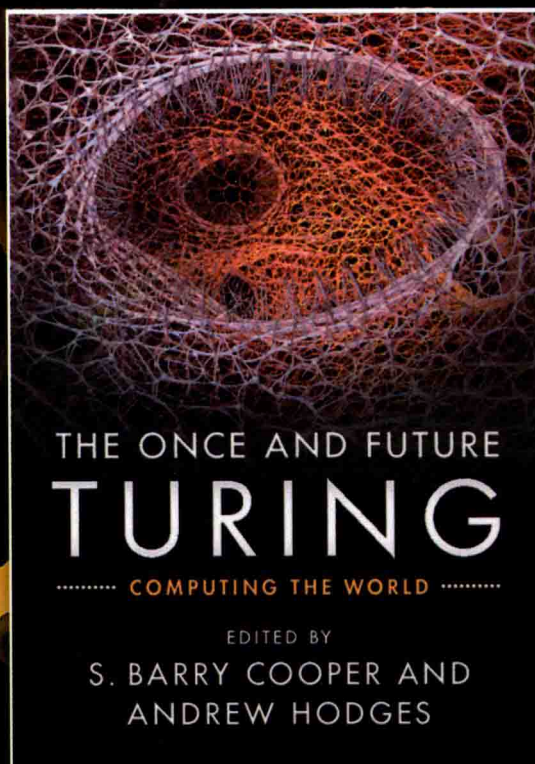


永恒的图灵

20位科学家对图灵思想的解构与超越

[英] S. 巴里·库珀 (S. Barry Cooper) 等著
安德鲁·霍奇斯 (Andrew Hodges)
堵丁柱 高晓飒 等译

The Once and Future Turing
Computing the World



计 算 机 科 学 丛 书

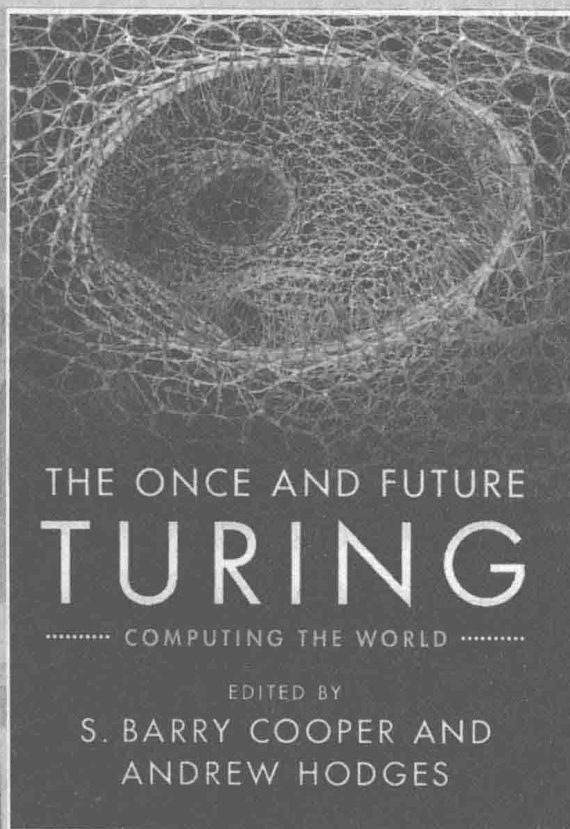
永恒的图灵

20位科学家对图灵思想的解构与超越

[英] S. 巴里·库珀 (S. Barry Cooper) 等著
安德鲁·霍奇斯 (Andrew Hodges)

堵丁柱 高晓沅 徐秋亮 李廉 徐雯 吕再新 孙晓明 蔡志鹏 译

The Once and Future Turing
Computing the World



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

永恒的图灵：20 位科学家对图灵思想的解构与超越 / (英) S. 巴里·库珀 (S. Barry Cooper) 等著；堵丁柱等译. —北京：机械工业出版社，2018.4

(计算机科学丛书)

书名原文：The Once and Future Turing: Computing the World

ISBN 978-7-111-59641-7

I. 永… II. ① S… ② 堵… III. 图灵 (Turing, Alan Mathison 1912—1954) —人物研究 IV. K835.616.16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 063974 号

本书版权登记号：图字 01-2017-0718

This is a Chinese simplified edition of the following title published by Cambridge University Press:

S. Barry Cooper, Andrew Hodges, The Once and Future Turing: Computing the World, ISBN 978-1-107-01083-3

© Cambridge University Press 2016

This Chinese simplified edition for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press and China Machine Press in 2018

This Chinese simplified edition is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorized export of this simplified Chinese is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and China Machine Press.

