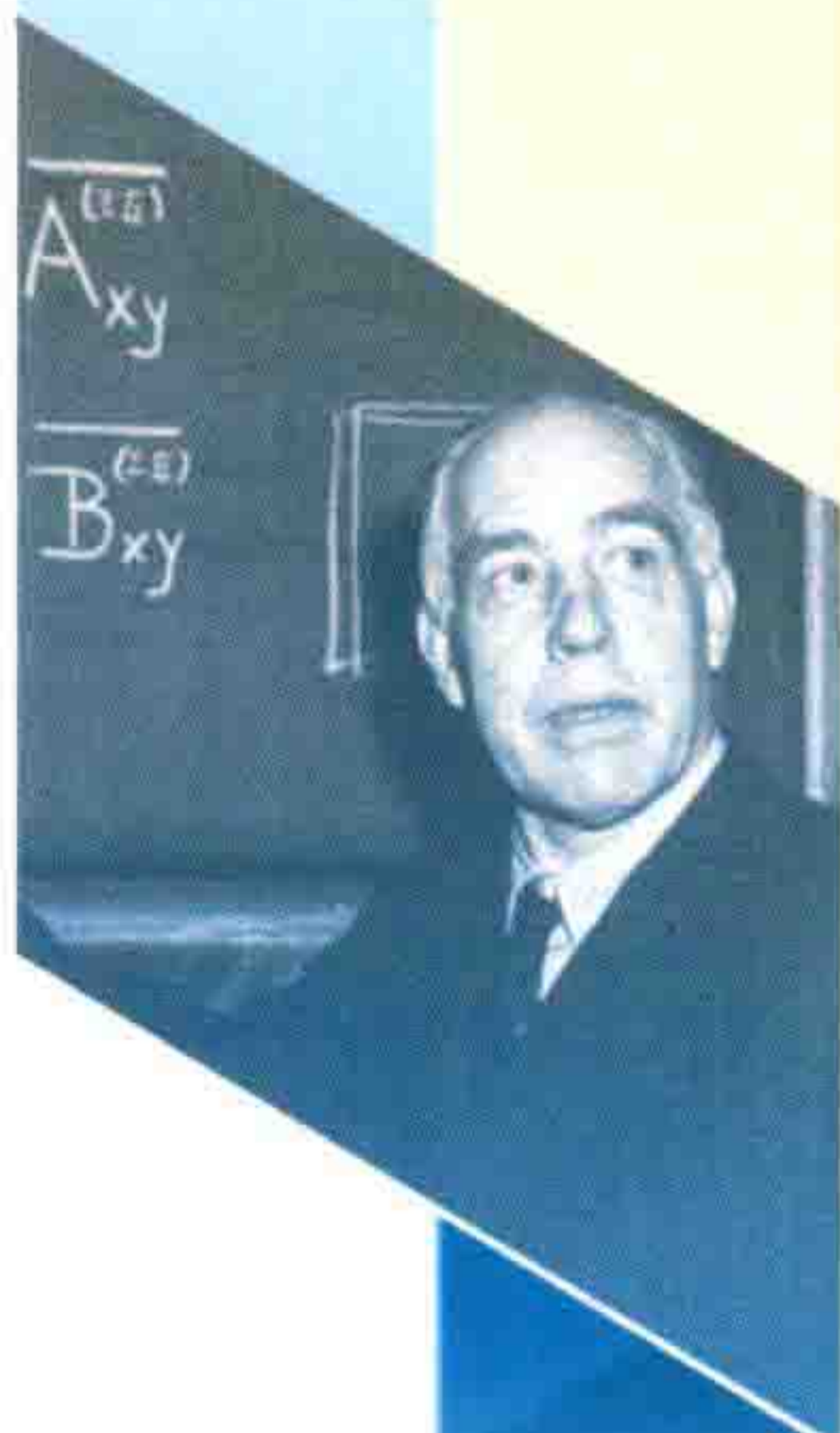


谨以此书纪念
门捷列夫元素周期表
发现**150**周年

化学元素新论

高胜利 杨奇 主编



科学出版社

化学元素新论

高胜利 杨 奇 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是为辅助大学无机化学基础教学而编写，以化学元素为线索讨论了相关知识，并进行适当扩展。全书共 10 章，包括化学元素的起源和合成、化学元素概念的建立及其命名、原子结构模型和原子核壳层模型、多电子原子的电子结构、原子间的作用力——化学键、原子间的另一种作用力——氢键、化学元素的档案、化学元素性质的规律性、化学元素周期表的形成和发展、化学元素周期律的应用。编写中力图体现基础与前沿相结合，力争做到内容丰富与形式活泼，力求达到普及与提高之效。

本书可供高等学校化学及相关专业师生、中学化学教师以及从事化学相关研究的科研人员和技术人员参考使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

化学元素新论 / 高胜利, 杨奇主编. —北京: 科学出版社, 2019.12
ISBN 978-7-03-062407-9

I. ①化… II. ①高… ②杨… III. ①化学元素-基本知识 IV. ①O611
中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 210684 号

责任编辑: 陈雅娴 侯晓敏 / 责任校对: 杨 赛

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京九天鸿程印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 12 月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2019 年 12 月第一次印刷 印张: 43

字数: 1 100 000

定价: 298.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

今年是全国科学大会召开四十周年。四十年来，在改革开放春风的吹拂下，我国的科学和教育事业发生了翻天覆地的变化，出版了不少优秀的大学教材。由西北大学高胜利、杨奇老师主编的《化学元素新论》一书恰逢其时，体现了四十年来我国高校化学教学研究的成果。

这本书以化学元素为线索，从微观的视角和科学的方法论，综合阐述了丰富的科学知识，包含了传统的无机化学、结构化学、中级无机化学、生物化学乃至物理学课程的部分相关内容。该书既介绍了与化学元素相关的重要科学发现，又介绍了相关前沿学科的重大研究进展，特别突出了我国科学家的重要贡献。该书图文并茂、深入浅出，将教学和科研、基础和前沿紧密结合，不仅可以作为教学参考书，而且也是一本科研参考书和高层次的科普书，相信会受到相关教师、学生以及科研工作者的欢迎。

根据教育部的部署，教育部高等学校化学类专业教学指导委员会近十余年来制订和出版了化学类专业的“专业规范”和“质量标准”，其中的教学内容包含了高校化学类专业必须教授的化学学科的知识点。为了反映学科的进展，我们又丰富和补充了“专业规范”中的理论课程教学内容的知识点，作为“建议内容”在《大学化学》上发表，供相关教师选用。我们鼓励各校化学类专业在保证“质量标准”规定的知识点教授的前提下，开设反映各校特色的课程，也鼓励高校教师能够像该书作者一样，结合课程以及自身的科研工作，编写有各自特色的教材。

