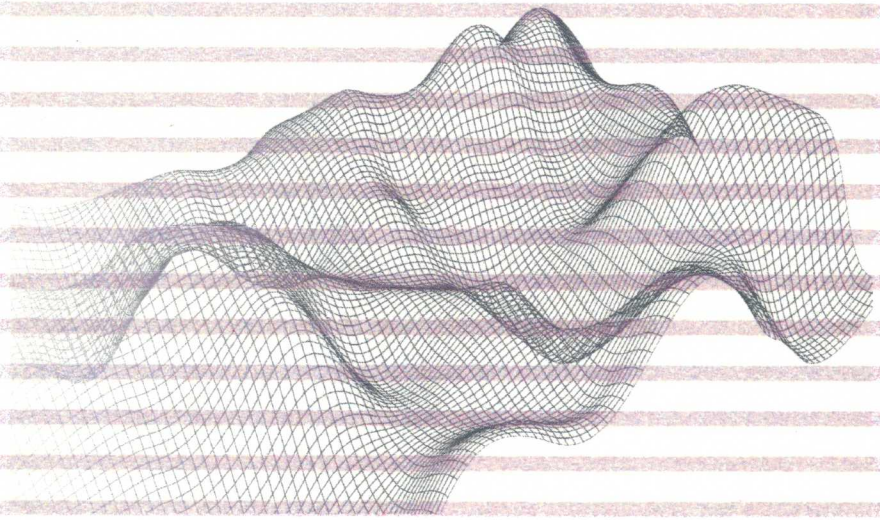
CAMBRIDGE

The New Physics for the Twenty-First Century

21世纪新物理学

〔英〕Gordon Fraser 编
秦克诚 主译



科学出版社

21 世纪新物理学

The New Physics for the Twenty-First Century

〔英〕Gordon Fraser 编

秦克诚 主译

贵州师范学院内部使用

科学出版社

北京

图字：01-2009-0227

内 容 简 介

最近的科学进展使我们对周围世界的认识有重大的改变，这对我们的生活方式有巨大影响。物理学是其他学科的基础，它影响了我们的生活情况。

本书探讨了现代物理学的一些关键前沿问题，探索了我们的宇宙——从亚原子粒子到恒星构成的星系，从大脑研究到高速科研网络。

本书的 19 章内容都由国际知名专家写成，每章内容基本上完整自足，文体生动活泼，易于为读者接受。它将会吸引各学科的科学家和想对今天的物理世界了解更多的人。

The New Physics for the Twenty-First Century, second edition (978-0-521-816007) by Gordon Fraser first published by Cambridge University Press 2006
All rights reserved.
This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.
© Cambridge University Press & Science Press. 2013

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Science Press.
This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.
此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区)销售。

图书在版编目(CIP)数据

21 世纪新物理学/(英)弗雷泽(Fraser, G.)编；秦克诚译. —北京：科学出版社, 2013
ISBN 978-7-03-036090-8

Ⅰ. ①2… Ⅱ. ①弗… ②秦… Ⅲ. ①物理学 Ⅳ. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012) 第 283007 号

责任编辑：钱 俊 鲁永芳 / 责任校对：钟 洋
责任印制：徐晓晨 / 封面设计：陈 敬

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

北京捷迅佳彩印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2013 年 1 月第 一 版 开本：B5 (720 × 1000)
2020 年 2 月第六次印刷 印张：36 1/2
字数：720 000

定价：188.00 元
(如有印装质量问题，我社负责调换)

贵州师范学院内部使用

译校人员名单

(按章节顺序)

秦克诚	北京大学物理学院
刘寄星	中国科学院理论物理研究所
范祖辉	北京大学物理学院
张肇西	中国科学院理论物理研究所
朱传界	中国科学院理论物理研究所
杨　刚	中国科学院理论物理研究所
吴俊宝	中国科学院理论物理研究所
林福成	中国科学院上海光学精密机械研究所
阎守胜	北京大学物理学院
覃绍京	中国科学院理论物理研究所
雷奕安	北京大学物理学院
陶宏杰	中国科学院物理研究所
刘式适	北京大学地球物理系
刘式达	北京大学地球物理系
闫保平	中国科学院计算机网络信息中心
聂玉昕	中国科学院物理研究所
毕国强	中国科学技术大学生命科学学院
喀蔚波	北京大学医学部
梁润婵	*Arrive·Hangzhou*杂志社