本书原版由剑桥大学出版社出版。

本书简体字中文版由剑桥大学出版社与机械工业出版社合作出版。未经出版者预先书面许可，不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

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。

永恒的图灵：20 位科学家对图灵思想的解构与超越

出版发行：机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码：100037）

责任编辑：曲 熠

责任校对：殷 虹

印 刷：北京文昌阁彩色印刷有限责任公司

版 次：2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

开 本：185mm × 260mm 1/16

印 张：23.5

书 号：ISBN 978-7-111-59641-7

定 价：119.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

客服热线：(010) 88379426 88361066

投稿热线：(010) 88379604

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱：hzit@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问：北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

译者序

The Once and Future Turing: Computing the World

本书的译者大多数首次承担翻译工作。翻译与阅读不太一样。阅读只要意会，而翻译需要加上言谈。既然是首次，自然有一定的困难。可是，为什么大家愿意承担这项工作呢？最重要的原因在于，这是本吸引人的好书。它的吸引人之处并非图灵的传奇故事，而是涉及计算机技术未来的丰富思想。毫无疑问，这本书是为纪念伟大的计算机先驱图灵而编写的，它遍数了图灵曾经产生过的各种各样的天才想法。同时，书中也阐述了这些思想在近代的发展，并且更重要的是，展望了这些科学思想的未来前景。

图灵不愧是个天才，他的思想极其丰富，琳琅满目，令人目不暇接。不仅仅涉及计算机科学与技术，而且涉及物理、生物以及为人类思维建模的奇特想法。在工作之余，阅读此书，会让人耳目一新，思路开阔。

让更多的人受益，这是我们翻译此书的心意和衷心的期望。

堵丁柱

2018年1月

前 言

The Once and Future Turing: Computing the World

这本书源于数理逻辑学家巴里·库珀的提议。在2007年时，他已经在筹划一个会议，纪念阿兰·图灵诞辰一百周年，不过，对于复兴图灵研究而言，这仅仅是他巨大的、充满激情的奉献的开端。2009年，在编辑图灵的一部新的极为重要的论文专辑时，他（和我一起）向剑桥大学出版社提出了一个想法，出版一本关于“图灵与计算之未来”的书。在与出版社的大卫·特纳拉赫和塞维亚·芭比娜接触以后，巴里和我感觉这是个机会，让当今顶尖的科学家们把图灵遗产中动人且有挑战性的部分带给广大读者。

2010年，我们确定了书名 The Once and Future Turing，并且开始约稿。这项计划依靠的是巴里·库珀担任欧洲可计算性学会主席以及参与数不胜数的学术会议组织委员会所凝聚的网络力量。更为重要的是，计划中饱含他充满智慧的探索，呈现了逻辑与现代物理以及人类科学之间的相互影响。巴里对于“Computing the World”有着独到的见解，他将其作为副书名，并在书中五个部分的开篇对其做了进一步阐释，这些都是他对本书的贡献。我的贡献（包括全书开篇的引言）主要围绕图灵之曾经（Turing Once），巴里则书写了图灵之未来（Turing Future）。

非常不幸，在本书准备工作的最后阶段，巴里突然去世了。特别令人难过的是，他没能看到本书的出版。巴里诚挚地感谢剑桥大学出版社的每个参与者，我也是一样。同时，感谢撰写各章的杰出作者们，他们慷慨地工作并且永远充满耐心。这些章节从各个方面反射出时间与人类生命的奇迹，展现了一幅未来之景，如果图灵和巴里·库珀还活着，这一定是他们希望看到的。