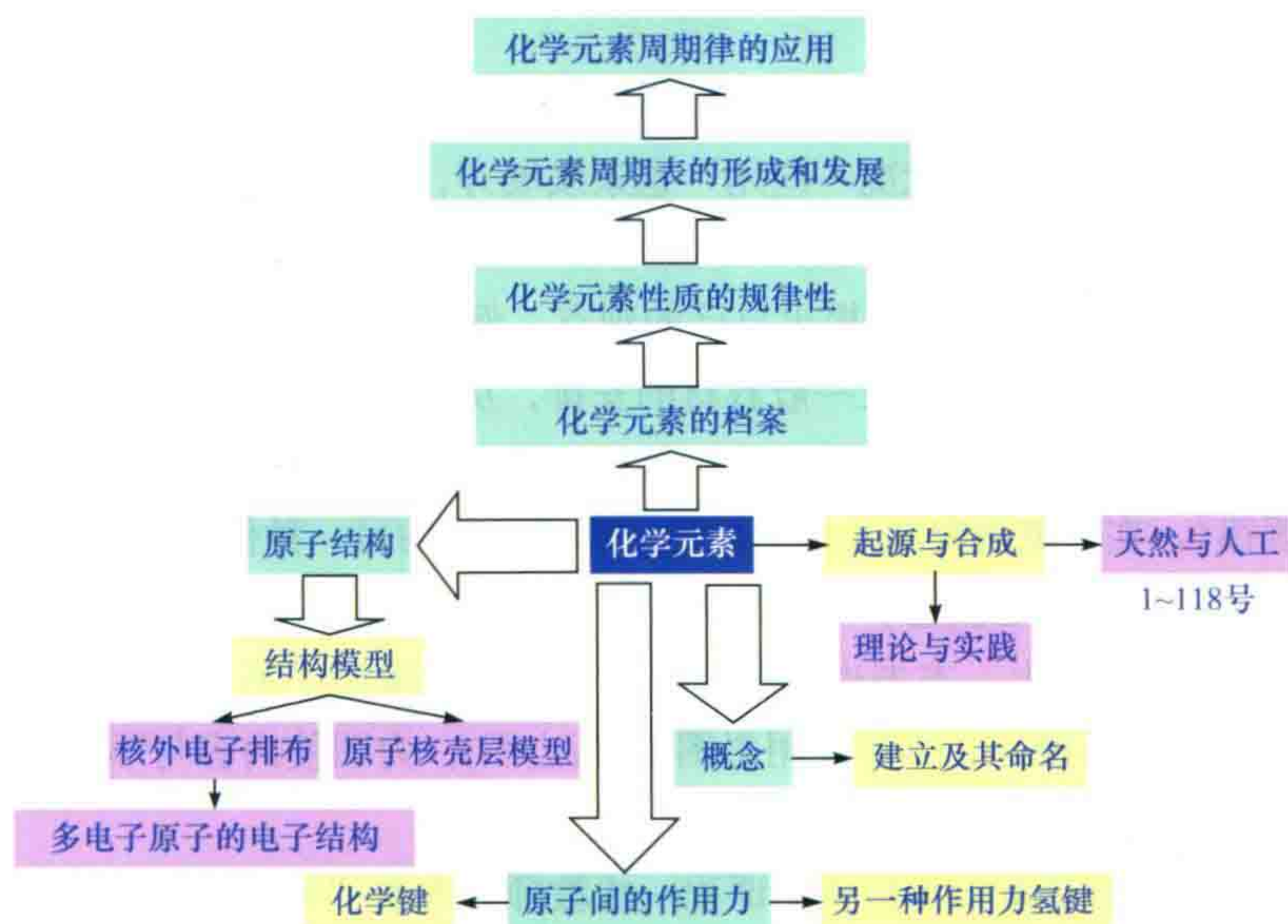
科学是不断认识的过程。随着科学的发展，现有的科学认识在不断深化和变化。因此，所有教材的内容不可能一成不变，也都可能存在有争议的内容。我希望该书出版发行后，能够得到读者的欢迎和反馈，使作者能够在应用的过程中吸取意见和建议，结合相关学科的研究进展，不断修改并再版，成为一部经典的教材。

中国科学院院士 郑兰荪

2018年春

前言

本书并非专著，而是相关基础无机化学的专题讨论集成，看似分散，实则是按下面的思路组织的：



为有助于高等学校年轻师生参考和学习，在本书编写中注意以下几个理念的体现：

(1) 著名教育家、化学家傅鹰教授(1902—1979)曾多次指出：“一门科学的历史是这门科学中最宝贵的一部分，因为科学只能给我们知识，而历史却能给我们智慧。”因此，在本书编写过程中，我们注意每个问题的背景探索，查阅了一般教材和参考书籍未能提供的必要文献，以便于读者对材料的理解和使用。使用原始文献，有利于理解和学习科学家原始创新思维和科学研究方法，力求做到“原汁原味”。例如，“原子结构模型和原子核壳层模型”一章以原子结构模型的重要里程碑为引子，介绍几个重要里程碑的来源、发展、进化，使读者了解现在学习的不是“死”的内容，而是当时科学研究中最为先进的理论，然而它又是发展的；同时，查看和理解原始文献，看看科学家是怎样产生这些想法的，有利于科研意识的培养。

(2) 英国数学家、哲学家、教育家怀特海(A. N. Whitehead, 1861—1947)谈到大学的教育目的时说：“大学存在的理由是，它使青年和老年人融为一体，对学

术进行充满想象力的探索，从而在知识和追求的热情之间架起桥梁。”^①依据这种理念，编写中我们力图体现基础与前沿相结合，最大限度地从研究前沿文献中汲取力量，在充分阐述概念的基础上，引申到前沿发展概况，包括知识的应用，以期促进青年教师和学生的学习热情和对学科的追求，产生“闪光点”。正如哈佛大学迈克尔·桑德尔教授所说：“闪光点的出现说明大家都在真正地思考，学生可以从中学会如何进行判断，如何进行批判性思维。”^②

(3) 我们在创建国家精品课程“无机化学与化学分析”的过程中，国家首届教学名师史启祯教授说：“教材建设一定要开放。”^③教材创新就是要立足于“有利于教师使用、有利于学生学，要有特点”。编写中我们也在力求延续这个理念。

(i) 每章内容的编写坚持“基础课培养学生科研意识”的原则^④，内容沿“概念背景—主要理论—发展状况—应用”这条线展开，力图做到教学内容与科研内容的有机结合。

(ii) 倡导教学研究，大胆提出自己的观点。例如对“原子结构模型和原子核壳层模型”一章的处理，一反一般教材的安排，从教材内容和课程设计的科学性论证了“原子结构”应包括原子结构、核外电子的运动状态和原子核结构，符合认识论规律^⑤。在文献研究的基础上提出“原子之间的另一种作用力——氢键”，独立成章，较为全面地叙述了氢键应该包括的广泛内容。

(4) 在编写形式上，本书也倡导“百花齐放”，采用了不同于一般参考书的做法。例如，全彩设计，尽量使用彩图(包括边图)，力图使内容与形式统一，利于教学中使用。

本书的作者都是基础无机化学课程一线教师，本着“要把教学研究像科学研究那样搞”的想法，集思广益，勇于探索，分工协作完成。编写分工：第1章由陕西理工大学葛红光编写，第2章由商洛学院周春生编写，第3章由陕西师范大学张伟强编写，第4章由延安大学王记江编写，第5章由西北大学杨奇编写，第6章由陕西师范大学魏灵灵编写，第7章由渤海大学魏颖编写，第8章由陕西学前师范学院王福民编写，第9章由西北大学谢钢编写，第10章由咸阳师范学院范广编写。全书由高胜利和杨奇策划、统稿。李淑妮对本书的所有文献进行了查证和最后审核。

特别感谢中国科学院院士、教育部化学类专业教学指导委员会主任、厦门大学郑兰荪教授为本书多次提出修改意见和提供资料，并为本书作序。

① 怀特海. 教育的目的. 徐汝舟译. 北京: 生活·读书·新知三联书店, 2001.

