2)倍的粒子称为玻色子，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)倍的粒子称为费米子，它们遵从泡利不相容原理，服从费米—狄拉克统计规律。

(四) 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称为粒子的寿命。例如，自由中子的寿命为 900 s， π^+ 介子的寿命为 10^{-9} s，共振态粒子的寿命约为 10^{-24} s，等等。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，并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) |

(一) 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。

(二) 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)。

(三) 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 10^4 N。强力在粒子间距离为 $10^{-15} \sim 0.4 \times 10^{-15}$ 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)。

(四) 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

经企图把万有引力和电磁力统一起来，但没有成功。格拉肖、温伯格和萨拉姆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。三人共同获得 1979 年诺贝尔物理奖。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，下一步便是寻求把这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。

三、基本粒子的分类

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

(一) 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 | $80\ 600 \pm 400$ | ± 1 | 1 | $(2.93 \pm 0.18) \times 10^{-25}$ | 弱 |
| | Z^0 | $91\ 161 \pm 31$ | 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 |

(二) 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 | $\frac{1}{2}$ | $(2.197\ 03 \pm 0.000\ 04) \times 10^{-6}$ 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 | $\frac{1}{2}$ | $(0.303 \pm 0.008) \times 10^{-12}$ s |
| | τ 型中微子 | ν_τ | <35 | 0 | $\frac{1}{2}$ | ? |

(三) 夸克

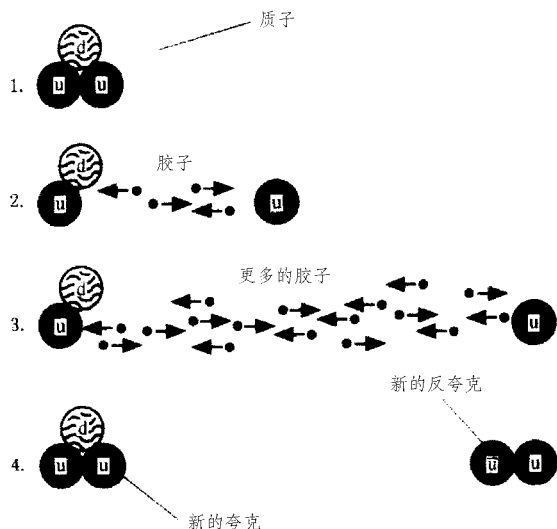
我们把参与强相互作用的粒子称为强子。强子又可按其自旋的不同分为两大类：自旋为半整数的统称为重子，如质子、中子和各种超子；自旋为整数的统称为介子，如 π 介子、K 介子等。实验中已发现的数百种粒子中绝大部分是强子或强子的共振态。共振态即较稳定的强子激发态。共振态的存在说明强子是有内部结构的，其他许多实验也说明了这一点。如 1955 年用高能电子束测出质子的电荷和磁矩并不集聚于一点，而是有大约 0.8×10^{-15} m 的分布半径；1968 年又发现用高能电子轰击质子时，电子发生大角度散射（这与卢瑟福发现原子核式结构的 α 粒子散射实验的情况很相似），等等。1964 年盖尔曼等人提出强子都是由更基本的夸克组成的标准模型。这种理论在许多方面都取得很大的成功并获得 1969 年诺贝尔物理奖。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 $1/2$ ，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 | 约 300 | 2/3 | 1/2 |
| | 下夸克 | d | 约 300 | -1/3 | 1/2 |
| 二 | 粲夸克 | c | 约 1 500 | 2/3 | 1/2 |
| | 奇异夸克 | s | 约 450 | -1/3 | 1/2 |
| 三 | 顶夸克 | t | 约 174 000 | 2/3 | 1/2 |
| | 底夸克 | b | 约 5 000 | -1/3 | 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。例如，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（见图 1.1.1）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。目前对物质大分子以下结构层次的认识如图 1.1.2 所示。