安德鲁·霍奇斯

2016年1月

本书作者

The Once and Future Turing: Computing the World

Scott Aaronson, Department of Electrical Engineering and Computer Science,
Massachusetts Institute of Technology, Cambridge MA 02139, USA.
aaronson@csail.mit.edu, www.scottaaronson.com

Ruth E. Baker, Wolfson Centre for Mathematical Biology, Mathematical Institute,
Andrew Wiles Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock Road,
Oxford OX2 6GG, UK.
baker@maths.ox.ac.uk

Andrew R. Booker, Department of Mathematics, University of Bristol, University
Walk, Clifton, Bristol BS8 1TW, UK.
www.maths.bris.ac.uk/~maarb

The late S. Barry Cooper, School of Mathematics, University of Leeds, Leeds LS2
9JT, UK.
www1.maths.leeds.ac.uk/~pmt6sbc/

Martin Davis, 3360 Dwight Way Berkeley CA 94704-2523, USA.
www.cs.nyu.edu/faculty/davism/

Solomon Feferman, Department of Mathematics, Stanford University, Stanford
CA 94305-2125, USA.
math.stanford.edu/~feferman/

Eamonn A. Gaffney, Wolfson Centre for Mathematical Biology, Mathematical
Institute, Andrew Wiles Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock
Road, Oxford OX2 6GG, UK.
gaffney@maths.ox.ac.uk

Richard Gordon, Embryogenesis Center, Gulf Specimen Marine Laboratory,
Panacea FL 32346, USA, and C.S. Mott Center for Human Growth &
Development, Department of Obstetrics & Gynecology, Wayne State
University, Detroit MI 48201, USA.
<http://tinyurl.com/DickGordon>

Douglas Richard Hofstadter, Center for Research on Concepts and Cognition,
Indiana University, 512 North Fess Avenue, Bloomington, IN 47408, USA.
www.soic.indiana.edu/people/profiles/hofstadter-douglas.shtml

Martin Hyland, DPMMS, Centre for Mathematical Sciences, Cambridge
University, Wilberforce Road, Cambridge CB3 0WB, UK.
<https://www.dpmms.cam.ac.uk/people/j.m.e.hyland/>

Stuart Kauffman, Departments of Mathematics and Biochemistry, University of
Vermont, USA.
http://en.wikipedia.org/wiki/Stuart_Kauffman

Philip K. Maini, Wolfson Centre for Mathematical Biology, Mathematical
Institute, Andrew Wiles Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock
Road, Oxford OX2 6GG, UK.
<https://people.maths.ox.ac.uk/maini/>

Kanti V. Mardia, School of Mathematics, University of Leeds, Leeds LS2 9JT,
UK; and Department of Statistics, University of Oxford, Oxford OX1 3TG, UK.
<http://www1.maths.leeds.ac.uk/~sta6kvm/>

Ueli Maurer, Department of Computer Science, ETH Zürich, CH-8092 Zürich,
Switzerland.
<http://www.crypto.ethz.ch/~maurer/>

Roger Penrose, Mathematical Institute, University of Oxford, Andrew Wiles
Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock Road, Oxford OX2 6GG,
UK.
<http://www.maths.ox.ac.uk/people/profiles/roger.penrose>

Christof Teuscher, Portland State University, Department of Electrical and
Computer Engineering, P.O. Box 751, Portland OR 97207-0751, USA.
christof@teuscher.ch, <http://www.teuscher-lab.com>

Philip D. Welch, Department of Mathematics, University Walk, Clifton, Bristol
BS8 1TW, UK.
<http://www.maths.bris.ac.uk/people/faculty/mapdw/>

Stephen Wolfram, Wolfram Research Inc., 100 Trade Center Drive, Champaign,
IL 61820, USA.
<http://www.stephenwolfram.com>

Thomas E. Woolley, Wolfson Centre for Mathematical Biology, Mathematical
Institute, Andrew Wiles Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock
Road, Oxford OX2 6GG, UK.
woolley@maths.ox.ac.uk

Andrew Hodges, Mathematical Institute, University of Oxford, Andrew Wiles
Building, Radcliffe Observatory Quarter, Woodstock Road, Oxford, OX2
6GG, UK.
www.synth.co.uk