② 迈克尔·桑德尔. 公正: 该如何做是好? 北京: 中信出版社, 2011.

③ 史启祯. 教材建设一定要开放. 中国大学教学, 2006(10): 6.

④ 杨奇, 陈三平, 谢钢, 等. 基础课培养学生科研意识有效教学策略探讨. 中国大学教学, 2016, (4): 31-35.

⑤ 周春生, 邸友莹, 陈三平, 等. 从另一个角度处理“原子结构”内容的尝试. 大学化学, 2016, 31(11), 28-36.

在本书出版过程中，得到了科学出版社的支持，在此表示感谢。

书中引用了较多书籍、研究论文的成果，在此对所有作者一并表示感谢。

本书作为化学类相关专业师生的参考书，是“国家精品课程建设”资助课题的延续，也是一种探索和改革。由于作者水平有限，书中不足在所难免，敬请读者赐教。

高胜利 杨奇

2018年春于西北大学长安校区

目 录

序

前言

1 化学元素的起源和合成	1
1.1 化学元素的起源——“大爆炸”理论	2
1.1.1 宇宙的诞生	2
1.1.2 元素的起源	6
1.2 新元素的合成——人工核反应	20
1.2.1 形成元素的基础	20
1.2.2 原子核反应	23
1.2.3 人工核反应技术	32
1.2.4 地球上新元素的合成	41
参考文献	78
2 化学元素概念的建立及其命名	86
2.1 化学元素概念的建立、演化和发展	87
2.1.1 古代哲学阶段的元素概念	88
2.1.2 经验分析阶段的元素概念	91
2.1.3 近代科学阶段的元素概念	95
2.1.4 现代科学阶段的元素概念	100
2.2 化学元素的命名	101
2.2.1 化学元素命名的原则	101
2.2.2 化学元素的中文命名法	111
2.2.3 化学元素符号的产生和演变	114
参考文献	121
3 原子结构模型和原子核壳层模型	124
3.1 原子概念的变迁	125
3.1.1 哲学家的原子概念	125
3.1.2 科学家的原子概念	126
3.1.3 现代原子理论	127
3.2 原子内部组成探秘	127
3.2.1 原子的定义和性质	127
3.2.2 原子的基本组成	133
3.3 原子结构模型的建立和演变	148
3.3.1 人类对原子结构认识的简史	148
3.3.2 原子结构模型的几个里程碑	151

3.4	原子核结构模型	175
3.4.1	原子核结构的研究方法	176
3.4.2	原子核结构模型研究简介	176
3.4.3	原子核壳层模型	179
	参考文献	186
4	多电子原子的电子结构	190
4.1	多电子原子薛定谔方程的解	191
4.1.1	多电子原子的定态薛定谔方程	191
4.1.2	多电子原子薛定谔方程的求解方法	192
4.2	多电子原子的能级	198
4.2.1	原子轨道能和电子结合能	198
4.2.2	多电子原子光谱	199
4.3	多电子原子的近似能级图	204
4.3.1	根据原子光谱实验结果得到的能级图	205
4.3.2	根据理论计算得到的能级图	208
4.3.3	多电子能级图中的能级分裂	212
4.4	多电子基态原子的核外电子排布	216
4.4.1	核外电子排布的构造原理	216
4.4.2	电子组态	219
4.4.3	填充电子顺序和失去电子顺序不同的解释	221
	参考文献	221
5	原子间的作用力——化学键	224
5.1	化学键理论的产生、发展和展望	225
5.1.1	化学键理论产生的历史背景	225
5.1.2	化学键理论的发展与认识三阶段论	226
5.1.3	化学键理论的展望	231
5.2	化学键概念	232
5.2.1	化学键与分子结构	232
5.2.2	化学键的定义	233
5.3	离子键理论及离子极化理论	234
5.3.1	离子键理论	234
5.3.2	离子极化理论	256
5.4	共价键理论	276
5.4.1	现代价键理论简介	277
5.4.2	共价键的电子对理论	278
5.4.3	共价键的价层电子对互斥理论	284
5.4.4	共价键的价键理论	295
5.4.5	共价键的杂化轨道理论	312
5.4.6	共价键的分子轨道理论	329

5.5	金属键理论	345
5.5.1	金属键理论简介	346
5.5.2	金属键的键能	358
5.5.3	金属键的本质	360
	参考文献	361
6	原子间的另一种作用力——氢键	368
6.1	氢键本质研究的重要性	369
6.1.1	氢键与 DNA	369
6.1.2	氢键是否仅仅是分子间作用力	374
6.2	氢键的研究进展	381
6.2.1	氢键的研究历史简介	381
6.2.2	氢键与质子传递	387
6.2.3	氢键的研究方法	389
6.2.4	氢键的结构特点	400
6.3	氢键的应用	412
6.3.1	氢键应用的基础	412
6.3.2	氢键的一些具体应用	415
	参考文献	426
7	化学元素的档案	436
7.1	1~10 号元素简介	437
7.2	11~20 号元素简介	451
7.3	21~30 号元素简介	462
7.4	31~40 号元素简介	471
7.5	41~50 号元素简介	479
7.6	51~60 号元素简介	487
7.7	61~70 号元素简介	494
7.8	71~80 号元素简介	499
7.9	81~90 号元素简介	507
7.10	91~100 号元素简介	512
7.11	101~110 号元素简介	517
7.12	111~118 号元素简介	522
	参考文献	526
8	化学元素性质的规律性	532
8.1	化学元素性质为什么显示出规律性	533
8.1.1	原子核外电子周期性重复类似排列	533
8.1.2	元素性质的规律性表现	533
8.2	随原子序数变化呈现周期性变化的参数	536
8.2.1	原子半径和离子半径随原子序数的变化	537
8.2.2	元素单质密度的周期性	542
8.2.3	元素单质熔点随原子序数的变化	544

8.2.4	元素单质沸点随原子序数的变化	544
8.2.5	电离能随原子序数的变化	545
8.2.6	电子亲和能随原子序数的变化	551
8.2.7	电负性随原子序数的变化	553
8.3	元素周期表中的第二周期性	559
8.3.1	第二周期性的性质	559
8.3.2	原子模型的松紧规律	561
8.4	元素周期表中的区域性规律	564
8.4.1	氢的特殊性	564
8.4.2	锂、铍性质的反常性	565
8.4.3	对角线规则	566
8.4.4	镧系收缩效应	567
8.4.5	惰性电子对效应	568
8.4.6	稀有气体——单原子气体	569
	参考文献	570
9	化学元素周期表的形成和发展	575
9.1	化学元素周期表的发现和发展	576
9.1.1	萌芽阶段	576
9.1.2	突破阶段	596
9.1.3	发展阶段	605
9.1.4	展望阶段	615
9.2	化学元素周期表的形式和美学价值	617
	参考文献	626
10	化学元素周期律的应用	631
10.1	“安全”冰箱的故事	632
10.1.1	故事梗概	632
10.1.2	氟利昂简介	632
10.2	周期律对材料元素选择的指导作用	635
10.2.1	农药类化合物元素的选择	635
10.2.2	半导体材料元素的选择	636
10.2.3	耐高温、耐腐蚀特种合金材料元素的选择	637
10.2.4	催化剂元素的选择	637
10.2.5	化学元素周期表在地质中的应用	637
10.3	周期表在分析化学中的应用	640
10.3.1	盐溶液的 pH	641
10.3.2	EDTA 络合物的不稳定常数	641
10.3.3	离子的氧化还原电位	643
10.3.4	氢氧化物沉淀的 pH	643
10.4	矿物浮选与元素周期表	644
10.5	生物元素在周期表中的分布	645