在基本粒子问题上还存在着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也越来越高。现在世界上最大的固定靶加速器在美国的费米实验室，它的能量可达 1 TeV（见图 1.1.3）；最大的质子—反质子对撞机也在费米实验室，能量为 2 TeV；最大的正负电子对撞



1. 假定从质子中的三个夸克开始。
2. 现在开始将其中一个夸克拉开。胶子在夸克之间运动。
3. 随着夸克被拉得越远，会产生越多的胶子，夸克之间的力就越来越强。
4. 最后，所有胶子的能量（强力场的能量）会产生出一对夸克—反夸克对；新的夸克使质子恢复原貌，而新的反夸克与原来的夸克结合起来形成一对不稳定的夸克—反夸克对。

图 1.1.1 无法分离出夸克的原因

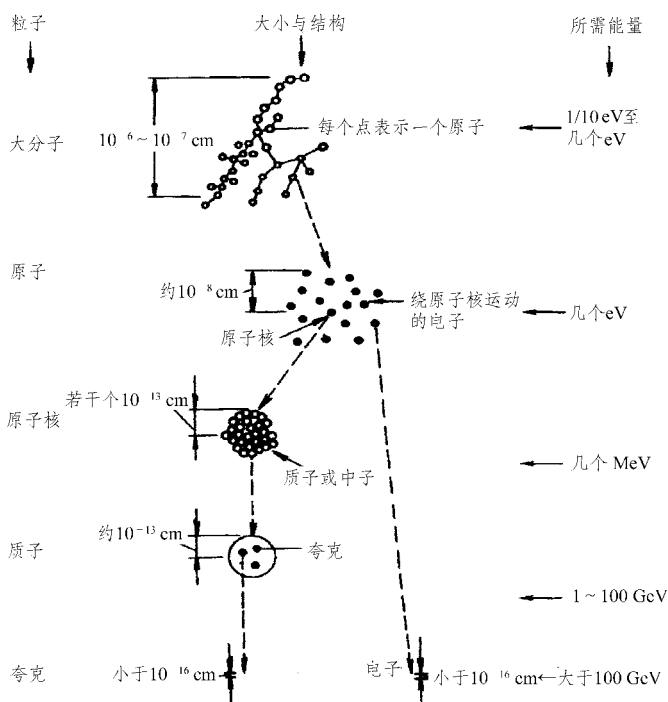


图 1.1.2 大分子以下的结构层次

机在西欧的原子核研究中心，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。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状况如表 1.1.5 所示。当然，随着人类对物质世界结构认识的深化，这张表的内容还会发展和更新。



图 1.1.3 美国费米国家实验室的大型加速器外景
(加速器的直径为 2 000 m)

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 | 规范场理论量子电动力学 |
| 引力 | 全部 | 引力子 | 广义相对论 |

复习思考题

- 1.1.1 什么是基本粒子？ α 粒子是基本粒子吗？ β 粒子呢？
- 1.1.2 粒子间的基本相互作用有哪些？按相对强度的大小由大到小排列起来。
- 1.1.3 目前，标准模型理论认为基本粒子有多少种？分为哪三大家族？
- 1.1.4 为什么研究基本粒子必须有高能加速器？举出你所知道的加速器的种类。
- 1.1.5 搜集关于粒子探测器的资料，从中了解教材中所提到的逼近探测、径迹探测和量热探测的含义。

第二节 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在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。

