

“十三五”国家重点图书出版规划项目
物理学名家名作译丛

(英) 马尔科姆·朗盖尔 著
向守平 郑久仁 朱栋培 袁业飞 译

物理学中的理论概念

Theoretical Concepts in Physics

国科学技术大学出版社

“十三五”国家重点图书出版规划项目
物理学名家名作译丛

(英) 马尔科姆·朗盖尔 著
向守平 郑久仁 朱栋培 袁业飞 译



物理学中的理论概念

Theoretical Concepts in Physics

中国科学技术大学出版社

安徽省版权局著作权合同登记号:121414030 号

Theoretical Concepts in Physics, second edition by Malcolm Longair

first published by Cambridge University Press 2003.

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China by arrangement with Cambridge University Press Inc., New York, United States.

© Cambridge University Press & University of Science and Technology of China Press 2017

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press & University of Science and Technology of China Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版仅限在中华人民共和国境内(香港、澳门特别行政区及台湾地区除外)销售。

图书在版编目(CIP)数据

物理学中的理论概念/(英)马尔科姆·朗盖尔(Malcolm Longair)著;向守平,郑久仁,朱栋培,袁业飞译.—合肥:中国科学技术大学出版社,2017.8(2017.9重印)

(物理学名家名作译丛)

“十三五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03376-6

I. 物… II. ①马… ②向… ③郑… ④朱… ⑤袁… III. 物理学—研究
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 102306 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjdsxcbs.tmall.com>

印刷 合肥华苑印刷包装有限公司

发行 中国科学技术大学出版社

经销 全国新华书店

开本 710 mm×1000 mm 1/16

印张 32.5

字数 673 千

版次 2017 年 8 月第 1 版

印次 2017 年 9 月第 2 次印刷

定价 99.00 元

译者简介

向守平，男，1945年生，1981年毕业于中国科学技术大学天体物理专业，获硕士学位；1993年获瑞士巴塞尔大学博士学位。1995年晋升为教授。研究领域为宇宙学和相对论天体物理学，并长期从事大学物理与天体物理基础课程教学工作。2011年获教育部第六届高等学校教学名师奖。

郑久仁，男，1937年生，物理学教授，长期在中国科学技术大学从事物理教学和统计物理理论研究工作，曾参与《物理学大题典》的编写工作。

朱栋培，男，1941年生，1965年毕业于中国科学技术大学近代物理系，并留校从事理论物理的教学与研究工作。研究方向为量子物理与量子场论。

袁业飞，男，1972年生，1999年获中国科学技术大学理学博士学位，现为中国科学技术大学物理学院教授。主要研究方向为黑洞视界附近的气体及恒星的动力学和辐射。

编 委 会

主 编 叶铭汉 陆 焱 张焕乔 张肇西 赵政国

编 委 (按姓氏笔画排序)

马余刚(上海应用物理研究所)	叶沿林(北京大学)
叶铭汉(高能物理研究所)	任中洲(南京大学)
庄鹏飞(清华大学)	陆 焱(紫金山天文台)
李卫国(高能物理研究所)	邹冰松(理论物理研究所)
张焕乔(中国原子能科学研究院)	张新民(高能物理研究所)
张肇西(理论物理研究所)	郑志鹏(高能物理研究所)
赵政国(中国科学技术大学)	徐珊珊(近代物理研究所)
黄 涛(高能物理研究所)	谢去病(山东大学)

内 容 简 介

本书以一种独创、新颖且全面综合的方法对物理学中的理论研究进行了探讨,并以真实的物理学是科学家不断探索和实践的结果的视角阐述主题。作者试图将本书作为大学本科高年级物理课程的补充读物,并假定读者对普通物理的知识已有所了解。利用对7个专题的系列研究,作者着重描述了理论物理学中某些最难的概念、科学家们充满智慧的艰难探索,以及研究和发现所带来的激动和欣喜。这些专题研究包括牛顿运动定律和万有引力定律起源、麦克斯韦方程组、线性/非线性力学与动力学、热力学与统计物理、量子概念起源、狭义相对论、广义相对论与宇宙学。本版在处理方式上与受到读者高度好评的第1版相同,但在第1版的基础上做了全面修订,并增加了许多新的案例。