10.5.1	化学元素与人体之间的关系	645
10.5.2	生物元素图谱与化学元素周期表之间的关系	647
10.6	元素氢化物在周期表中的分布	650
10.7	元素碳化物在周期表中的分布	652
10.8	超导元素在周期表中的分布	654
10.8.1	高温超导体	654
10.8.2	超导元素和化合物的分类和临界温度	654
10.8.3	超导研究简介	655
10.9	金属有机化合物及其成键类型在周期表中的分布	658
10.9.1	金属有机化合物的金属-碳键类型	658
10.9.2	不同成键类型在周期表中的相对分布	660
10.10	原子簇合物在周期表中的分布	661
10.10.1	原子簇合物简介	661
10.10.2	原子簇合物的发展	664
10.11	周期表对一些科学研究课题的启示	665
10.11.1	等电子分子周期系	665
10.11.2	共价键在元素周期表中的变化规律	666
10.11.3	离子液体的周期性变化规律及导向图	666
	参考文献	667
	后记	671
	新化学元素周期表	673

化学元素的起源和合成



康德(Im. Kant, 1724—1804)

德国古典哲学创始人

世界上有两件东西能够深深地震撼人们的心灵，一件是我们头顶上灿烂的星空，另一件是我们心中崇高的道德准则。

——康德

本章提示

在 100 多年前，化学元素还被认为是构成物质世界的基本原料。它既是基本的，也是不可转化的。20 世纪初，人们才逐渐认识到化学元素的原子不是基本的，元素的区别是由原子核决定的，而且原子核是可以通过各种核过程而转化的。到了 20 世纪 40 年代，科学家开始思考：自然界构成万物的各种元素是怎么产生的？这就是元素的起源问题。于是，究其本“各种化学元素的原子核是怎样形成的？”就成了本章核心。

从化学、地质学的大量研究出发，结合天文学和天体物理学的研究成就，可把问题归纳为两个部分。第一部分，即地球乃至宇宙自然发生核反应生成的 92 种化学元素的追溯——化学元素的起源，自然要从宇宙的诞生、恒星演化讲到元素形成机制：氢、氦的原初核合成($\alpha\beta\gamma$ 理论)和恒星内元素合成理论(B^2FH 理论)。第二部分，新元素的合成——人工核反应，即从 93 号元素至 2012 年合成的 118 号元素，自然包括核合成基本理论、思路、方法和鉴定，乃至人们永远不能忘怀的那些顶尖实验室和科学家们。



创世论认为上帝创造了世界



年轻时代的哈勃



哈勃工作照



晚年的哈勃

1.1 化学元素的起源——“大爆炸”理论

元素的起源是指各种核素生成的条件、过程和场所。测定各类天体的元素丰度，研究元素的分布规律，是建立元素起源理论的依据，也是探讨天体演化的基础。因此，天文学和天体物理学的发展促进了人们对化学元素起源探索的深入研究。

1.1.1 宇宙的诞生

1. 宇宙的起点——奇点

1929 年，美国天文学家哈勃(E. Hubble)发现：不管往天空哪个方向看，远处的星系总是在急速地远离我们而去，即“宇宙正在不断膨胀”。既然宇宙现在正在膨胀，如果沿时间回溯，那么以前宇宙肯定比现在小，肯定有那么一个时刻，宇宙中所有东西都聚集在一起，宇宙必然有个起点^[1]。

美国天文学家哈勃(E. Hubble, 1889—1953)是研究现代宇宙理论最著名的人物之一。他发现了银河系外星系存在及宇宙不断膨胀，是银河外天文学的奠基人和提供宇宙膨胀实例证据的第一人。1910 年，21 岁的哈勃在芝加哥大学毕业，获得奖学金，前往英国牛津大学学习法律，23 岁获文学学士学位。1913 年在美国肯塔基州开业当律师。后来，他终于集中精力研究天文学，并返回芝加哥大学，25 岁到叶凯士天文台攻读研究生，28 岁获博士学位。在该校设于威斯康星州的叶凯士天文台工作。在获得天文学哲学博士学位和从军两年以后，1919 年退伍到威尔逊天文台(现属海尔天文台)专心研究河外星系并作出新发现。当年用世界上最大的 150 cm 和 254 cm 望远镜照相观测旋涡星云。1926 年，他发表了对河外星系的形态分类法，后称哈勃分类。哈勃的著作有《星云世界》、《用

观测手段探索宇宙学问题》等，两本书都是现代天文学名著。他曾经获得太平洋天文学会奖章和英国皇家天文学会金质奖章。

现代宇宙学认为宇宙起始于一个非常小的点——奇点(singularity)，也称时空奇点(spacetime singularity)。奇点体(10^{-34} cm)温度极高且无限致密，今天所观测到的全部物质世界统统都集中在这个很小的范围内。在没有昨天的一天，这个奇点发生了一次惊天动地的“大爆炸”(the big bang)^[2]；在 10^{-44} s 之后，迅速发生膨胀，仅在最初的 10^{-34} s 之内就膨胀了 10^{100} 倍，人们称之为暴胀。在暴胀最激烈的时候，于高能状态的伪真空发生“相变”，从而转化为处于低能量状态的普通真空。由于相变是发生在能量状态由高变低，故相变时是一个放热过程。随着暴胀的结束，宇宙所拥有的伪真空的能量全部以光的形式放出，此时，宇宙成了一个大火球。这是一个由热到冷、由密到稀、体积不断膨胀的过程，并经过不断的膨胀到达今天的状态。大爆炸是描述宇宙诞生初始条件及其后续演化的宇宙学模型(图 1-1)，这一模型得到了当今科学研究和观测最广泛且最精确的支持。根据 2013 年普朗克卫星所得到的最佳观测结果，宇宙大爆炸距今(137.3 ± 1.2) 亿年^[3-4]。