目　　录

译校人员名单

引言：21 世纪的新物理学……1

第一部分　物质和宇宙

第 1 章　宇宙学……13

1.1　引言……13

1.2　热大爆炸宇宙学……15

1.2.1　宇宙的膨胀……18

1.2.2　宇宙的均匀与各向同性……20

1.2.3　宇宙微波背景辐射……22

1.2.4　轻元素丰度……25

1.3　宇宙学的现代进展……26

1.3.1　暗物质……26

1.3.2　暗能量……29

1.3.3　暴胀……31

1.4　再电离后的宇宙……32

1.4.1　宇宙再电离历史……32

1.4.2　星系的形成和演化……33

1.4.3　活动星系核……34

1.4.4　γ 射线暴……34

1.5　宇宙学的未来……35

1.5.1　探测暗物质……35

1.5.2　暗能量与基础物理学的联系……36

1.5.3　暴胀与基础物理学的联系……37

1.5.4　弦宇宙学……38

1.5.5　新的观测工具……38

1.6　总结……40

进一步阅读……40
作者简介……41
第 2 章　引力……42
2.1　引力的吸引作用……42
2.2　引力的一些奇特的性质……42
2.3　广义相对论和弯曲时空……43
2.4　弱引力和实验检验……45
2.5　引力辐射和脉冲双星……48
2.6　强引力、中子星和黑洞……51
2.7　引力和宇宙、暗物质和暗能量……54
2.8　引力和早期宇宙……58
2.9　引力和量子论、普朗克尺度……60
2.10　黑洞和量子理论……62
2.11　为一无所有费尽心机、宇宙学常数……64
2.12　量子引力理论……66
2.13　现在来讨论关于时空的一些完全不同的东西……68
进一步阅读……71
作者简介……72
第 3 章　新天文学……73
3.1　引言……73
3.2　观测天文学进展……73
3.3　宇宙演化的标准模型……77
3.4　恒星演化的标准理论……78
3.5　天体物理学的研究前沿……85
3.5.1　脉冲星和反常脉冲星……85
3.5.2　微类星体……86
3.5.3　γ 射线暴……86
3.5.4　吸积盘和喷射流……87
3.5.5　宇宙加速器……87
3.6　超出标准模型的物理学……88
3.7　遥远行星和天体生物学……88
3.8　结束语……89

进一步阅读……89
作者简介……90
第 4 章　粒子及其标准模型……91
4.1　粒子物理学的由来……91
4.2　标准模型……95
4.2.1　强相互作用……98
4.2.2　弱作用和电磁相互作用……99
4.2.3　隐藏的电弱对称性……101
4.3　充满发现的过去十年……102
4.4　重大问题……105
4.4.1　基元性……105
4.4.2　对称性……105
4.4.3　统一……106
4.4.4　本体证认……106
4.4.5　地形学……106
4.5　希格斯玻色子……106
4.6　统一理论……109
4.7　质量的起源……111
4.8　中微子振荡……113
4.9　超对称性……116
4.10　引力和粒子物理学……118
4.11　粒子物理学的新工具……121
4.12　改变观念……122
4.13　我们面前的路……123
进一步阅读……124
作者简介……125
第 5 章　超弦理论……126
5.1　引言……126
5.2　点粒子引起的问题……126
5.3　狭义相对论、量子理论和标准模型……128
5.4　引力、时空和量子理论……132
5.5　弦论 —— 前驱者和早期发展……133