本书适合用作研究生和高年级本科生的教材。译者是在各专题领域工作多年的著名学者。

前 言

本书写作的动机源于1977~1980年我在剑桥大学给准备进入物理学和理论物理学最后一年学习的本科生所讲授的一门课程。该课程的目的是概述物理学理论研究的本质,以使学生更容易接受最后一年多门物理学课程的高强度学习。该课程的宗旨在第1章和其后的相关论题中做了描述,其中使我感受强烈的是:学生在学习大学本科物理学课程时,如果不理解其内涵、处理方法以及被专业物理学家作为研究工具的技术,就领会不到人类的智慧激情与物理学之美。该课程曾作为普通物理课程的替代课程,并命名为“物理学中的理论概念”。

这一课程的一个重要特点是:它是由学生自主选择的,并且完全没有考试。该课程于每周一、周三、周五上午9:00开始讲授,在7~8月间持续讲授4周,该时间段正是剑桥大学多年来的夏季学期,正好处于最后一学年物理课开课之前的阶段。因除了开课的时间选择外,该课程没有考试,加上夏季阶段剑桥大学特有的吸引力,所以有为数众多的学生选修该课程。学生们的积极反馈使我非常愉悦,也因此激励我把这一课程内容写成出版物出版。我还没有看到其他任何一本书所包含的内容与此书相同。

本书第1版于1984年出版,书中增添了我讲授物理学和理论物理学的一些体会。那时我已经担任爱丁堡皇家天文台台长并负责爱丁堡大学天文系的工作。1991年我回到剑桥大学,深入参与了物理教学大纲的修订工作,并在此基础上建立了当前的3年或4年的课程体系。最后,4年里我更新了旧课程的内容,并将它更名为“物理学中的概念”。我继续扩展补充所讨论内容的范围,这些最近补充的许多内容已包括在这一新版本中。

我在第1版中强调过的许多特点在新版本中仍然有所体现。本书

对物理学以及理论物理学采用的是一种高度独立的处理方式。它绝不是正规的大学物理课程那样的物理学和理论物理学系统阐述的替代品。本书应当被看作是对正规教学内容的补充,它从物理学如何产生以及物理学家和理论物理学家在实际中如何工作的角度,阐述和补充相关教学内容。如果我能使学生像专业物理学家那样了解和热爱物理学,或者哪怕只是使学生提高了一点对物理学的欣赏能力,这本书就达到了目的。

在第1版中我有意突出了主要人物个人的卓越贡献,这在很大程度上扩展了传统教科书的内容。我的意图是强调每个物理学家探讨问题的个性,以使我讲述物理学如何取得进展时有比较多的自由空间来表达自己的观点和感受。20年之后,我发现自己的写作风格发生了变化。现在看来,和现在的写作风格相比,我早期的写作非常“夸张”并“无拘无束”。显然,现在的行文更为谨慎,部分内容是对以前的一些不是很正确的论点,经过深思熟虑后改变其所强调的重点的结果。但无需担心,第1版中所洋溢的热情在新版中丝毫没有减少,只是写作时采用了更为成熟的观点。最终,我把全书从头到尾做了改写,试图在保留早期写作活力的同时,使语言表述上尽可能准确。

本书中所表述的观点显然都是我自己的,但我的许多剑桥和爱丁堡的同事,在将我的想法用公式表述出来以及理清我的思路方面起了重要作用。对该课程的最初设想来自我与库克(Alan Cook)、海涅(Volker Heine)和沃尔瑟姆(John Waldram)的讨论。我从海涅和斯科特(J. M. C. Scott)手中承接了“数学物理例题”课程,这门课程对我理顺自己的思路帮助极大。此后几年里,约瑟夫森(Brian Josephson)对“概念”课程提供了帮助并提出了许多精辟的见解。在我讲述热力学部分时,正好豪伊(Archie Howie)也在讲授“热力学”课程,我在与他的讨论中受益匪浅。“概念”课程作为1990年代课程改革的一部分,豪伊也参与了该课程的讲授,我很乐于研究他的许多创新之处并进一步加以发挥。