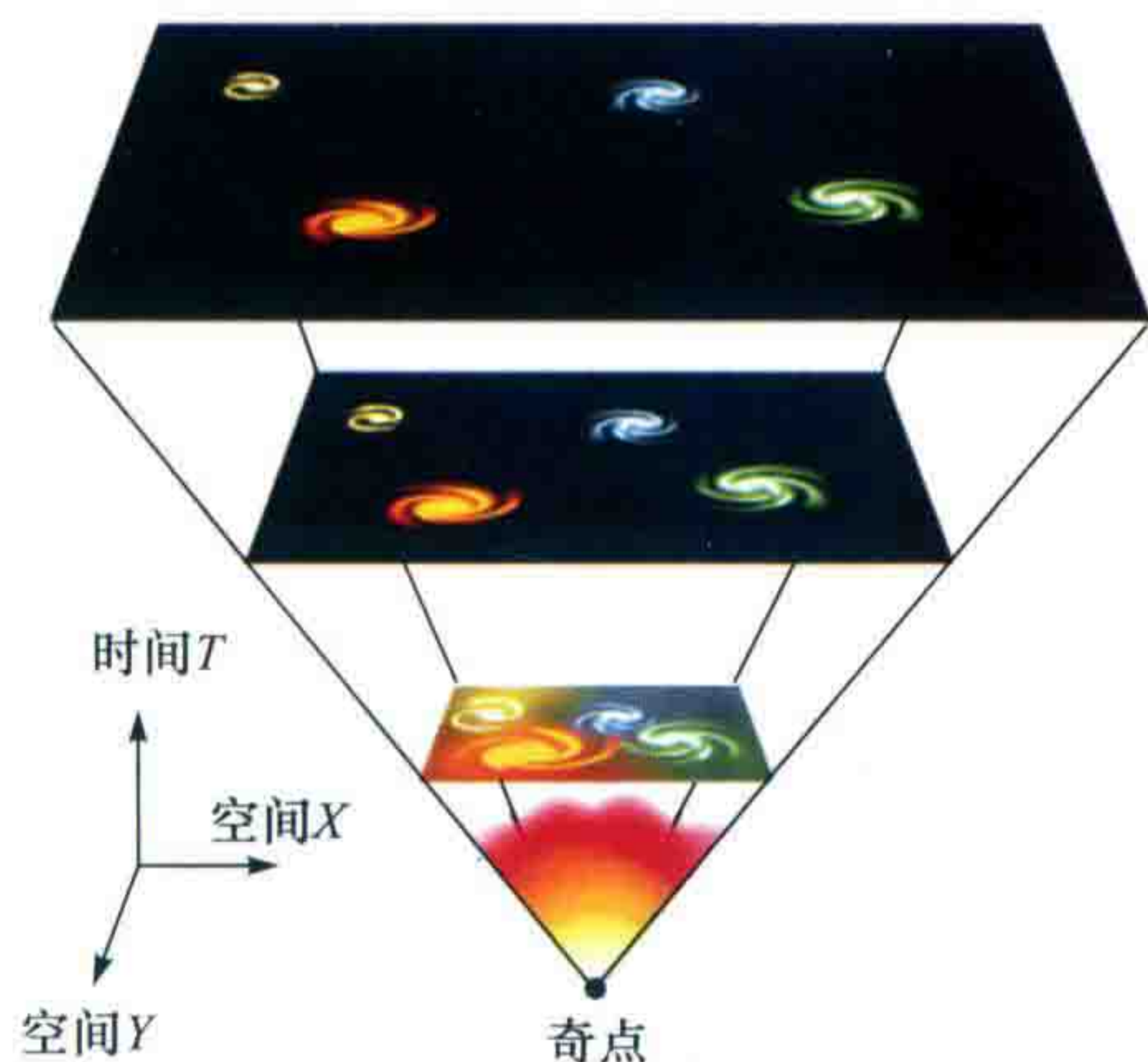
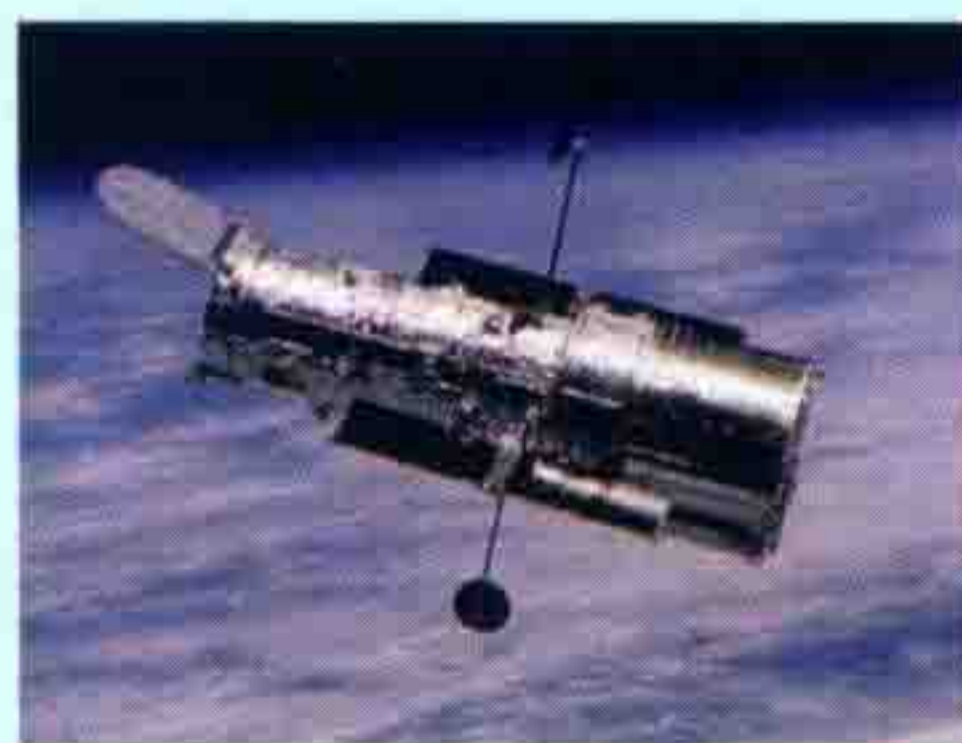


图 1-1 由奇点形成宇宙

2. 奇点的证明

大爆炸理论是通过对于宇宙结构的实验观测和理论推导发展而来的。① 在实验观测方面，1912 年斯里弗(V. M. Slipher)首次测量了一个“旋涡星云”(旋涡星系的旧称)的多普勒频移，其后他又证实绝大多数类似的星云都在退离地球^[5-6]。② 1922 年，苏联宇宙学家、数学家弗里德曼(A. Friedmann)假设了宇宙在大尺度上均匀和各向同性，利用引力场方程推导出描述空间上均一且各向同性的弗里德曼方程，在这一组方程中宇宙学常数是可以消掉的。通过选取合适的状态方程，从弗里德曼方程得到的宇宙模型是在膨胀的^[7]。③ 1924 年，哈勃测量了最近的“旋涡星云”距地球的距离，其结果证实了它们在银河系之外，本质是其他的星系。1927 年，比利时物理学家勒梅特(G. Lemaître)在不了解弗里德曼工作的情况下独立提出了星云后退现象的原因是宇宙在膨胀^[8]。④ 1931 年勒梅特进一步提出“原生原子假说”，认为宇宙正在进行的膨胀意味着它在时间反演上会发生坍缩，这种情形会一直发生下去直到它不能再坍缩为止，此时宇宙中的所有质量都会集中到一个几何尺寸很小的“原生原子”上，时间和空间的结构就是从这个“原生原



哈勃望远镜



宇宙大爆炸示意图



旋涡星云

子”产生的^[9]。⑤1924年起，哈勃为勒梅特的理论提供了实验条件：他在威尔逊天文台利用口径 250 cm 的胡克望远镜费心建造了一系列天文距离指示仪，这是宇宙距离尺度的前身。这些仪器使他能够通过观测星系的红移量来推测星系与地球之间的距离。他在 1929 年发现，星系远离地球的速度同它们与地球之间的距离刚好成正比，这就是所谓哈勃定律^[1,10]。而勒梅特用理论推测，根据宇宙学原理，当观测足够大的空间时，没有特殊方向和特殊点，因此哈勃定律说明宇宙在膨胀^[11]。

大爆炸理论最早也最直接的观测证据包括从星系红移观测到的哈勃膨胀^[11]、对宇宙微波背景辐射(CMB)的精细测量^[12]、宇宙间轻元素的丰度(宇宙被观测到的元素丰度与理论数值的一致性，被认为是大爆炸理论最有力的证据)^[13]，而今大尺度结构(指大于 10 Mpc 的结构，1 Mpc=3.08568025×10²² m)和星系演化也成为了新的支持证据^[14]。这四种观测证据有时被称为“大爆炸理论的四大支柱”。

