

●李恒成 著

基本粒子结构 原子核结构及 万有引力的动力学原理



●东北林业大学出版社

基本粒子结构、原子核结构 及万有引力的动力学原理

李恒成 著

东北林业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

基本粒子结构、原子核结构及万有引力的动力学原理/李恒成著. —哈尔滨:东北林业大学出版社,2001. 12

ISBN 7-81076-276-1

I. 基... II. 李... III. ①基本粒子-结构②核结构③万有引力定律-动力学 IV. ①O57②0314

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 006253 号

责任编辑:孙跃岐

封面设计:戴 千



NEFUP

基本粒子结构、原子核结构
及万有引力的动力学原理

Jiben Lizi Jiegou Yuanzihe Jiegou
Ji Wanyou Yinli De Donglixue Yuanli
李恒成 著

东北林业大学出版社出版发行
(哈尔滨市和兴路 26 号)

东北林业大学印刷厂印刷
开本 787×1092 1/32 印张 4.125 字数 89 千字
2001 年 12 月第 1 版 2001 年 12 月第 1 次印刷
印数 1—1 000 册

ISBN 7-81076-276-1
O·57 定价:20.00 元

献给自然科学的探索者

简单的事情考虑得很复杂，可以发现新领域；把复杂的现象看得很简单，可以发现新定律。

——牛顿

提出一个问题往往比解决一个问题更重要，因为解决问题也许仅是一个数学上或实验上的技能而已，而提出新问题、新的可能性、从新的角度去看旧的问题，却需要有创造性的想像力，而且标志着科学的真正进步。

——爱因斯坦

创新——就是善于冲破旧的传统观念对我们的束缚，使思想得到解放。

——作者

本书所用的物理常数 (SI)

物理量	符号	量 值	单位
真空中光速	c	$2.997\ 924\ 58 \times 10^8$	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
电子电荷	e	$1.602\ 192 \times 10^{-19}$	C
普朗克常数	h	$6.626\ 0 \times 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$
	$\hbar = \frac{h}{2\pi}$	$1.054\ 6 \times 10^{-34}$	$\text{J} \cdot \text{s}$
库仑常数	k_0	8.988×10^9	$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7}$	$\text{N} \cdot \text{A}^{-2}$
牛顿引力常数	G	$6.672\ 0 \times 10^{-11}$	$\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
电子静质量	m_e	$9.109\ 56 \times 10^{-31}$	kg
质子静质量	m_p	$1.672\ 61 \times 10^{-27}$	kg
中子静质量	m_n	$9.674\ 82 \times 10^{-27}$	kg
玻尔磁子	μ_B	$9.274\ 078 \times 10^{-24}$	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
核磁子	μ_N	$5.050\ 824 \times 10^{-27}$	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
电子磁矩	μ_e	$-9.284\ 3 \times 10^{-24}$	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
质子磁矩	μ_p	14.11×10^{-27}	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
中子磁矩	μ_n	-9.66×10^{-27}	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
氘核磁矩	μ_d	4.33×10^{-27}	$\text{A} \cdot \text{m}^2$
玻尔半径	a_0	$0.529\ 166 \times 10^{-10}$	m
	$1\ \text{eV}_0$	1.602×10^{-19}	J
		$1\ \text{eV}_0 = 10^6\ \text{eV}$	
		$1\ \text{GeV} = 10^9\ \text{eV}$	
		$1\ \text{fm} = 10^{-15}\ \text{m}$	

前 言

将强相互作用力、弱相互作用力、万有引力与电磁力统一起来的理论也叫“大统一理论”。这种试图用一个数学模式建立起来的完美理论还未出现，因为人们对于基本粒子、原子核的结构和动力原理还不清楚，对于万有引力的本质也不清楚。人类用智慧建立起来的理论是否可以解决“四种力的统一”呢？作者通过长期研究和探索写出了《基本粒子结构、原子核结构及万有引力的动力学原理》这本专著，可供人们参考。

在本书第一章中，通过相对论动力学原理和高速运动的最基本带电粒子—正负电子在相对论状态下，所表现出来的物理性质，提出了质子、反质子、中子、反中子、 π 介子以及原子核的动力学原理和结构，揭示了物质的质量是由正负电子的相对论质量所决定的这一自然规律，从而真正了解了爱因斯坦提出的著名定律 $E = mc^2$ 的本质。