一、实物物质

实物具有静止质量，占有一定空间，是以空间间断形式存在的物质形态。

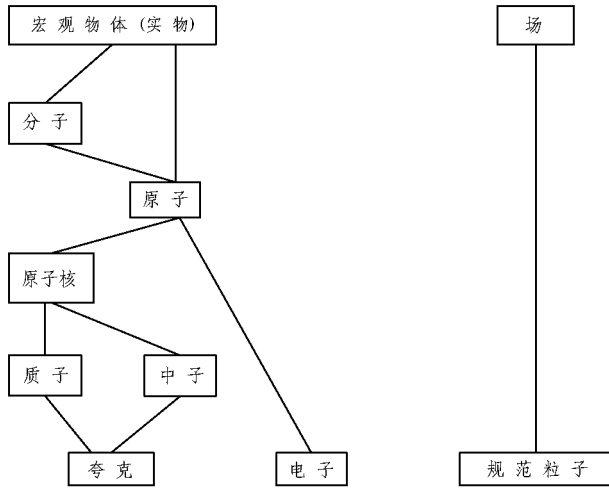


图 1.2.1 物质结构层次

按照其空间尺度，实物物质可以划分为宏观和微观两大类。宏观客体的线度在 10^{-7} m 以上，其下限相当于有机化合物中大分子的尺寸，在普通显微镜下可以看见。微观客体的线度在 10^{-7} m 以下，包括原子、中子、质子、电子，等等。实物物质的空间尺度阶梯如表 1.2.1 所示。图 1.2.2 和 1.2.3 给出了仙女座大星云和脱氧核糖核酸(DNA)模型的尺度。

表 1.2.1 实物的空间尺度阶梯(单位: m)

| | | | |
|----------|----------------------|-----------|---------------------|
| 已观测的宇宙范围 | 约 10^{27} | 植物与动物线度 | $10^{-7} \sim 10^2$ |
| 星系团半径 | 10^{24} | 人的身高 | 约 10^0 |
| 银河系半径 | 7.6×10^{20} | 人类红血球细胞直径 | 10^{-6} |
| 太阳系半径 | 5.9×10^{12} | 原子 | 10^{-10} |
| 地球平均半径 | 6.4×10^6 | 原子核 | 10^{-14} |
| 珠峰高度 | 8.8×10^3 | 电子经典半径 | 10^{-15} |
| (普朗克长度) | | | 10^{-35} |



图 1.2.2 仙女座中的大星云
也称 M-31，其直径约为 125 000 光年(10^{21} m)，它包含的星球多于 10^{11} 个

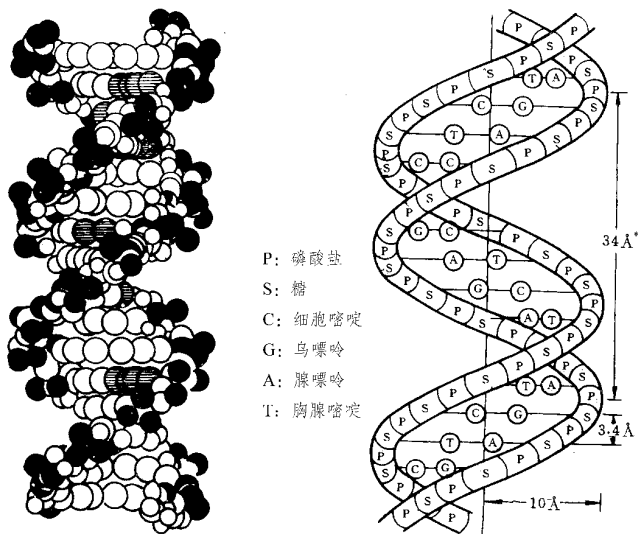


图 1.2.3 克里克—沃森的脱氧核糖核酸(DNA)模型

宏观物质与微观物质不仅是尺度大小上的差别，它们的基本性质和遵从的规律也根本不同。一般说来，宏观客体显示粒子性，服从因果律，其运动规律可以用牛顿力学(或在更普遍的范围用相对论力学)来描述；而微观客体显示波粒二象性，服从统计规律，其运动规律要用量子力学来描述。*

宏观客体都是由为数众多的微观粒子聚集而成的。大量微观粒子在一定温度、压力等外界条件下聚集而成的稳定结构状态叫做物质的凝聚态，简称物态。图 1.2.4 是目前设想的物态总图，我们简要说明如下：

固态 当物质分子热运动动能远小于分子间相互作用的势能时，分子力的作用占到主要地位，分子热运动降到次要地位，物质粒子(分子、原子或离子)只能在各自的平衡位置附近作微小振动，这就是物质的固态。处于固态的物质称为固体。固体具有一定的形状和体积，根据所受外力被撤销时其形状能否完全恢复原状可以划分为弹性体和塑性体。根据内部结构是否规则有序可以划分为晶体和非晶体。