由于本书不做专门天体物理学研究，更多详细内容请参考相关书籍和文献。

3. 最新的证明——大型强子对撞机

大型强子对撞机(large hadron collider, LHC)是一座位于瑞士日内瓦近郊欧洲核子研究组织(CERN)的对撞型粒子加速器，作为国际高能物理学研究之用。LHC 已经建造完成，是世界上最大的粒子加速器设施^[15]，2008 年 9 月 10 日开始试运转，并且成功地维持了两质子束在轨道中运行(图 1-2)。大型强子对撞机是一个国际合作计划，由全球 85 个国家中的多个大学与研究机构、逾 8000 位物理学家合作兴建。

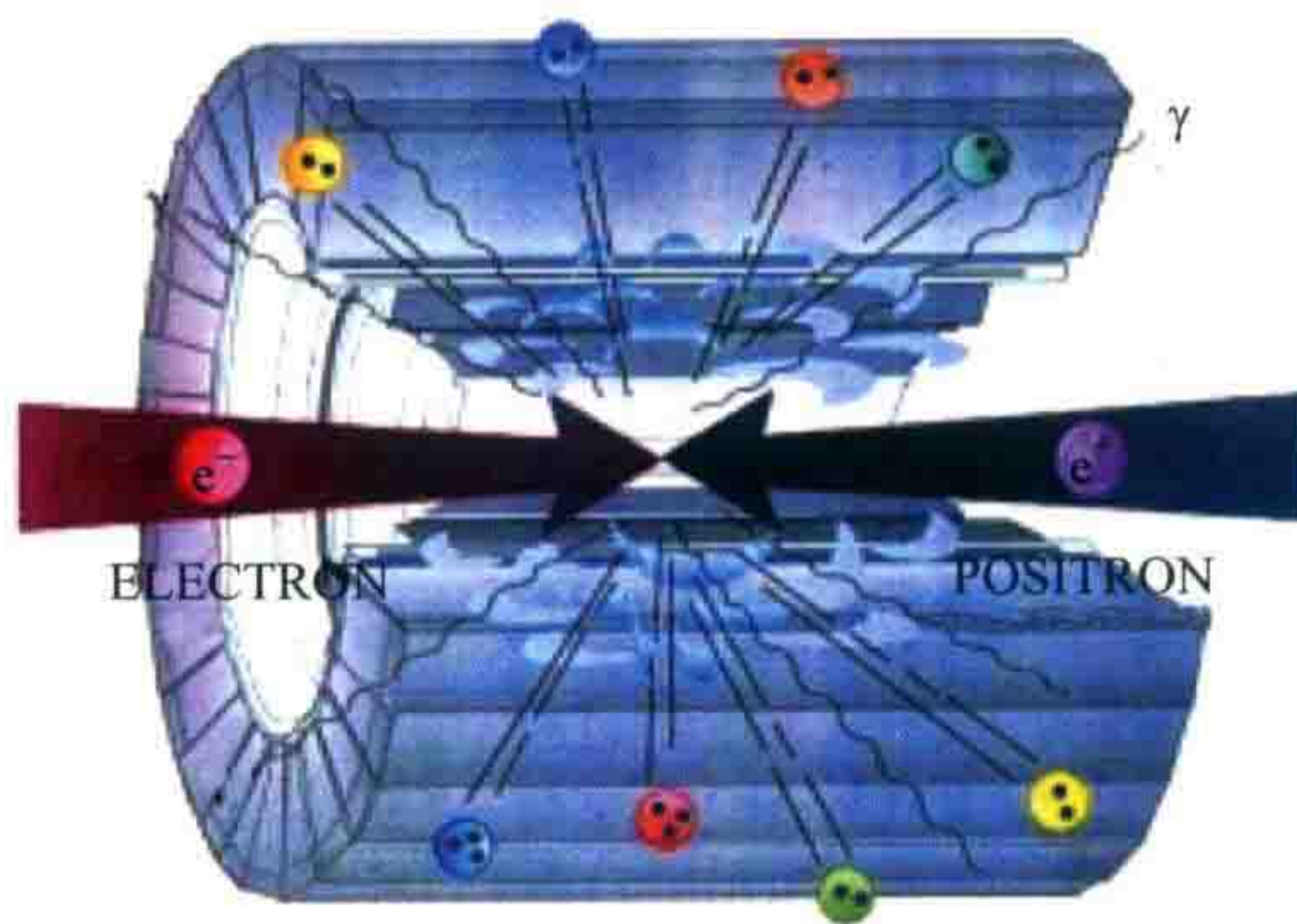


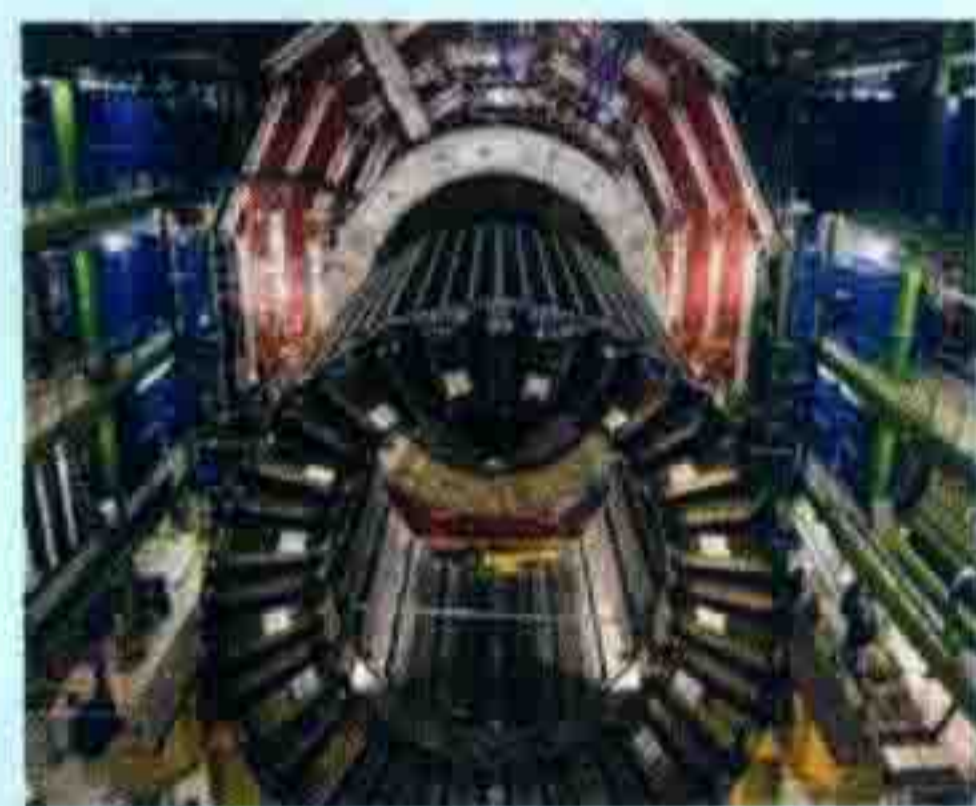
图 1-2 质子束流的对撞

埃文斯(L. Evans)是欧洲大型强子对撞机的领导者。他称 CERN 项目的目的就是揭开宇宙大爆炸之谜。他小时候曾在简易住宅里用化学装置制造过规模较小的爆炸，这激发了他对科学的热情。他说：“小时候我对化学比对物理学更感兴趣。我有很多的化学装置。和很多人一样，我也制造过炸药。我甚至数次烧断了整个房子的保险丝。”