5.6 统一各种力的弦论 ····· 135
5.6.1 弦之间的相互作用 ····· 137
5.7 超越朴素的微扰近似 ····· 141
5.8 弦构成的宇宙 ····· 143
5.8.1 3 膜上的物理 ····· 143
5.8.2 黑洞的量子性质 ····· 144
5.8.3 全息宇宙 ····· 144
5.8.4 宇宙学和弦论 ····· 145
5.9 前景 ····· 146
进一步阅读 ····· 147
作者简介 ····· 147

第二部分　量 子 物 质

第 6 章　用光子操控原子 ····· 151
6.1 引言 ····· 151
6.2 原子内态的操控 ····· 152
6.2.1 原子和光子的角动量 ····· 152
6.2.2 光抽运 ····· 153
6.2.3 光展宽和光移 ····· 154
6.3 电磁力和陷俘 ····· 155
6.3.1 带电粒子的陷俘 ····· 156
6.3.2 磁偶极力 ····· 157
6.3.3 电偶极力 ····· 158
6.3.4 辐射压力 ····· 161
6.4 原子的冷却 ····· 163
6.4.1 多普勒冷却 ····· 163
6.4.2 Sisyphus 冷却 ····· 164
6.4.3 亚反冲冷却 ····· 166
6.5 超冷原子的应用 ····· 168
6.5.1 原子钟 ····· 169
6.5.2 原子光学和原子干涉学 ····· 170

6.5.3 Ramsey-Bordé 干涉仪 ····· 171
6.6 结束语 ····· 173
进一步阅读 ····· 173
作者简介 ····· 174
第 7 章 超冷原子的量子世界 ····· 175
7.1 引言 ····· 175
7.2 什么是“温度”? ····· 175
7.3 激光冷却 ····· 178
7.4 磁陷俘 ····· 180
7.5 蒸发冷却 ····· 183
7.6 量子效应 ····· 184
7.6.1 玻色–爱因斯坦凝聚 ····· 187
7.6.2 原子凝射器 ····· 188
7.7 驻波光场对原子的衍射和布拉格干涉仪 ····· 190
7.7.1 原子的布拉格衍射 ····· 190
7.8 非线性原子光学 —— 四波混频 ····· 193
7.9 超冷原子之间的可控碰撞 ····· 194
7.10 费米简并 ····· 196
7.11 结论 ····· 199
进一步阅读 ····· 199
作者简介 ····· 200
第 8 章 超流体 ····· 201
8.1 什么是超流? ····· 201
8.2 量子液体 ····· 201
8.3 液体氦-4 ····· 203
8.4 超导电性 ····· 210
8.5 液体氦 -3：一种各向异性超流体 ····· 215
8.6 非常规的超导体 ····· 220
8.7 有关历史的后记 ····· 224
进一步阅读 ····· 228
作者简介 ····· 229

第 9 章　量子相变 ····· 230
9.1　引言 ····· 230
9.2　实验室中相互作用的量子比特 ····· 231
9.3　压缩玻色–爱因斯坦凝聚体 ····· 238
9.4　铜基氧化物超导体 ····· 244
9.5　结论 ····· 254
进一步阅读 ····· 254
作者简介 ····· 254

第三部分　运作中的量子

第 10 章　实质性的量子纠缠 ····· 259
10.1　这一切是怎么开始的 ····· 259
10.2　纠缠的物理学 ····· 260
10.3　纠缠和信息 ····· 265
10.4　量子远程传态 ····· 266
10.5　基于纠缠的量子加密术 ····· 267
10.6　展望 ····· 268
进一步阅读 ····· 269
作者简介 ····· 270
第 11 章　量子、密码和计算机 ····· 271
11.1　简介 ····· 271
11.2　从比特到量子比特 ····· 273
11.3　量子纠缠 ····· 275
11.4　量子布尔网络及其复杂性 ····· 276
11.5　量子算法 ····· 278
11.5.1　Shor 算法 ····· 278
11.5.2　Grover 算法 ····· 279
11.6　建造量子计算机 ····· 280
11.7　安全通信的技艺 ····· 282
11.8　量子密钥分发 ····· 284
11.9　结束语 ····· 286