在爱丁堡,布兰德(Peter Brand)、皮科克(John Peacock)和海文斯(Alan Heavens)对我在一些概念的理解方面有过很大帮助。在剑桥,许多同事对我把物理学生动地介绍给大学生的努力给予了很大支持。特别感谢沃尔瑟姆和格林(David Green),他们在和我一起共同授课期间,与我进行过无数次的讨论。我还要感谢格尔(Steve Gull)和雷森比(An-

thony Lasenby), 他们的讨论给予我的帮助无法估量。马哈詹 (Sanjoy Mahajan) 对量纲方法一节特别感兴趣, 并且仔细阅读了我所写的内容, 我对他的帮助与建议非常感激。特别还要感谢哈曼 (Peter Harman), 他阅读了我写的有关麦克斯韦方程组的部分并提出了有益的建议。

有两个组织不断为我提供有关物理学的宝贵见解。第一个是物理系教学委员会。我认为, 一部关于如何讲授物理学和理论物理学的热烈讨论的录像, 也许比整个课程教给学生的物理知识还要多。第二个是教职员-学生物理学协商委员会。它像是一个大市场, 在那里, 物理学课程的组织者在教学的所有环节中面对的是一群聪明且能言善辩的顾客。学生们参与这些讨论, 大大有助于所讨论的内容公开。

我必须还要感谢多年来听过我的这门课或其他课的大学生们对我的激励。他们的评论和热情使得本书第 1 版最终问世。新的一版也是如此——剑桥大学的学生们是一种珍稀资源, 他们使得讲课和教学成为一种特殊的荣幸和真正的享受。

恐怕我最应当感谢的是已故的赖尔 (Martin Ryle) 和朔伊尔 (Peter Scheuer), 他们在 1960 年代 (即我在射电天文研究室工作期间) 指导过我的研究工作, 教会我如何成为一名物理学家。我从他们那里学到的真正的物理学, 比从其他任何人那里学到的都要多。对我同样有极大影响的, 还有已故的泽尔多维奇 (Yakov Borisovich Zeldovich), 以及我的同事桑尼耶夫 (Rashid Sunyaev)。1968~1969 年, 在莫斯科的这一年是我打开物理学和天体物理学新思路革命性的一年。另一个对我有很大影响的人是皮帕德 (Brian Pippard), 他对物理学的透彻见解给了我深刻的启发。尽管我和他在物理观点上有很大不同, 但在我们一起讨论过的物理问题中, 没有哪个问题我没有迅速受到他的启发。

许多人为这本书的编写提供了帮助, 我对他们深表谢意。在爱丁堡编写第 1 版时, 墨里 (Janice Murray) 和霍伯 (Susan Hooper) 高质量地完成了大部分打字工作。弗雷特韦尔 (Marjorie Fretwell) 帮我画了所有的线描图, 其中许多图在第 2 版时重新画了一遍。爱丁堡皇家天文台照相实验室的哈德利 (Brian Hadley) 及其同事们帮我把图缩小到适宜出版的尺寸, 并提供了第 1 版所用的所有照片。皇家天文台图书馆的工作人员帮助我查找参考文献, 正是他们的努力, 使得克劳福德 (Crawford)

收藏的老版科学著作中许多珍贵的资料照片得以发表。

在本书第 2 版的编写过程中,安德鲁斯(Judith Andrews)令人赞叹地把第 1 版中的大量内容转换成 LaTeX 文本;同样重要的是,她是我的秘书和私人助理,在她的帮助之下,我在做管理实验室工作的同时,得以有时间改写这本书。

由于全力以赴地工作,我感到亏欠妻子黛博拉(Deborah)和两个孩子马克(Mark)和莎拉(Sarah)很多,这种情感是无法用语言来表述的。

作者

目 次

前言	(i)
第 1 章 引言	(1)
1.1 对读者的说明	(1)
1.2 本书的由来	(4)
1.3 对读者的告诫	(5)
1.4 物理和理论物理的本质	(5)
1.5 环境的影响	(7)
1.6 本书的计划	(8)
1.7 致歉和鼓励的话	(9)
1.8 参考文献	(10)