本书首次提出具有磁矩的基本粒子之间产生的磁耦合力是基本粒子结构和原子核结构中的基本作用力。磁耦合力与库仑力相比，是个短程力，也是强相互作用力。正负电子是构成物质的最基本粒子；正负电子的电荷也是最基本的电荷单位，而且是量子化的。本书把相对论动力学原理与基本粒子结构有机地联系在一起，使我们知道了，物质的质量是由正负电子的相对论质量决定的。爱因斯坦在狭义相对论中提出的基本定律，诸如质量与速度的关系，能量与质量的关

系，即 $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$ ， $E = mc^2$ ，反映了物质存在的形式和本质。

在第二章“库仑万有引力定律”中，从牛顿万有引力定律出发，引入了基本物理常数和物理量，得到了与牛顿万有引力公式等价的结果，从而反映了万有引力产生本质的基本公式；这就是用电场描述引力场的基本定律——库仑万有引力定律。

由于本人水平有限，本书难免有不足和疏漏之处，但是，作为一本有启发性的科技专著，本书也不乏其味。

在整理文稿过程中，承范振威先生协助，谨致谢意。

对本书内容，肖度元先生、申立国先生提出了宝贵意见，在此表示感谢。

李恒成

2001年4月

目 录

1 基本粒子结构与原子核结构的相对论量子电动力学原理	(1)
1.1 相对论中的基本粒子	(1)
1.2 电子的相对论动力学原理	(2)
1.3 基本粒子的磁相互作用原理	(7)
1. 质子与中子之间的磁耦合力	(9)
2. 氢原子中, 质子与电子之间的磁耦合力与库仑力	(11)
1.4 基本粒子的相对论电磁结构	(13)
1. 质子结构	(14)
2. 反质子结构	(21)
3. 中子结构	(26)
4. 反中子结构	(34)
1.5 π 介子的相对论动力学原理	(39)
1.6 原子核的电磁结构	(55)
1. ^2H 核电磁结构	(56)
2. 原子核电磁模型	(65)
3. ^3H 核电磁结构模型	(66)
4. ^3He 核电磁结构模型	(67)
5. ^4He 核电磁结构模型	(68)
6. ^6Li 核电磁结构模型	(69)

7.	角动量为整数和半整数的原子核电磁 结构模型	(70)
8.	${}^7\text{Li}$ 核电磁结构模型	(71)
9.	${}^9\text{Be}$ 核电磁结构模型	(72)
10.	${}^{12}\text{C}$ 核电磁结构模型	(73)
1.7	原子核反应电磁结构模型	(76)
1.	中子与质子反应形成氘核	(77)
2.	质子引起的核反应	(78)
3.	中子引起的核反应	(79)
4.	轻核聚变的反应模型	(80)
1.8	中子衰变	(82)
1.9	正负电子对撞	(86)
1.10	做匀速圆周轨道运动的电子辐射	(94)
1.	点电荷的辐射	(94)
2.	一个加速度为 a 的电荷 q 的辐射 功率	(96)
	参考文献	(100)
2	库仑万有引力定律	(102)
2.1	牛顿万有引力定律	(102)
2.2	库仑万有引力定律	(103)
1.	库仑万有引力第一定律公式	(106)
2.	引力场强度	(106)
3.	引力势能	(106)
4.	引力势	(106)
2.3	库仑万有引力第二定律	(109)
1.	库仑万有引力第二定律公式	(112)
2.	引力场强度	(112)

3. 引力势能·····	(112)
4. 引力势·····	(112)
本章参考文献·····	(116)
结束语·····	(117)

1 基本粒子结构与原子核结构的相对论量子电动力学原理

1.1 相对论中的基本粒子⁽¹⁾

把相对性原理同相互作用传播速度的有限性联合起来就是爱因斯坦的相对性原理(爱因斯坦在 1905 年提出这个原理),它不同于伽利略的相对性原理,伽利略的相对性原理是以相互作用的传播速度无限大为出发点的。

以爱因斯坦的相对性原理为基础的力学,称为相对性力学。在极限情况下,当运动物体的速度比光速小很多时,就可以略去传播速度的有限性对于运动的影响。这样一来,相对性力学就变成了普通力学了。普通力学是根据相互作用是瞬息传播这一假定的,这种力学称为牛顿力学或经典力学。在相对性力学的公式中,在形式上使 $c \rightarrow \infty$ 或者物体运动速度 $v \ll c$,就可以由相对性力学过渡到经典力学。

在经典力学中,可以引用刚体概念。所谓刚体,就是在任何情况下都不发生形变的物体。在相对论中,刚体应该相应地被理解为这样一些物体,在它们为静止的那个参考系统中,它们所有的尺寸保持不变;但是很容易看出,在相对论中,刚体的存在一般是不可能的。假设一个外力作用于某一固体的某一点上,使这个物体运动。如果这个物体是刚体,那么,它的所有各点必定与外力作用的一点同时运动,否则物体就要变形了;但是根据相对论,这是不可能的,因为力的作用是以