进一步阅读 ····· 287
作者简介 ····· 287
第 12 章　小尺寸结构与 “纳米科学” ····· 288
12.1　引言 ····· 288
12.2　介观物理学与纳米物理学, 工具与能力 ····· 291
12.3　电导量子化 ····· 295
12.4　Aharonov-Bohm 电导振荡 ····· 297
12.5　环和圆筒中的持续流 ····· 299
12.6　库仑堵塞 ····· 300
12.7　退相干——量子干涉的退相 ····· 302
12.8　纳米体系的例子 ····· 305
12.9　结论 ····· 307
进一步阅读 ····· 309
作者简介 ····· 309

第四部分　计算物理学

第 13 章　混沌系统的物理学 ····· 313
13.1　引论 ····· 313
13.2　不稳定性：奇异吸引子 ····· 316
13.3　奇异吸引子的刻画 ····· 320
13.3.1　用观测时间序列进行预测 ····· 324
13.4　混沌振子的同步; 混沌通信 ····· 327
13.4.1　混沌的控制 ····· 332
13.5　简单物理系统中的混沌：展望 ····· 335
进一步阅读 ····· 336
作者简介 ····· 336
第 14 章　复杂系统 ····· 337
14.1　引言 ····· 337
14.2　改变描述的层次 ····· 339
14.3　宏观结构的出现 ····· 340
14.4　一个范例：复数金兹堡–朗道方程 ····· 341

14.5　连接微观世界和宏观世界 ····· 344
14.6　湍流 ····· 350
14.7　自组织临界性 ····· 352
14.8　颗粒介质 ····· 357
14.9　玻璃态行为 ····· 360
14.10　计算方法 ····· 364
14.11　脑中的信息处理 ····· 367
14.12　展望 ····· 369
进一步阅读 ····· 370
作者简介 ····· 371
第 15 章　合作式物理学、e 科学、网格——实现利克里德的梦想 ····· 372
15.1　引言 ····· 372
15.1.1　e 科学与利克里德 ····· 372
15.1.2　计算机基础设施、e 基础设施和网格 ····· 374
15.1.3　本章概述 ····· 375
15.2　合作式物理学项目 ····· 376
15.2.1　粒子物理学 ····· 376
15.2.2　实验粒子物理学：LHC 计算网格 ····· 378
15.2.3　理论粒子物理学：QCDGrid ····· 381
15.2.4　天文学：国际虚拟天文台 ····· 382
15.2.5　天体物理学与宇宙学 ····· 384
15.2.6　聚变物理学 ····· 385
15.2.7　凝聚态物理学 ····· 386
15.2.8　原子物理学 ····· 388
15.2.9　闲置周期利用模式的各种应用 ····· 389
15.3　e 基础设施和网格 ····· 391
15.3.1　用户要求 ····· 391
15.3.2　历史 ····· 391
15.3.3　分布式计算与 Web 服务 ····· 392
15.3.4　其他用户问题 ····· 396
15.3.5　网格管理 ····· 397
15.4　工业与商业网格 ····· 398

15.4.1　工程应用 ····· 398
15.4.2　应对灾难 ····· 399
15.4.3　健康网格 ····· 400
15.4.4　虚拟组织 ····· 400
15.5　结论 ····· 401
进一步阅读 ····· 402
作者简介 ····· 403