液态 当物质分子热运动动能与分子间相互作用的势能相当时，分子力足以建立起分子间暂时的局部结构，即“近程有序”结构，但分子仍有较大活动余地，分子间的“伙伴”关系不断随时间改变，“定居”与“搬迁”交替进行，这就是物质的液态。处于液态的物质称为液体。液体具有一定的体积但无一定的形状，具有流动性，在重力场中总是自动倾向于保持水平表面。近程有序程度相当高的液体兼有液体

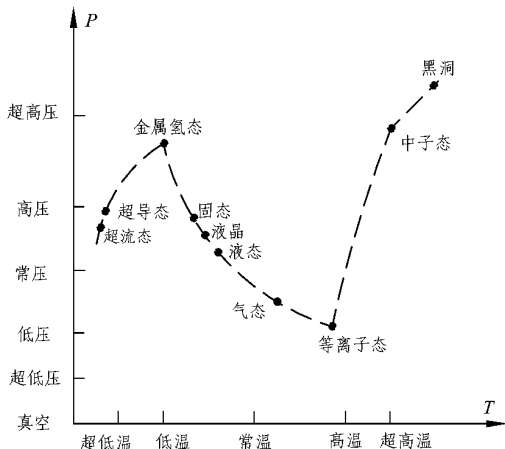


图 1.2.4 设想的物态总图

* $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$

和晶体的某些特性(如流动性、各向异性等),称为液晶。液晶广泛应用于数字、图像显示及温度测量等方面。法国科学家德然纳关于液晶的理论获得了 1991 年诺贝尔物理奖。

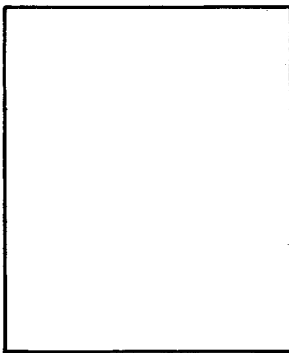
气态 在物质分子热运动动能远大于分子间相互作用的势能条件下,分子位置彼此无关联,物质处于完全无序的气态,称为气体。气体没有固定的形状和体积。在不与外界发生任何相互作用(如重力场、磁场作用)时,气体会自动趋向于稳定均匀的平衡状态,各个分子出现在容器某处,速度朝某方向的机会都完全相同,对称性最高。在物理学中常以理想气体为模型,用统计方法描述气体分子的运动规律。

等离子态 等离子态是由正离子和电子组成的物态,其整体呈电中性并具有高温、高流动性和高导电性。从地球的电离层向外的整个宇宙中,绝大部分物质以天然等离子态存在。如太阳和所有恒星、星云都是等离子体。地球上,只有闪电、极光是天然等离子体形成的自然现象。但人造等离子体应用很广,如霓虹灯、电弧、日光灯、磁流体发电和受控热核反应装置中的工作物质都是等离子体。

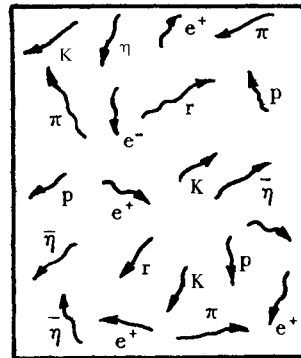
“超”态 如在超低温条件下出现的直流电阻为零的状态称为超导态;粘滞系数为零的状态称为超流态;在超高压条件下,非金属原子中的价电子被“挤”出来成为公有化电子,从而非金属材料具有了金属特性的状态称为金属氢态;在超高温、超高压条件下,原子中的电子被“挤”进原子核内与质子结合成中子,形成的完全由中子组成的高密集状态叫做超固态或中子态,等等。对形形色色的“超”态的规律和本质的研究都是现代物理的重要课题。