本书译者

The Once and Future Turing: Computing the World

堵丁柱，负责引言、第 15 章和后记

得克萨斯大学达拉斯分校，计算机科学系，www.utdallas.edu/~dxd056000/

高晓汾，负责第 1 ~ 3 章和第 13 章

上海交通大学，计算机科学与工程系，www.cs.sjtu.edu.cn/~gao-xf/

徐秋亮，负责第 4 章

山东大学，计算机科学与技术学院，www.cs.sdu.edu.cn/zh/~xql

李廉，负责第 5 ~ 8 章

合肥工业大学，现已退休

徐雯，负责第 9、10 章

得克萨斯女子大学，数学与计算机科学系，twu.edu/math-computer-science/faculty-and-staff/wen-xu-phd/

吕再新，负责第 11 章

华盛顿州立大学，计算机科学系，directory.vancouver.wsu.edu/people/zaixin-lu

孙晓明，负责第 12 章

中国科学院计算技术研究所，sourcedb.ict.cas.cn/cn/jssrck/201110/t20111012_3361678.html

蔡志鹏，负责第 14 章

佐治亚州立大学，计算机科学系，grid.cs.gsu.edu/zcai/

目 录

The Once and Future Turing: Computing the World

译者序

前言

本书作者

本书译者

引 言 / 1

第一部分 置身可计算的世界，探索普适性数学

第 1 章 算法、方程和逻辑 / 11

◎马丁·戴维斯

1.1 方法概览 / 12

1.2 例子：完全平方数集 / 13

1.3 一些关系 / 14

1.4 猜想变成定理的故事 / 15

1.5 通用方程 / 18

1.6 素数和一个丑陋的多项式 / 19

1.7 逻辑 / 21

1.8 关于数学 / 22

1.9 关于朱莉娅·罗宾逊的电影 / 23

附录：不可解性定理的证明 / 23

参考文献 / 24

第2章 被遗忘的图灵 / 25

◎J. M. E. 海兰

2.1 引言 / 25

2.2 唯一的学生 / 25

2.3 回忆 / 26

2.4 早年时光 / 27

2.5 学生与导师 / 29

2.6 中文翻译 / 30

2.7 一个想法的产生 / 31

2.8 远见和反思 / 32

2.9 图灵和类型论 / 33

2.10 图灵的理论倾向 / 34

2.11 从未完稿的论文 / 35

2.12 图灵的遗产 / 37

参考文献 / 37

第3章 图灵和素数 / 39

◎安德鲁 R. 布克

3.1 素数 / 39

3.2 大素数 / 41

3.2.1 梅森素数 / 41

3.2.2 电子时代的梅森素数 / 42

3.3 素数的分布 / 44

3.3.1 黎曼 ζ 函数 / 45

3.3.2 图灵与黎曼猜想 / 47

3.3.3 形式化证明 / 51

3.4 今天与未来 / 51

参考文献 / 56

第4章 图灵之后的密码学和计算 / 57

◎乌力·毛勒

4.1 引言 / 58

4.2 密码学 / 59

4.2.1	引言	/ 59
4.2.2	密钥的需求	/ 60
4.2.3	安全性证明	/ 60
4.3	计算	/ 61
4.4	迪菲-赫尔曼密钥协商协议	/ 62
4.4.1	预备知识	/ 62
4.4.2	有效的乘幂运算	/ 63
4.4.3	密钥协商协议	/ 63
4.5	群上的离散对数及其他计算问题	/ 65
4.6	离散对数算法	/ 66
4.6.1	引言	/ 66
4.6.2	大步小步算法	/ 67
4.6.3	波利格-赫尔曼算法	/ 68
4.7	抽象计算模型	/ 69
4.7.1	动机	/ 69
4.7.2	计算模型	/ 70
4.7.3	三种问题类型	/ 71
4.8	证明安全性: 复杂度下界	/ 72
4.8.1	引言	/ 72
4.8.2	两个引理	/ 73
4.8.3	群作用和大步小步算法的最优性	/ 74
4.8.4	离散对数和波利格-赫尔曼算法的最优性	/ 75
4.8.5	\mathbb{Z}_n 中的乘积计算和 CDH 问题	/ 77
4.8.6	DDH 问题	/ 78
4.8.7	DL 问题到 CDH 问题的一般归约	/ 79
4.9	结论	/ 79
	致谢	/ 79
	参考文献	/ 80
第 5 章 图灵与恩尼格玛统计学 / 81		
©坎蒂 V. 马蒂亚, S. 巴里·库珀		
5.1	引言	/ 81