第五部分　行动中的科学

第 16 章　生物物理学与生物分子材料 ····· 407
16.1　引言 ····· 407
16.2　膜 ····· 410
16.2.1　具有大弯曲刚度的液体膜间的相互作用 ····· 412
16.2.2　柔性液体膜间的 Helfrich 振荡相互作用 ····· 413
16.2.3　柔性流体分层膜的 X 射线同步散射揭示了 Helfrich 振荡相互作用的存在 ····· 414
16.3　DNA-膜络合物 ····· 418
16.3.1　正离子脂质体 -DNA 络合物的分层 L_{α}^{C} 相 ····· 419
16.3.2　反荷离子释放驱动 DNA- 膜络合物的自组装 ····· 424
16.3.3　CL-DNA 络合物的过量荷电; 与活体 DNA- 组蛋白络合物的相似 ····· 424
16.3.4　CL-DNA 络合物的反六角 H_{II}^{C} 相 ····· 427
16.3.5　CL-DNA 络合物的结构与基因递送之间的关系 ····· 428
16.3.6　二维空间的 DNA ····· 430
16.4　多层洋葱相 ····· 433
16.5　囊质体–膜泡内的脂质体 ····· 434
16.6　蛋白质的活体组装 ····· 436
16.7　未来的研究方向 ····· 441
进一步阅读 ····· 445
作者简介 ····· 445
第 17 章　医学物理学 ····· 447
17.1　前言 ····· 447

17.2　放射诊断学的未来——低剂量与对比度的较量……448
17.3　放射治疗——从钴弹到重离子……452
17.4　核医学——趋势和展望……458
17.5　核磁共振成像——视野进入体内……465
17.6　生物电和生物磁的测量——追踪运动和情绪……474
17.7　超声和激光的医学应用……477
17.8　脑部研究——一个综合应用……479
进一步阅读……483
作者简介……483
第 18 章　材料物理学……485
18.1　引言……485
18.2　杂质和掺杂……486
18.3　同位素……490
18.4　太阳能 (光伏) 电池……492
18.5　液晶和平板显示器……495
18.6　光导纤维……499
18.7　磁存储器……502
18.8　金刚石, 富勒碳球和纳米管……506
进一步阅读……508
作者简介……508
第 19 章　物理学与社会……510
19.1　引言……510
19.2　社会对物理学的影响……510
19.3　物理学带给社会的副产品……513
19.4　知识……514
19.5　技术……516
19.6　方法……521
19.7　人才……523
19.8　从基础研究到技术转让的途径……527
19.9　对水晶球的大胆窥探……528
19.10　物理学的社会形象……530
19.11　展望……533

进一步阅读 …… 534
作者简介 …… 535

全书参考文献 …… 536
汉英对照索引 …… 542
译后记 …… 567

引言：21 世纪的新物理学

物理学是关于物质和能量的科学。物质是构成我们周围的宇宙的材料，而能量则是物质以不同的方式运动的能力。物理学是对这种物质和能量行为的系统研究，对这种研究所揭示的东西的说明，以及它所带来的对自然的了解。对物理学家的所作所为，《圣经》旧约的约伯书第 28 章有一个优美的比喻：

> “因他鉴察直到地极，遍观普天之下。要为风定轻重，又度量诸水。他为雨露定命令，为雷电定道路。那时他看见智慧，而且述说……”

如果认为我们的周围是由物质构筑而成，那么关于大自然的许多知识最终就是物理学，因此物理学是许多别的科学学科的基础。这样的目标已经够宏伟的了，但是，就像这样大胆的目标还够不上一个挑战似的，新物理学继续不断地发现，物质和能量的存在形式和行为方式可以与我们在日常生活中所知道的很不相同。目标变得更雄心勃勃了。大自然，从而物理学，变得比我们在周围通常看到的要更复杂得多。

科学的进步不是来自对自然的肤浅观察，而是要长途跋涉进行某种发现之旅，到达一个不同的观测点。从这个新的制高点望去，风景呈现出新的景色和侧面，带来新的洞察和满足。看到这幅景象之后，下一步也许更令人感到满意——预言在更高的立足点上能看到什么。