专题 1 牛顿运动定律和万有引力定律起源

第 2 章 从托勒密到开普勒——哥白尼的革命	(13)
2.1 古代史	(13)
2.2 哥白尼的革命	(16)
2.3 第谷·布拉赫——天堡之主	(18)
2.4 开普勒与天体和谐	(22)
2.5 参考文献	(28)
第 3 章 伽利略与物理科学的本质	(30)
3.1 引言	(30)
3.2 作为实验物理学家的伽利略	(30)
3.3 伽利略望远镜的发现	(36)
3.4 问题的要点	(38)
3.5 对伽利略的审判	(42)

3.6 伽利略相对论	(43)
3.7 反思	(45)
3.8 参考文献	(47)
第4章 牛顿与引力定律	(48)
4.1 引言	(48)
4.2 林肯郡(1642~1661)	(48)
4.3 剑桥(1661~1665)	(49)
4.4 林肯郡(1665~1667)	(49)
4.5 剑桥(1667~1696)	(54)
4.6 炼金术士牛顿	(58)
4.7 对古代经典的解读	(60)
4.8 伦敦(1696~1727)	(61)
4.9 参考文献	(62)
第4章附录 关于圆锥曲线和有心轨道的注释	(63)

专题2 麦克斯韦方程组

第5章 麦克斯韦方程组的起源	(72)
5.1 电磁学的发端	(72)
5.2 法拉第及其力线——没有数学的数学	(75)
5.3 麦克斯韦怎样导出电磁场方程组	(80)
5.4 赫兹与电磁波的发现	(90)
5.5 反思	(92)
5.6 参考文献	(93)
第5章附录 有用的矢量场	(94)
第6章 改写电磁学史	(105)
6.1 引言	(105)
6.2 麦克斯韦矢量方程组	(106)
6.3 电磁学的高斯定理	(107)
6.4 与时间无关的保守力场	(108)
6.5 电磁学的边界条件	(108)
6.6 安培环路定理	(112)
6.7 法拉第电磁感应定律	(112)

6.8	本构方程	(113)
6.9	库仑定律的导出	(114)
6.10	毕奥-萨伐尔定律的导出	(116)
6.11	解释介质中的麦克斯韦方程组	(116)
6.12	电磁场的能量密度	(120)
6.13	结束语	(123)
6.14	参考文献	(124)

专题3 线性/非线性力学与动力学

第7章	力学与动力学方法	(127)
7.1	牛顿运动定律	(127)
7.2	“最小作用”原理	(129)
7.3	欧拉-拉格朗日方程	(132)
7.4	小振动与简正模式	(135)
7.5	守恒定律与对称性	(139)
7.6	哈密顿量与泊松括号	(142)
7.7	提示	(144)
7.8	参考文献	(145)
第7章附录	流体运动	(145)
第8章	量纲分析、混沌与自组织临界性	(151)
8.1	引言	(151)
8.2	量纲分析	(151)
8.3	混沌简介	(165)
8.4	标度律与自组织临界性	(176)
8.5	超越计算	(183)
8.6	参考文献	(184)

专题4 热力学与统计物理

第9章	热力学基础	(189)
9.1	热量和温度	(189)
9.2	热的气体动理论与热质论	(190)

9.3	热力学第一定律	(194)
9.4	热力学第二定律的起源	(204)
9.5	热力学第二定律	(209)
9.6	熵	(218)
9.7	熵增原理	(220)
9.8	合并了热力学第一、第二定律的微分式	(224)
9.9	参考文献	(224)
第9章附录 麦克斯韦关系和雅可比行列式		(225)
第10章	气体动理论与统计力学的起源	(230)
10.1	气体动理论	(230)
10.2	气体动理论(第一版本)	(231)
10.3	气体动理论(第二版本)	(232)
10.4	麦克斯韦速度分布	(237)
10.5	气体的黏滞度	(242)
10.6	热力学第二定律的统计性质	(245)
10.7	熵与概率	(247)
10.8	熵与态密度	(251)
10.9	吉布斯熵与信息	(254)
10.10	结束语	(257)
10.11	参考文献	(257)