反物质 由于已经发现 300 多种正、反成对出现的粒子,科学家们预测宇宙中有由反粒子组成的反原子、反分子和反物质星体存在,但尚未得到证实。

真空态 按照现代物理的观点,真空中可以不断地发生正、反粒子对的虚产生和湮灭,所以物理学家们认为真空也是物质存在的一种形态。图 1.2.5 是目前设想的真空图像。人们正试图用输入能量的办法来激发真空,从而揭示真空的性质。



(a) 曝光时间是够长的真空图片,所有的涨落都消去了,真空变得似乎很宁静



(b) 如果曝光时间很短,那么,就可以看到所有涨落,真空变得很复杂

图 1.2.5 对真空的认识

相 是指物质系统内物理性质完全相同的均匀部分,它和其他部分之间有明确的分界面。相和物态是不同的物理概念,不同的物态肯定是不同的相,同一物态也可能有几种相。例如,物质的气态只有无序结构,多种气体混合也只能形成一个均匀的单相。物质的液态长程无序,一般只有一个相,但液氦有氦 I 和氦 II 两个相。两种液体均匀混合形成一个均

匀相，若不能混合(如水和油)就形成两种相。固体的晶态可以有多种结构，每一种结构都是不同的相：硫晶体有单斜晶系和正交晶系两种相；铁晶体有 α 铁、 γ 铁和 δ 铁等相，如此等等。

相变 在一定条件下，物质不同相之间的相互转变叫做相变。相变分为两类：

第一类相变 若体积变化，并伴随热量的吸收或释放的相变称为一级相变或结构相变，所吸收或释放的热量叫做相变潜热。熔化和凝固、汽化和液化、升华和凝华都是一级相变的实例，汽化热、熔解热都属于相变潜热。

第二类相变 若体积不变，也不伴随热量的吸收或释放，只有某些物理量(如热容量、热膨胀系数等)发生突变的相变称为二级相变，也称为特性相变或连续相变。如无外磁场时导体正常态和超导态间的转变，在临界温度(居里点)磁介质的顺磁相和铁磁相之间的转变，都属于二级相变。

二、场物质

场没有确定的空间范围，是以连续形式存在着的物质形态。

与实物存在形式的多样性一样，场的存在形式也是多样的，如电磁场、引力场、胶子场，等等。场与实物一样具有质量、动量、能量，一样遵从能量守恒、动量守恒等物质运动的普遍规律。

场与实物的最主要区别是实物具有不可入性，一种实物所占据的空间不能同时为其他实物所占据；而场具有可叠加性，场总是弥漫在一定的空间范围，几个场可以同时存在于同一空间内而且互不干扰。另外，实物的质量密度较大而场的质量密度很小；实物的运动速度不能达到光速而电磁场一般以光速传播；实物受力可以产生加速度而场却不能被加速；实物可以作为参考系而场不能作为参考系。

引起场与实物差别的根本原因是组成它们的基本粒子具有不同的特性。组成场的规范粒子(场量子)都是自旋为整数的玻色子，不遵从泡利不相容原理；而组成实物的粒子是自旋为半整数的费米子，遵从泡利不相容原理。在近代物理中描述它们的动力学方程是完全不相同的。

三、实物与场的相互联系

应该说明，与基本粒子的概念一样，所谓物质存在的基本形式也是一个相对的概念。是相对于我们迄今为止的认识水平而言的。随着科学的发展，我们可能会发现更基本的物质形态。事实上，人们已经越来越清楚地认识到实物和场是密切联系、不可分割的。

首先，任何实物物质周围都存在相关的场，场是传递实物间相互作用的媒介。正是间断的物体和其周围空间总存在着的传递相互作用的场构成了物质的间断性和连续性的统一。

其次，实验已经证实，场和实物可以相互转化。如电子和正电子相遇将湮灭而转化为光子，即转化为电磁场。反过来，高能光子在原子核的库仑场中也可以转化为正负电子对，即转化为实物粒子。

第三，微观实物粒子和场量子都具有波粒二象性。这一点将在第五篇中加以阐明。