- 5.2 事例的权重与经验贝叶斯 / 83
- 5.3 字母队列 / 84
 - 5.3.1 恩尼格玛编码描述 / 84
 - 5.3.2 字母队列的重要性 / 85
- 5.4 GCHQ 解密的两个重要的图灵报告 / 85
- 5.5 图灵的全局统计观 / 87
 - 5.5.1 统计学和抽象层次 / 87
 - 5.5.2 扩展信息分层 / 88
- 5.6 形态发生、统计和图灵的人工智能 / 89
- 参考文献 / 90

第二部分 过程计算而非计算大脑

第6章 图灵的洞察 / 96

◎斯蒂芬·沃尔弗拉姆

参考文献 / 107

第7章 外设计算和内生计算 / 108

◎克里斯托夫·托伊舍

7.1 自顶向下和自底向上的设计 / 108

7.2 内生计算和外设计算 / 109

7.3 图灵的自底向上计算模式 / 110

7.4 从内生计算到外设计算 / 112

7.5 展望 / 115

参考文献 / 116

第8章 迟钝呆板的人类遇见顶级机器翻译家 / 118

◎侯世达

第三部分 通向计算生命的逆向工程之路

第9章 图灵理论之发育模式形成 / 133

◎菲利普 K. 梅尼, 托马斯 E. 伍利, 埃蒙 A. 加夫尼, 露丝 E. 贝克

9.1 引言 / 133

9.2 发育的应用场景 / 137

9.3 图灵理论的扩展 / 138

9.4 关于图灵模型的争议 / 139

9.5 图灵的影响 / 142

致谢 / 142

参考文献 / 142

第10章 走钢丝绳：图灵形态发生学中分层不稳定性的困境 / 145

◎理查德·高登

致谢 / 155

参考文献 / 155

第四部分 量子计算的生物学、思维和推广

第11章 回答笛卡儿：超越图灵 / 162

◎斯图亚特·考夫曼

11.1 引言 / 162

11.2 机器思维 / 163

11.3 思维、意识和机器思维 / 167

11.3.1 回答笛卡儿 / 170

11.3.2 封闭式量子系统和双缝实验 / 170

11.3.3 开放式量子系统 / 171

11.3.4 稳定的域 / 172

11.3.5 非算法的、非确定性的、非随机的反图灵系统 / 173

11.3.6 负责任的自由意志 / 175

11.3.7 回答笛卡儿：思维如何在大脑中活动 / 176

11.3.8 潜能和广延实体通过量子测量相联系 / 177

11.3.9 意识是什么 / 178

11.3.10 感受性与量子测量的关系 / 179

11.3.11 最前端的大脑 / 181

11.3.12 量子纠缠、萨穆利的观点和捆绑问题 / 182

11.3.13 反图灵系统的编程 / 183

11.4 结论 / 184

附言 / 184

致谢 / 186

参考文献 / 186

第 12 章 量子图灵机中的幽灵 / 189

◎ 斯科特·阿伦森

12.1 引言 / 190

12.1.1 “自由意志”与“自由” / 194

12.1.2 关于本章标题的注释 / 197

12.1.3 阅读本章所需的知识水平 / 197

12.2 常见问题 / 198

12.2.1 狭窄的科学主义 / 198

12.2.2 偷梁换柱 / 199

12.2.3 相容论 / 201

12.2.4 量子梦话 / 203

12.2.5 大脑上传：谁会在乎 / 204

12.2.6 决定论与可预测性 / 208

12.2.7 量子力学与隐藏变量 / 209

12.2.8 结果论证 / 212

12.2.9 预测悖论 / 214

12.2.10 奇点主义 / 214

12.2.11 利贝实验 / 216

12.2.12 心灵和道德 / 218

12.3 奈特不确定性和物理 / 219

12.3.1 奈特不确定性 / 220