专题5 量子概念起源

第11章	1895年前的黑体辐射	(261)
11.1	1890年物理的状态	(261)
11.2	辐射发射和吸收的基尔霍夫定律	(262)
11.3	斯特藩-玻尔兹曼定律	(266)
11.4	维恩位移定律及黑体辐射谱	(274)
11.5	参考文献	(277)
第12章	1895~1990:普朗克与黑体辐射谱	(279)
12.1	普朗克的早期生涯	(279)
12.2	热平衡中的振子与它们的辐射	(281)
12.3	谐振子的平衡辐射谱	(286)

12.4	通向黑体辐射谱	(289)
12.5	普朗克辐射定律的最初形式	(292)
12.6	瑞利与黑体辐射谱	(294)
12.7	黑体辐射定律与实验的比较	(297)
12.8	参考文献	(298)
	第12章附录 瑞利1900年带原始脚注的文章	(300)
第13章	黑体辐射的普朗克理论	(302)
13.1	引言	(302)
13.2	统计力学的玻尔兹曼方法	(302)
13.3	普朗克的分析	(305)
13.4	普朗克和自然单位	(308)
13.5	普朗克和 h 的物理意义	(310)
13.6	为什么普朗克找到了正确的答案	(312)
13.7	参考文献	(315)
第14章	爱因斯坦和光的量子化	(317)
14.1	爱因斯坦的奇迹年	(317)
14.2	关于光的产生和转化的一个启发性观点	(319)
14.3	固体的量子理论	(325)
14.4	德拜的比热容理论	(328)
14.5	再论气体比热容	(330)
14.6	结束语	(334)
14.7	参考文献	(334)
第15章	量子假说的胜利	(336)
15.1	1909年的情况	(336)
15.2	盒中粒子的涨落	(336)
15.3	随机叠加的波的涨落	(339)
15.4	黑体辐射中的涨落	(340)
15.5	第一届索尔维会议	(342)
15.6	玻尔的氢原子理论	(345)
15.7	爱因斯坦(1916)“关于辐射的量子理论”	(351)
15.8	故事结语	(355)
15.9	参考文献	(357)
	第15章附录 存在噪声时对信号的探测	(358)

专题 6 狭义相对论

第 16 章 狭义相对论——不变量的研究	(366)
16.1 引言	(366)
16.2 几何和洛伦兹变换	(373)
16.3 三维矢量和四维矢量	(375)
16.4 相对论动力学——动量和力的四维矢量	(380)
16.5 描述运动的相对论方程	(384)
16.6 频率四维矢量	(386)
16.7 洛伦兹收缩和磁场起源	(387)
16.8 反思	(389)
16.9 参考文献	(390)

专题 7 广义相对论与宇宙学

第 17 章 广义相对论初步	(394)
17.1 引言	(394)
17.2 相对论引力的本质特征	(397)
17.3 各向同性的弯曲空间	(405)
17.4 通往广义相对论之路	(409)
17.5 施瓦西度规	(413)
17.6 围绕点质量的粒子轨迹	(415)
17.7 行星轨道近日点进动	(421)
17.8 施瓦西时空中的光线	(423)
17.9 黑洞附近的粒子和光线	(425)
17.10 施瓦西黑洞周围的圆轨道	(427)
17.11 参考文献	(430)
第 17 章附录 各向同性弯曲空间	(431)
第 18 章 宇宙学技术	(436)
18.1 引言	(436)
18.2 约瑟夫·夫琅禾费	(436)
18.3 摄影术的发明	(437)

18.4	新一代望远镜	(439)
18.5	天文学基金	(444)
18.6	电子革命	(448)
18.7	第二次世界大战的影响	(449)
18.8	紫外线、X 射线、 γ 射线天文学	(451)
18.9	反思	(453)
18.10	参考文献	(454)
第 19 章	宇宙学	(456)
19.1	宇宙学和物理学	(456)
19.2	基本宇宙学数据	(457)
19.3	罗伯逊-沃克度规	(461)
19.4	宇宙观测	(465)
19.5	历史插曲——稳态理论	(470)
19.6	标准世界模型	(472)
19.7	宇宙的热历史	(481)
19.8	早期宇宙的核合成	(488)
19.9	最好的宇宙学模型	(492)
19.10	参考文献	(495)
	第 19 章附录 空宇宙的罗伯逊-沃克度规	(495)
	后记	(498)
	索引	(499)