

艾伦·查尔莫斯是悉尼大学的客座副教授，自1971年起在该校任教，最初在哲学系，1987年起在科学史与科学哲学部门任教，他为该部门的建立做出了重要贡献。他于1939年出生在英国布里斯托尔，1961年毕业于布里斯托尔大学，获得物理学学士学位，并于1964年获得曼彻斯特大学的物理学硕士学位。在伦敦大学攻读博士学位之前，他曾教授了两年物理学和科学史。1971年，他获得了伦敦大学的科学史与科学哲学博士学位。1997年，他被选为澳洲人文科学院院士，并于2000年至2010年期间在弗林德斯大学哲学系担任访问学者。

感谢Gemini！！

第四版

**何为科学？**

--ALAN CHALMERS

--注译：CH/mouse\_fox

**第一版**于1976年由澳大利亚昆士兰大学出版社（地址：昆士兰州圣卢西亚，邮政信箱 6042号）出版。

**第二版**：1982年

**第三版**：1999年

* **重印**：2000年、2002年、2003年、2004年、2006年、2007年、2010年

**第四版**：2013年

www.uqp.com.au

[uqp@uqp.uq.edu.au](mailto:uqp@uqp.uq.edu.au)

© A.F. Chalmers 2013

书目出版编录（Cataloguing-in-Publication）信息可从澳大利亚国家图书馆获取：<http://catalogue.nla.gov.au/>

**作者**：查尔莫斯, A. F. (Alan Francis), 1939–。

**书名**：《何为科学?：对科学的性质、地位及其方法的评估》。

**主题**：科学 - 哲学。

**版本**：第四版。

**其他信息**：

* 附有参考文献。
* 附有索引。
* 分类号：501。

**ISBN（国际标准书号）**：

* 平装本：978-0-7022-4963-1 (pbk)
* 电子书（epub格式）：978-0-7022-5087-3 (epub)
* 电子书（kindle格式）：978-0-7022-5088-0 (kindle)
* 电子书（epdf格式）：978-0-7022-5086-6 (epdf)

**“像所有年轻人一样，我曾立志成为一个天才，但幸好，笑声介入了。”**

—— 劳伦斯·杜雷尔（Lawrence Durrell），《克莉娅》（Clea）

目录

* 第一版序言 xi
* 第二版序言 xiii
* 第三版序言 xv
* 第四版序言 xvii
* 引言 xix

**1. 科学是源于经验事实的知识**

* 一种广为接受的、常识性的科学观
* 眼见为实
* 视觉经验并非完全由被观察的客体决定
* 作为陈述来表达的可观察事实
* 为什么事实必须先于理论？
* 观察陈述的可谬性
* 延伸阅读

**2. 观察作为一种实践干预**

* 观察：是被动和私密的，还是主动和公开的？
* 伽利略与木星的卫星
* 可观察事实是客观的，但也是可错的
* 延伸阅读

**3. 实验**

* 不仅仅是事实，而是相关的事实
* 实验结果的产生与更新
* 改变科学的实验基础：历史案例
* 实验作为科学的充分基础
* 延伸阅读

**4. 从事实中推导出理论：归纳法**

* 引言
* 基础逻辑
* 科学定律能从事实中推导出来吗？
* 一个好的归纳论证包含什么？
* 归纳主义的其他问题
* 归纳主义的吸引力
* 延伸阅读

**5. 证伪主义导论**

* 引言
* 证伪主义的一个逻辑优势
* 可证伪性作为理论的标准
* 可证伪的程度、清晰度和精确度
* 证伪主义与进步
* 延伸阅读

**6. 精致证伪主义、新颖预测与科学的增长**

* 相对而非绝对的可证伪程度
* 增加可证伪性和特设性修改
* 证伪主义科学观中的证实
* 大胆性、新颖性和背景知识
* 归纳主义与证伪主义证实观的比较
* 证伪主义相对于归纳主义的优势
* 延伸阅读

**7. 证伪主义的局限性**

* 源于逻辑状况的问题
* 伪证主义在历史上是不充分的
* 哥白尼革命
* 证伪主义划界标准的不充分性与波普尔的回应
* 延伸阅读

**8. 作为结构的理论 I：库恩的范式**

* 作为结构的理论
* 托马斯·库恩简介
* 范式与常规科学
* 危机与革命
* 常规科学与革命的功能
* 库恩科学观的优点
* 库恩对通过革命实现进步的矛盾态度
* 客观知识
* 延伸阅读