在历史上，物理学中曾出现过几次重要的分水岭，对其中的每一次，都值得出版一本名叫《新物理学》的书。许多这样的分水岭事件揭开了宇宙的新鲜方面。一次是第二个千年的中叶发生在欧洲的文艺复兴，开普勒、哥白尼和伽利略这些巨人的新见解表明地球并不是宇宙的中心。这个结论不是轻易能咽下的，它的影响隆隆回响了几个世纪，但是对科学家来说，它的逻辑上的顶峰是随着牛顿关于力学和引力的杰作到来的。(牛顿的《原理》阐明了新的力学，它的第一版由伦敦的皇家学会于 1687 年出版，经过修订的第二版是由剑桥大学出版的，于 1713 年问世。) 由牛顿的工作得出的滚滚而来的成果鼓励了决定论的观念 —— 当下发生的每一件事都来自以前所发生的事，未来只不过是等着发生的历史。

物理学中的下一座分水岭与 19 世纪和 20 世纪的交界巧合。在此之前，物理学家一直试图把我们周围的世界描绘为由精密的零部件利索地组装在一起构成的一个集合体，像一具瑞士钟表一样，它遵照不变的法则运动，对大自然在时间和空间的任何尺度上如何运转给出一幅生动的心智图像。但是，20 世纪的黎明似乎在人类文明的各方面都激发出想象力。科学和绘画与音乐一样，转向一个新的、异乎寻

贵州商学院专用

常的方向。在几年时间里，发现了电子，引进了量子原理，提出了相对论，它们揭示了自然界的出人意料的方面。

20 世纪的起初二三十年揭开了相对论和量子力学的内涵。这些主要的发明今天对初学者而言仍然公认为难以理解，它们惹人注目地表明我们怎样被自己有限的日常经验所束缚，以及自然界在我们不熟悉的条件下能够表现得多么不可思议。在物理学的另一方向上，大型望远镜揭露了宇宙的新的纵深，表明我们的银河系只是多不胜数的星系之一，隐藏在无足轻重的后排座位上。天文学的这一重大的新结论的影响与四百年前哥白尼的揭示相似。

对于 20 世纪的好几代物理学家来说，相对论和量子力学曾是“新物理学”。用齿轮和弹簧构成的精致的模型不得不放弃，20 世纪初期表明，大自然并不是这样运转，而是按照不同的规则运转的。简单的模型和熟悉的关于因果关系的先入之见可能曾经一度是有用的，但是对它们的浅薄之见则是进一步理解的主要障碍。宇宙最终是由概率支配的。在量子力学发现后不久，这种不确定性的种种涵义就开始扎根了，但是用了几十年，才理解和证实了别的一些主要概念，如量子纠缠。

在这一时期，物理学的中心目标仍然是：从最小的一组假设出发，试图揭示尽可能多的东西。用广义相对论和薛定谔方程，并且后来依靠强有力的计算机的帮助，也许有可能算出一切有关的内涵和概率。

简单性和复杂性

由于物理学的范围很广，在传统上它就在两个相反的前沿上发展——对非常微小的客体和极其巨大的客体的研究。向物质内部看，基本粒子物理学家试图认出大自然最基元的成分——夸克、电子等，而他们研究场论的同行则试图弄清楚它们的意义，说明这些粒子怎样相互作用以构成物质和物体。向外看，天文学家和天体物理学家要画出在令人头晕目眩的一组尺度上成群结队的恒星和星系构成的宇宙的大尺度地图，宇宙学家则试图理解这一切是怎么来的。

本书的第一部分“物质和宇宙”讨论我们在周围看到的东西的组成。它的第一篇文章说明经过系统的研究后宇宙本身是怎么来的，并补充叙述了观察宇宙在不同尺度上的各种组成部分所得到的知识。这幅更宽广的图景揭示出 (这也许是一切谜中最大之谜)，宇宙必定包含比我们能看到的多得多的东西，这是一次新的哥白尼革命。我们熟悉和了解的物质和能量看来只是一座庞大的宇宙冰山露出水面外的顶端，其余的部分——“暗物质”和“暗能量”则是我们看不见的。宇宙冰山的可见的顶端由一个庞大的看不见的基础在神秘的力的补充作用下支撑着，这种力使熟知的引力的吸引作用变模糊了。尽管我们迄今做了种种努力，我们还不知道宇宙的大部分究竟是什么，甚至也不知道它究竟在哪里。