有限速度从受力作用的点传到另外的点,因而所有的点不可能同时开始运动。

从这些讨论,我们得出关于所谓基本粒子的一些结论。基本粒子就是这样的一个粒子,它在所有物理现象中,只能表现为一个整体,即谈它的某一部分是没有意义的。换句话说,只要把一个基本粒子看做一个整体,并给出它的位置与速度,它的情况就完全确定了。很明显,假如一个基本粒子具有有限的尺寸,那么,它必然不能变形,因为变形的概念与物体的各个部分有独立运动的可能性相联系着,但是,我们刚才已经看到,相对论指出刚体是不可能存在的。因此,我们得到一个重要的结论,即基本粒子不可能具有有限尺寸,而应当把它当做一个几何点。目前,通过实验证据表明电子半径小于 $10^{-16} \text{ cm}^{[2]}$,而且没有发现电子有任何结构;因此,正负电子应当是相对论所要求的最基本的粒子。

1.2 电子的相对论动力学原理

1897年汤姆逊(Thomson G. P.)在气体放电实验中发现了电子,电子是带负电荷的微观粒子。电子带一个静电单位负电荷 $e = -1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$,电子的静止质量为 $m_e = 9.109 56 \times 10^{-31} \text{ kg} = 0.511 00 \text{ MeV}/c^2$,电子的自旋角动量为 $J_s = \frac{1}{2} \hbar$ ($\hbar = \frac{h}{2\pi}$, h 为普朗克常数),电子的自旋磁矩 $\mu_e = -1.001 159 656 7 \mu_B = -9.284 9 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$ ($\mu_B = 9.274 \times 10^{-24} \text{ A} \cdot \text{m}^2$)。用现代的科学实验探测电子的结构时,在 10^{-16} cm 的范围内还没有发现电子有任何结构,所以,电子目前依然是一个很神秘的基本粒子。对于电子的内禀物理性质,目前还无法用第一性理论去认识它。

1932年安德逊(Anderson, C. D.)在宇宙射线中发现了正

电子。它与电子有相同的物理性质,只是带有一个和电子等量而异号的电荷。本书就是从这两个最神秘的基本粒子出发,用相对论动力学原理和正负电子之间存在的电动力学原理及相对论量子化条件来探索其他基本粒子的结构和组成。

在1897年发现电子后不久,1901年考夫曼^[3]从放射性镭放出来的高速电子(β 射线),发现了电子质量随速度而改变的现象。1905年相对论建立后,根据合理的理论推导,承认动量守恒定律,即 $P = mv$ 和能量守恒定律,即 $E = mc^2$ 。但是,质量不再是牛顿力学中的不变恒量,而相对论动力学中的基本粒子的质量 m 与运动速度 v 则有如下关系:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (1.2.1)$$

当粒子静止时, $v=0$, $m = m_0$, 故 m_0 叫做静止质量。当速度 v 增大时, m 便迅速增大,直至 $\lim_{v \rightarrow c} m \rightarrow \infty$ 。

表1.1列出电子 m/m_0 , 随 v/c 变化的几个计算值。图1.1画出了 m/m_0 , 作为 v/c 的函数曲线, 图上还汇集了考夫曼等许多人的实验点, 可见符合是很好的。近年来, 在高能电子加速器的实验中, 当电子能量加速到 20 GeV ($1\text{GeV} = 10^9\text{eV}$) 时, 它的速度 v 离速度极限值——光速 c 不超过 3×10^{-10} (三百亿分之一), 此时, 质量已达到电子静止时的 4 万倍了。

表 1.1 质量变化与速度变化的关系

v/c	0	0.01	0.1	0.5	0.75	0.8
m/m_0	1	1.000	1.005	1.115	1.538	1.667
v/c	0.9	0.98	0.98	0.99	0.998	
m/m_0	2.294	3.203	5.025	7.089	15.82	