**9. 作为结构的理论 II：研究纲领**

* 伊姆雷·拉卡托斯简介
* 拉卡托斯的研究纲领
* 纲领内部的方法论与纲领间的比较
* 新颖的预测
* 用历史检验方法论
* 拉卡托斯方法论的问题
* 延伸阅读

**10. 费耶阿本德的科学无政府主义理论**

* 故事发展至今
* 费耶阿本德反对方法的论点
* 耶阿本德对自由的倡导
* 对费耶阿本德个人主义的批判
* 延伸阅读

**11. 方法论中的方法论变革**

* 反对普适方法
* 用望远镜数据取代肉眼数据：标准的改变
* 理论、方法和标准的渐进式改变
* 一个轻松的插曲
* 延伸阅读

**12. 贝叶斯方法**

* 引言
* 贝叶斯定理
* 主观贝叶斯主义
* 贝叶斯公式的应用
* 对主观贝叶斯主义的批判
* 延伸阅读

**13. 新实验主义**

* 引言
* 实验拥有自己的生命
* 黛博拉·梅奥 论 严格的实验检验
* 从错误中学习并引发革命
* 展望新实验主义
* 附录：理论与实验的愉快相遇
* 延伸阅读

**14. 世界为什么会遵守规律？**

* 引言
* 作为规律性的定律
* 作为能力或倾向特征的定律
* 热力学和守恒定律
* 延伸阅读

**15. 实在论与反实在论**

* 引言
* 普适的反实在论：语言、真理和实在
* 反实在论
* 一些标准的异议和反实在论者的回应
* 科学实在论与猜想实在论
* 理想化
* 非代表性实在论或结构实在论
* 延伸阅读

**16. 第三版跋**

* 延伸阅读

**17. 附记**

* 引言
* 通过巧合论证进行的证实
* 对原子的哲学与科学认知
* 独立证据与“观察的理论依赖性”：佩兰关于布朗运动的实验
* 理论的划分：19世纪化学中的原子论
* 再次探讨实在论与反实在论
* 得到强力证实的理论永远不会被完全抛弃
* 近似真理是我们所拥有的全部
* 实在的层次
* 延伸阅读

**注释**

**参考文献**

**人名索引**

**第一版序言**

本书旨在为读者提供一个简单、清晰、基础的入门，以了解关于科学本质的现代观点。在向学习哲学的本科生或希望熟悉最新科学理论的科学家教授科学哲学时，我越来越意识到，没有一本或几本合适的书可以推荐给初学者。关于现代观点的唯一来源就是原始文献。其中许多对初学者来说过于晦涩，而且数量太多，不易让大量学生轻松获得。当然，对于任何想认真研究这个话题的人来说，本书无法取代原始文献，但我希望它能提供一个有用的、易于理解的起点，因为这样的起点目前并不存在。

我将讨论保持简单的初衷，在本书大约三分之二的部分都得到了很好的实现。当我达到这个阶段并开始批评现代观点时，我惊讶地发现：首先，我比原先以为的更不认同这些观点；其次，我的批判中逐渐形成了一个相当连贯的替代方案。这个替代方案在本书的后半部分进行了概述。我很乐意认为，本书的后半部分不仅包含了对当前科学本质观点的总结，也包含了对下一个观点的总结。

我对科学史和科学哲学的专业兴趣始于伦敦，那里的学术氛围主要受卡尔·波普尔教授的观点影响。我对他、他的著作、讲座和研讨会，以及已故的伊姆雷·拉卡托斯教授的感激之情，从本书内容中可见一斑。本书前半部分的结构在很大程度上借鉴了拉卡托斯关于研究纲领方法论的精彩文章。波普尔学派的一个显著特点是它敦促人们必须清晰地阐明自己感兴趣的问题，并以简单、直接的方式表达自己的观点。尽管我在这一点上从波普尔和拉卡托斯身上获益匪浅，但我能清晰、简单地表达自己，主要还是归功于在悉尼大学科学史与科学哲学部门的教学经历。

我在切尔西学院攻读博士学位时，导师是海因茨·波斯特教授，在科学史与科学哲学 系期间，我从他身上获益良多。我总有一种不安的感觉，他读完这本书后会把它还给我，并要求我重写那些他不理解的部分。在伦敦的同事中，我尤其要感谢 诺雷塔·科尔特格（Noretta Koertge），她当时是学生，现在印第安纳大学任教，她给了我很大的帮助。