物理学家希望借由加速器对撞机来解答下列问题：

(1) 标准模型中所流行的造成基本粒子质量的希格斯机制是真实的吗？真是如此的话，希格斯粒子有多少种？质量又分别是多少呢？

(2) 为何万有引力相对于其他作用力如此微弱？当重子的质量被更精确地测



欧洲大型强子对撞机



埃文斯



1962 年时的埃文斯

量时，标准模型是否仍然成立？

(3) 自然界中粒子是否有相对应的超对称粒子存在？

(4) 为何“物质”与“反物质”是不对称的？

(5) 有更高维度的空间存在吗？人们可以见到这启发弦论的现象吗？

(6) 宇宙有 96% 的质能是目前天文学上无法观测到的暗物质与暗能量，它们的组成到底是什么？

(7) 为何重力与其他三个基本作用力(电磁力、强作用力、弱作用力)相比差多个数量级？

(8) 在标准模型中有存在于预言之外的其他夸克存在吗？

(9) 在早期宇宙以及如今某些紧密而奇怪物体中存在的夸克-胶子等离子体的性质和属性是怎样的？

其实，实验目的之一就是探索宇宙的起源，再现大爆炸：在大型强子对撞机实验中，重铅核子将进行对撞，产生 10 万倍于太阳中部的温度，进而形成一个大爆炸后瞬间存在的微型版的“原始汤”(primordial soup)。

1964 年，英国物理学家希格斯(P. W. Higgs)发表了一篇学术论文^[16]，提出一种粒子场的存在，预言一种能吸引其他粒子进而产生质量的玻色子[希格斯玻色子(Higgs boson)，亦称上帝粒子(God particle)]的存在。他认为，这种玻色子是物质的质量之源，是电子和夸克等形成质量的基础，其他粒子在这种粒子形成的场中游弋并产生惯性，进而形成质量，构筑成大千世界。

2013 年 3 月 14 日，CERN 发布新闻稿表示，2012 年 6 月 22 日发表声明报告关于寻找希格斯玻色子(图 1-3)的最新研究结果是正确的。“上帝粒子”将是人类认识宇宙的一面最直接的镜子：因为如果作为质量之源的它确实存在，物理学家就可能因此推测出宇宙大爆炸时的情景以及占宇宙质量 96% 的暗物质(包括暗能量)的情况。希格斯和比利时物理学家恩格勒特(F. Englert)因此获得了 2013 年诺贝尔物理学奖。然而我们还需要知道：在 CERN 的实验组工作的计昊爽是第一位计算出上帝粒子存在的物理学者，也是该实验组里关于上帝粒子论文的牵头人。他 2008 年毕业于中国科技大学物理学院，之后到美国威斯康星大学攻读博士，美籍华人吴秀兰教授是他的指导老师。吴秀兰教授对于三个诺贝尔奖级的研究项目贡献良多，它们分别是 J/Psi 粒子(当时她是丁肇中组的博士后，后来丁肇中因此获得诺贝尔物理学奖)、胶子与上帝粒子^[17]。