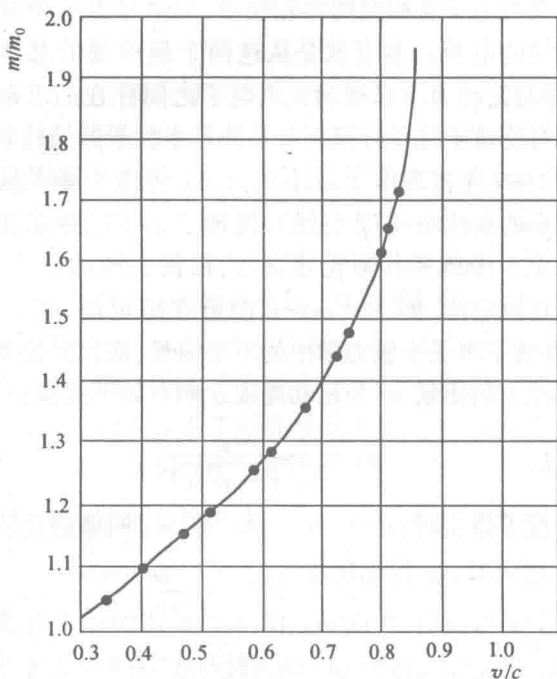


图 1.1 质量随速度而增加的关系

在经典力学中,由于粒子运动速度很低($v \ll c$),则有牛顿方程:^[4]

$$F_x = m_0 \alpha_x = m_0 \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (1.2.2)$$

牛顿方程有一个重要的特点:物体的质量 m_0 是一个不随时间也不随速度变化的常量,因此也可以把上式改写为:

$$F_x = \frac{d}{dt} \left(m_0 \cdot \frac{dx}{dt} \right) = \frac{d}{dt} (m_0 v_x) = \frac{d}{dt} (p_x) \quad (1.2.3)$$

其中

$$p_x = m_0 v_x \quad (1.2.4)$$

p_x 叫做粒子沿 x 方向的动量。动量有三个分量,且一般是个矢量,故记为:

$$\mathbf{P} = m_0 \mathbf{v} \quad (1.2.5)$$

一般粒子在三维空间运动时的方程为:

$$\mathbf{F} = \frac{d}{dt}\mathbf{P} \quad (1.2.6)$$

(1.2.6)式表明,粒子所受的外力等于它的动量随时间的改变率。

动量是一个非常重要的物理量,因为它有守恒性。

在相对论动力学中,高速运动的粒子的惯性质量与速度的关系遵守相对论公式, $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$, 故(1.2.3)式可写成:

$$F = \frac{d}{dt}\left(\frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}\right) = \frac{d}{dt}(mv) = v \frac{dm}{dt} + m \frac{dv}{dt} \quad (1.2.7)$$

上式中, v 越大, m 越大,但是由于速度 v 不能超过光速 c , 即 $v < c$, 因而加速度 $a = \frac{dv}{dt}$ 就越小, 所以对一个已接近光速的粒子来说, 受到外力作用时与其说增加速度 v , 不如说增加质量 m 。当然当 $v \ll c$ 时, (1.2.7)式又回到了牛顿方程, m_0 就是粒子的固有质量。

在相对论力学中, 能量和动量是守恒的, 当粒子速度 $v \ll c$ 时, 将方程(1.2.1)式按幂级展开, 即

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} = m_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} + \dots \right) \quad (1.2.8)$$

其能量为：

$$mc^2 = m_0c^2 + \frac{1}{2}m_0v^2 + \dots \quad (1.2.9)$$

(1.2.9)式就是在粒子速度远远小于光速时($v \ll c$)推出的质量和能量的关系。这也是相对论力学的伟大成就之一。式

(1.2.9)中第二项 $\frac{1}{2}m_0v^2$ 正是经典力学中物体的动能：

$$T = \frac{1}{2}m_0v^2 \quad (1.2.10)$$

这样，一个粒子的能量 E 可以分为两项，一项是粒子在运动时($v \neq 0$)才有的动能，另一项是粒子静止时($v = 0$)具有的能量，叫做静能，记为 E_0 ，即

$$E_0 = m_0c^2 \quad (1.2.11)$$

粒子的总能量

$$E = mc^2 = E_0 + T \quad (1.2.12)$$

相对论告诉我们，粒子的静能 E_0 与质量 m_0 成正比，如(2.11)式所示。当粒子从静止到以 v 速度运动时，它的质量从 m_0 增大为 m ，同时能量也由 E_0 增大到 E ，但不论 v 有多大也超不过光速 c ($v < c$)，但仍保持原来的正比关系：

$$E = mc^2 \quad (1.2.13)$$

一个粒子，当它的速度 v 不小时，其动能 T 一般定义为 E 与 E_0 之差，即能量之增量：

$$T = \Delta E = E - E_0 = (m - m_0)c^2 = \Delta mc^2 \quad (1.2.14)$$

从(1.2.14)式可以看出，运动的物体有了动能，因而它的质量