我在前面提到波普尔学派为一个“学派”，但我直到从伦敦来到悉尼之后才真正意识到我曾身处这样一个学派之中。我惊讶地发现，有些受维特根斯坦、蒯因或马克思影响的哲学家认为波普尔在许多问题上完全错了，甚至有些人认为他的观点具有积极的危险性。我认为我从那段经历中学到了很多东西。其中之一就是，在许多重要问题上，波普尔确实错了，正如本书后半部分所论证的那样。然而，这并不能改变一个事实：波普尔的方法论比我在大多数哲学系所遇到的方法论要好得多。

我非常感谢在悉尼的朋友们，是他们把我从沉睡中唤醒。我这样说并不是暗示我接受他们的观点而不是波普尔的观点。他们比我更清楚这一点。但是，由于我无法容忍关于“框架不可通约性”的晦涩废话（波普尔主义者对此会竖起耳朵），我不得不承认并反驳我的悉尼同事和对手们的观点，这让我理解了他们观点的优点和我自己观点的不足。我希望在此特别提到让·柯特霍伊斯（Jean Curthoys）和瓦尔·萨奇廷（Wal Suchting），而没有冒犯到其他人。

幸运且细心的读者可能会在本书中发现一些借用自弗拉基米尔·纳博科夫的奇特比喻，他们会明白我对他有所致敬（或致歉）。

最后，我要向那些不关心这本书，不会读这本书，却在我写作期间一直包容我的朋友们，献上我诚挚的问候。

艾伦·查尔莫斯 悉尼，1976年

**第二版序言**

从读者对本书第一版的反响来看，前八章作为“一个简单、清晰、基础的现代科学本质观入门”似乎相当成功。但大家似乎也普遍认同，最后四章 未能做到这一点。因此，在这个修订和增补版中，我基本保留了第1至8章，而用六个全新的章节替换了最后的四章。第一版后半部分的一个问题是它不再简单和基础。我努力让新章节保持简单，尽管我担心在处理最后两章的复杂问题时并未完全成功。虽然我试图让 讨论变得简单，但我希望这并未使之变得毫无争议。

第一版后半部分的另一个问题是缺乏清晰度。尽管我仍然坚信自己当时摸索的大部分方向是正确的，但正如批评者所指出的那样，我确实未能表达出一个连贯且论证充分的立场。这不能完全归咎于路易斯·阿尔都塞，他的观点在当时非常流行，而他的影响在新版本中仍然可以某种程度上被察觉。我吸取了教训，将来会非常警惕，不再过度受巴黎最新潮流的影响。

我的朋友特里·布莱克（Terry Blake）和丹尼斯·拉塞尔（Denise Russell）让我相信，保罗·费耶阿本德的著作中有很多比我之前愿意承认的更重要的内容。在这个新版本中，我给予了他更多的关注，并试图将他的“精华”（反方法主义）与“糟粕”（达达主义）区分开来。我也被迫将“关于框架不可通约性的晦涩废话”中那些重要的意义单独拎出来。

本书的修订，很大程度上得益于众多同事、评论家和读者的批评。我不会一一列出他们的名字，但在此表达我的感激和谢意。

由于本书的修订导致了结局的改变，封面上的猫的原始寓意也随之消失了。然而，如果出版商能保留这只猫，那么它将象征着某种新的、更深奥的东西。

艾伦·查尔莫斯 悉尼，1982年

**第三版序言**

本版本是对前一版的一次重大重写，其中很少有章节能保持原样，大部分内容已被替换，同时还增加了许多新章节。进行这些改动有两个原因：首先，自本书初版以来的二十年间，我教授科学哲学入门课程的经验教会了我如何更好地完成这项工作；其次，在过去的一二十年里，科学哲学领域出现了重要的发展，任何入门读物都必须考虑到这些内容。

当前，科学哲学中一个颇具影响力的学派试图基于概率论中的贝叶斯定理来构建科学解释。另一个趋势——“新实验主义”——则更加关注实验在科学中的本质和作用。本书的第12章和第13章分别对这两个思想流派进行了介绍和评估。此外，最近的研究，尤其是南希·卡特赖特（Nancy Cartwright）的工作，使关于科学中“定律”本质的问题变得突出，因此本新版也收录了关于此主题的章节，以及一章旨在跟进科学的实在论与反实在论解读之争。

因此，尽管我并不认为自己已经找到了这个书名所提出的问题的最终答案，但我努力跟上了当代的辩论，并以一种不过于技术化的方式将其介绍给读者。每章末尾都附有延伸阅读建议，对于希望更深入探讨这些问题的人来说，这是一个有用且新的起点。