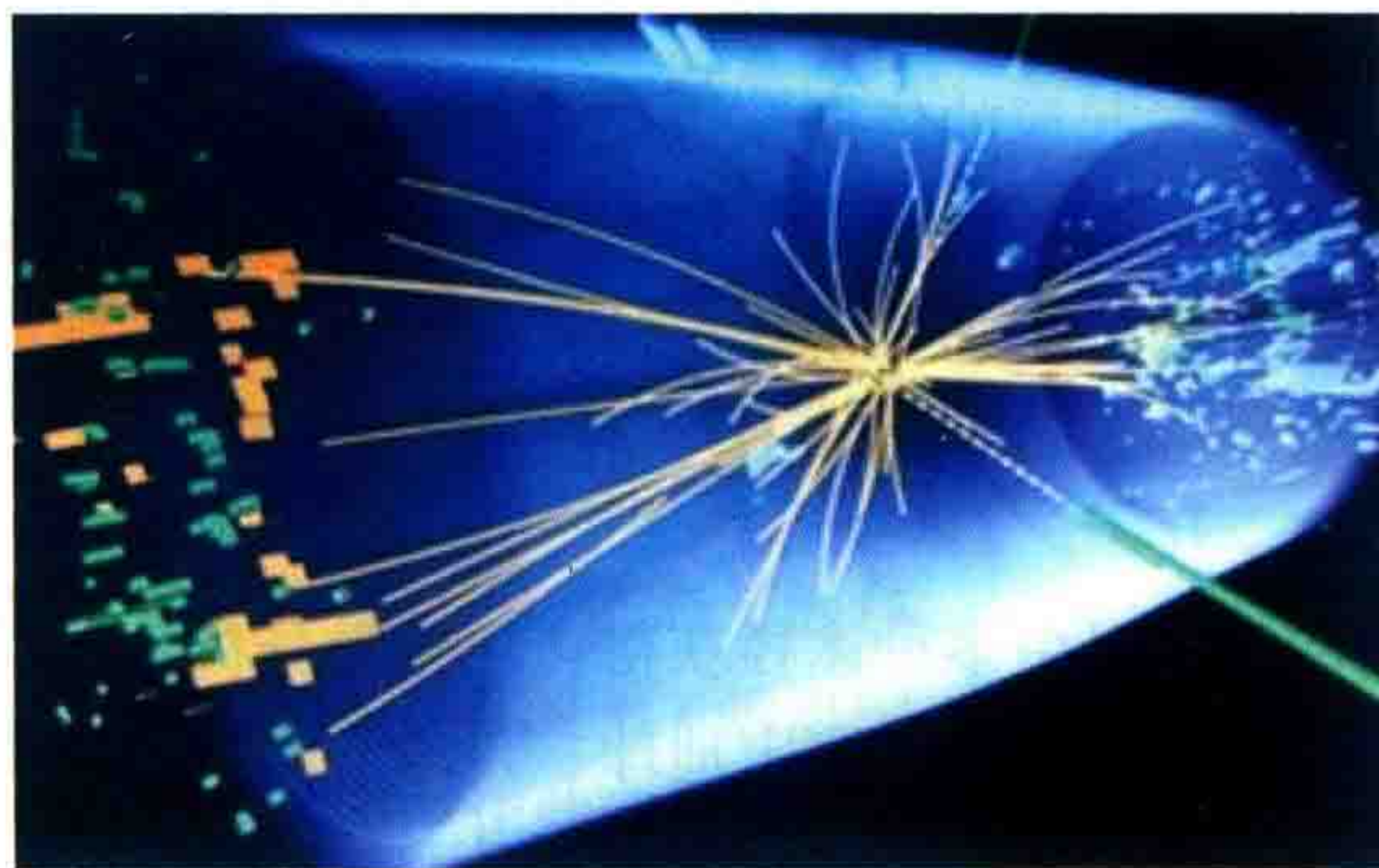
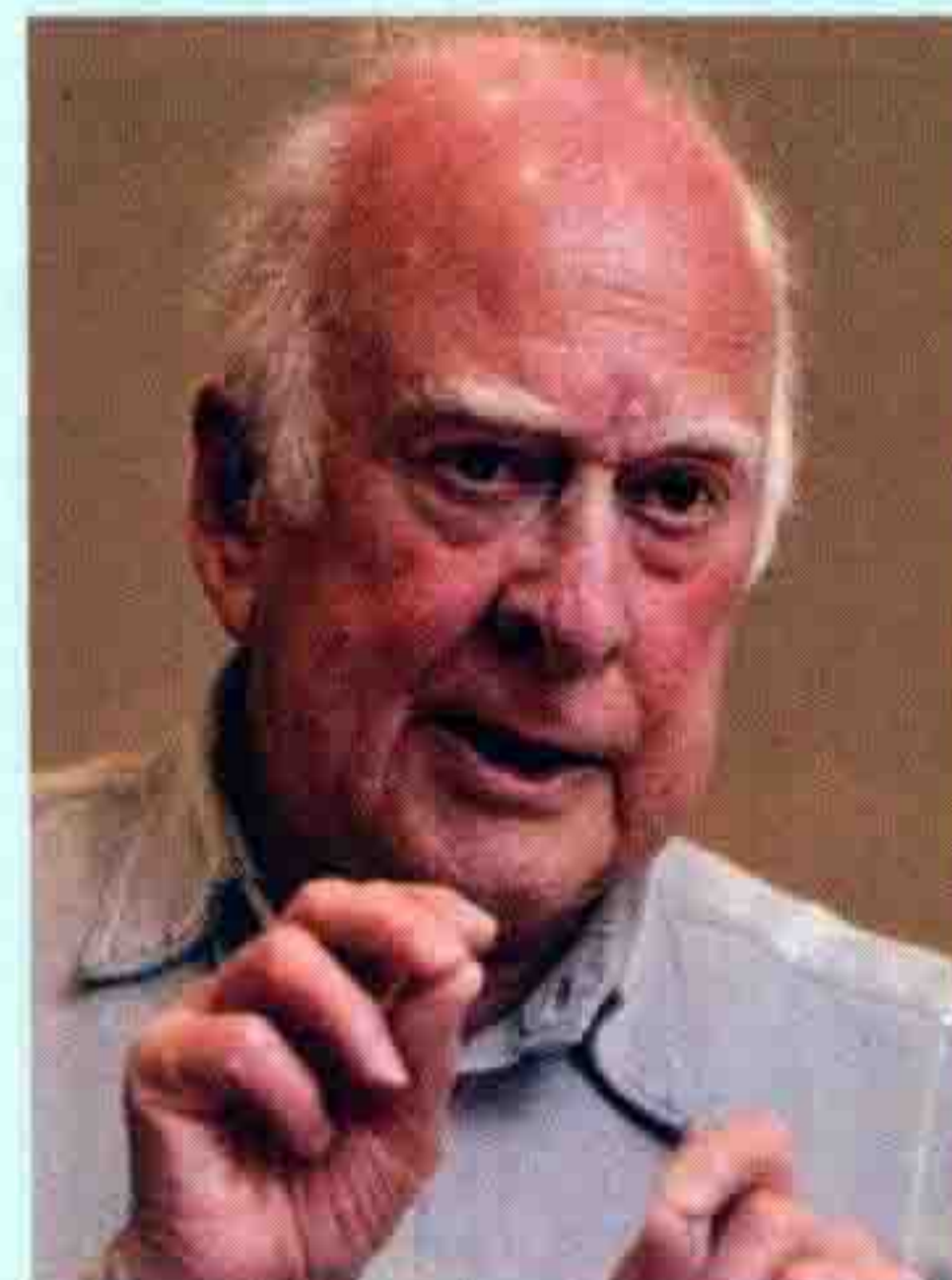
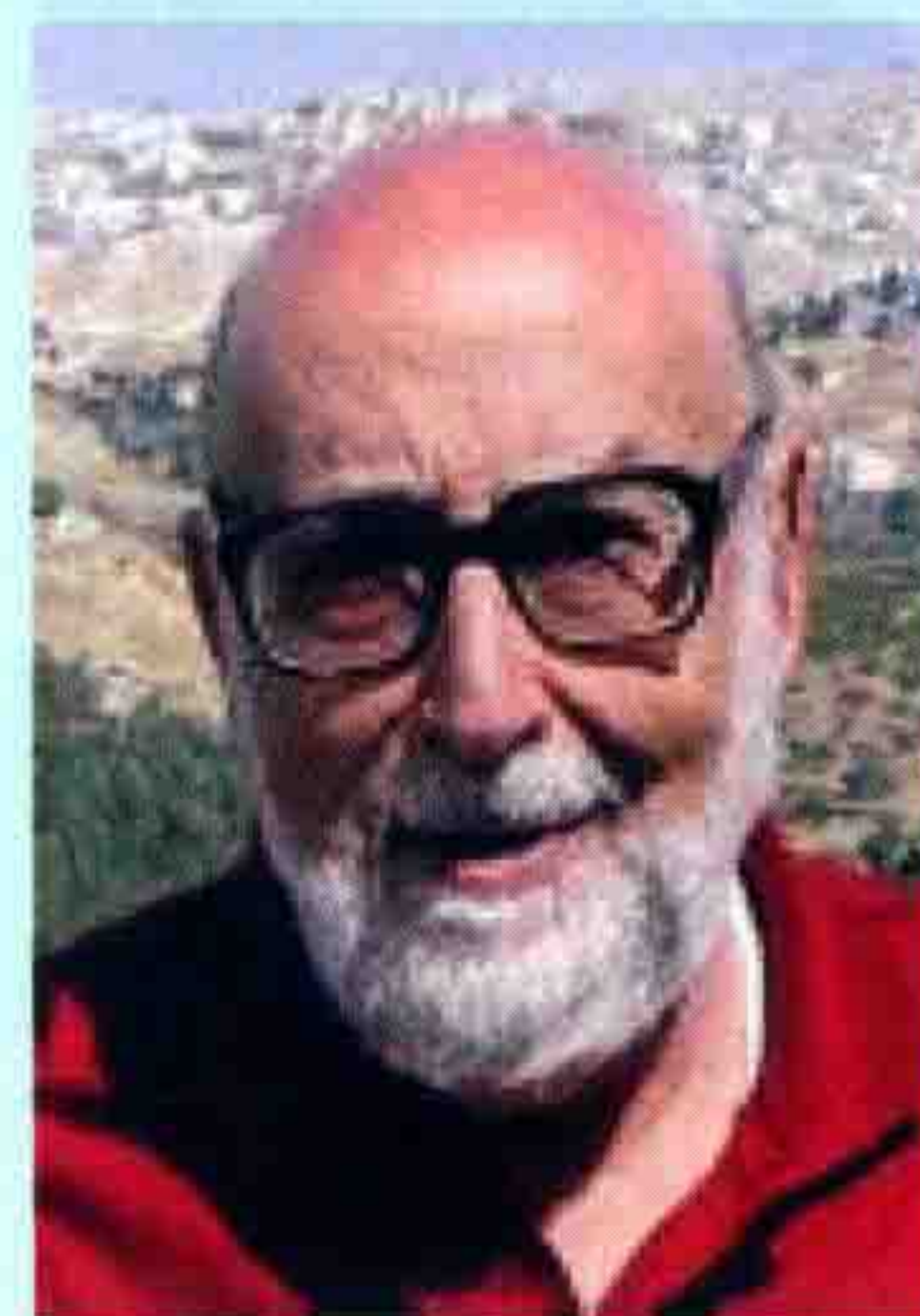


图 1-3 计算机模拟绘制的希格斯玻色子出现事件



希格斯



恩格勒特



计昊爽