12.3.2 量子力学与不可克隆定理 / 224

12.3.3 自由比特构想 / 227

12.3.4 放大与大脑 / 230

12.3.5 反对假想小人 / 233

12.4 从内而外的自由 / 233

12.4.1 协调问题 / 236

12.4.2 微观事实与宏观事实 / 239

12.5 进一步的反对意见 / 240

- 12.5.1 广告商异议 / 240
- 12.5.2 天气异议 / 241
- 12.5.3 沙鼠异议 / 242
- 12.5.4 初始状态异议 / 245
- 12.5.5 维格纳的朋友异议 / 247
- 12.6 与彭罗斯观点的比较 / 250
- 12.7 应用到玻尔兹曼大脑上 / 256
- 12.8 指代和自由比特 / 257
- 12.9 自由比特构想能被证伪吗 / 261
- 12.10 结论 / 263
- 致谢 / 267
- 附录 A 定义“自由” / 268
- 附录 B 预测和柯尔莫戈洛夫复杂度 / 274
- 附录 C 奈特量子态 / 278
- 参考文献 / 279

第五部分 神谕、无限计算和心智的物理学

第 13 章 图灵的神谕：从绝对可计算性到相对再返回 / 286

◎所罗门·费弗曼

- 13.1 引言 / 286
- 13.2 “绝对”有效可计算性 / 287
 - 13.2.1 机器和递归函数 / 287
 - 13.2.2 部分递归函数 / 289
 - 13.2.3 有效不可解问题和归约方法 / 289
- 13.3 自然数的相对有效可计算性 / 291
 - 13.3.1 图灵的神谕和图灵可归约性 / 291
 - 13.3.2 递归可枚举集合、不可解度和波斯特问题 / 293
 - 13.3.3 波斯特问题的解和度理论的繁荣 / 296
- 13.4 自然数的一致相对可计算性 / 298
 - 13.4.1 相对计算过程和局部递归泛函数 / 298
 - 13.4.2 递归论 / 299

- 13.4.3 自然数上有限类型的局部递归泛函数 / 300
- 13.5 广义递归论 / 301
 - 13.5.1 背景与概述 / 301
 - 13.5.2 集合和序数上的可计算性 / 302
 - 13.5.3 一般结构上的可计算性 / 304
- 13.6 在真实计算中相对可计算性概念的角色 / 307
 - 13.6.1 计算实践和计算理论 / 307
 - 13.6.2 内置函数和黑盒 / 309
 - 13.6.3 编程函数方面 / 309
 - 13.6.4 抽象数据类型 / 310
 - 13.6.5 复杂性的度 / 311
 - 13.6.6 结论 / 313
- 附言 / 314
- 参考文献 / 314
- 第 14 章 图灵超越：超越事件视界 / 318**
 - ◎P. D. 韦尔奇
 - 14.1 起源 / 318
 - 14.2 极限可判定 / 323
 - 14.3 MH 时空 / 324
 - 14.4 无穷序数：超越算术 / 327
 - 14.5 回到 MH 时空 / 330
 - 14.6 \aleph_0 心智 / 331
 - 14.7 无限时间图灵机 / 333
 - 14.8 寄存器机和其他推广 / 337
 - 14.9 结论 / 340
 - 参考文献 / 341
- 第 15 章 为数学思维建模的尝试 / 342**
 - ◎罗杰·彭罗斯
 - 15.1 图灵的顺序逻辑 / 342
 - 15.2 数学之信任 / 344
 - 15.3 数学理解所基于的物理过程 / 346

15.4 Π 语句 / 347

15.5 谨慎神谕 / 349

15.6 谨慎神谕装置的运转 / 351

15.7 对于谨慎神谕装置的哥德尔型定理 / 353

15.8 物理含义 / 354

参考文献 / 355

后记 / 357