我不会一一列出所有曾帮助我改进本书的同事和学生的名字。我从1997年6月在悉尼举办的国际研讨会“《科学究竟是什么？》二十年之后”中学到了很多。我感谢该研讨会的赞助商——英国文化协会、昆士兰大学出版社、开放大学出版社、哈克特出版公司（Hackett Publishing Company）和 Uitgeverij Boom——以及所有参会并参与讨论的同事和老朋友们。这次活动极大地提振了我的士气，并给了我进行这次重大改写任务的动力。大部分重写工作是在麻省理工学院（MIT）的狄布纳科学技术史研究所（Dibner Institute for the History of Science and Technology）担任研究员期间完成的，对此我深表感谢。我无法奢望一个比这更支持我、更有利于集中精力的环境了。我也感谢张夏硕（Hasok Chang）对我的手稿进行了细致阅读并提供了有益的评论。

我已经记不清封面上那只猫的笑容到底代表什么了，但我似乎能从中读出一种持续的认可，这让我感到很欣慰。

艾伦·查尔莫斯 马萨诸塞州剑桥，1998年

**第四版序言**

自本书于1976年首次出版以来，我已两次对它进行了修订。我删除了那些我认为无益、错误或不够清晰的段落，甚至整章，同时增加了新的内容，这些新内容既借鉴了文献中的新发展，也反映了我自己思想的深化。本着这一目标，我最近对第三版进行了批判性阅读。与我对第一版和第二版 重新评估时的强烈不满不同，这次我没有发现太多令我感到不满的地方。尽管如此，我仍然找到了方法，可以阐明和扩展 书中一些关键主题。

这种重新思考的主要灵感来源于我写作《科学家的原子与哲学家的石头：科学如何成功、哲学如何失败地获取原子知识》（*The Scientist`s Atom and the Philosopher`s Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*）这本书。书中关于科学如何实现对原子知识的理解的故事，为我提供了大量现成的例子，用以阐明和支持我的主要观点——即科学知识与其他类型知识的独特性质。因此，我在此第四版中添加了一篇“附记”（Postscript），旨在利用这些材料来帮助阐明“科学究竟是什么”。

在二十一世纪的第一个十年里，我的学术归属是阿德莱德的弗林德斯大学哲学系。我感谢那里的同事们，特别是罗德尼·艾伦（Rodney Allen）、乔治·库瓦利斯（George Couvalis）和格雷格·奥海尔（Greg O’Hair），他们帮助我度过了一段富有成效的时光。在众多为我提供帮助、支持和建设性批评的学者中，乌苏拉·克莱因（Ursula Klein）、黛博拉·梅奥（Deborah Mayo）、艾伦·马斯格雷夫（Alan Musgrave）和约翰·诺顿（John Norton）值得特别提及。从2003年到2005年，我的工作得到了澳大利亚研究理事会的资助。我也在新西兰坎特伯雷大学、匹兹堡大学获得了研究奖学金，并在布里斯托尔大学哲学系度过了一个学期。所有这些支持都非常有帮助，也让我深表感激。桑德拉·格莱姆斯（Sandra Grimes）一直给予我持续且宝贵的支持，尽管我可能没有充分地表达过我的感激之情。

艾伦·查尔莫斯 悉尼，2012年

引言

科学备受推崇。显然，人们普遍认为科学及其方法有其特殊之处。当一个主张、推理、或某项研究被称为“科学”时，其目的通常是为了暗示某种优越性或特殊的可靠性。但科学究竟有什么特别之处？这种据称能带来卓越或可靠 成果的“科学方法”到底是什么？本书正是为了阐明和回答这类问题而作。

尽管科学因氢弹和污染等后果而招致一些不满，但日常生活中有大量证据表明它仍然受到高度重视。广告商经常声称某款产品经“科学证明”比竞争对手更白、更强效、更具吸引力或在某些方面更胜一筹。这意在暗示这些说法有特别坚实的基础，甚至无可争议。最近一则宣传基督教科学的报纸广告，其标题就是“科学发声，证明《基督教圣经》是真实的”，并继续告诉我们“连科学家自己现在都相信这一点”。这直接诉诸于科学和科学家的权威。我们不禁要问，这种权威的基础是什么？

对科学的高度推崇不仅限于日常生活和大众媒体，在学术界也同样明显。许多研究领域的支持者现在都将其描述为“科学”，大概是为了暗示他们所用的方法与物理学或生物学等传统科学一样基础坚实、潜力巨大。“政治学” （Political Science）和 “社会学” （Social Science）如今已司空见惯。许多马克思主义者也极力主张历史唯物主义是一种科学。此外， “图书馆学” （Library Science）、 “行政管理学” （Administrative Science）、 “言语学” （Speech Science）、 “森林学” （Forest Science）、 “乳品学” （Dairy Science）、 “肉类与动物学” （Meat and Animal Science）以及 “殡葬学” （Mortuary Science）都已出现在大学课程表中。关于 “创世科学” 地位的争论至今仍很活跃。值得注意的是，在这一争论中，双方都默认存在一个特殊的 “科学” 类别。他们争论的焦点仅仅在于创世科学是否符合 “科学” 的资格。

许多所谓的社会科学或人文学科的学者都认同以下大致论点：“物理学在过去三百年里取得了毋庸置疑的成功，这要归功于其应用了一种特殊方法——‘科学方法’。因此，如果社会科学和人文学科要效仿物理学的成功，就必须首先理解并形成这种方法，然后将其应用于社会科学和人文学科。” 这一论点提出了两个根本性问题：第一，“这种被认为是物理学成功关键的科学方法究竟是什么？”；第二，“将这种方法从物理学转移并应用于其他领域是否合理？”

所有这些都凸显了以下问题的重要性：科学知识与其他类型知识的区别是什么？以及如何准确界定科学方法？这些问题被视为至关重要，影响深远。然而，正如我们将要看到的，回答这些问题绝非易事。一个试图概括普遍直觉的答案或许是：科学之所以特殊，在于它源于事实，而非基于个人观点。这或许捕捉到了这样一种想法：尽管个人对查尔斯·狄更斯和D.H.劳伦斯小说的优劣看法可能各不相同，但对于伽利略和爱因斯坦相对论的优劣，却没有任何观点差异的余地。人们认为，正是事实决定了爱因斯坦的创新优于先前的相对论观点，任何不承认这一点的人都是错误的。

正如我们将要看到的，如果一定要认可“科学知识的独特之处在于它源于经验事实”这一观点，那么它也只能以一种经过仔细和高度限定的形式才能成立。我们将遇到一些理由，这些理由会让我们怀疑，通过观察和实验获得的事实是否像传统上所认为的那样简单和可靠。我们还将发现，有充分的论据可以证明，即使假定这些事实是可用的，科学知识也无法通过援引事实来被最终证明或最终证伪。

支持这种怀疑论的一些论点，是基于对观察的本质、逻辑推理的本质及其能力进行的分析。另一些则源于对科学史和当代科学实践的仔细审视。现代科学理论和科学方法论的一个特点是，人们越来越关注科学史。这给许多科学哲学家带来了尴尬：那些通常被视为科学重大进步的典型事件，无论是伽利略、牛顿、达尔文还是爱因斯坦的创新，都与标准的科学哲学解释所描述的样子不符。

当人们意识到科学理论既不能被最终证明，也不能被最终证伪，并且哲学家们的重构与科学的实际运作几乎毫无相似之处时，一种反应是完全放弃“科学是一种根据某种特殊方法运作的理性活动”的观念。正是这种反应，在某种程度上导致哲学家保罗·费耶阿本德（Paul Feyerabend）在1975年写下了名为《反对方法：一种无政府主义知识论纲要》（*Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*）的书。根据对费耶阿本德后期著作最极端的解读，科学没有任何使其本质上优于古代神话或巫术等其他知识形式的特殊特征。对科学的高度尊重被视为一种现代宗教，扮演着类似于早期欧洲基督教所扮演的角色。有人提出，科学理论之间的选择，归根结底是由个人的主观价值观和愿望决定的。

费耶阿本德对试图将科学理性化的尝试所持的怀疑态度，也为许多近期持有社会学或所谓后现代主义视角的作者所认同。

然而，本书抵制了这种因传统科学和科学方法论解释所面临的困境而产生的反应。本书试图接受费耶阿本德和许多其他人提出的挑战中那些有价值的部分，但同时又对科学进行解释，以一种能回应这些挑战的方式，来捕捉其独特和特殊的本质。

**第1章**

**科学是源于经验事实的知识**

**一种广为接受的、常识性的科学观**

在引言中，大胆地提出一个观点：人们普遍认为，科学知识的独特之处可以用口号“科学源于事实”来概括。在本书的前四章中，我们将对这一观点进行批判性审视。我们会发现，这个口号所包含的许多典型内涵是站不住脚的。尽管如此，我们也会发现这个口号并非完全错误，我将尝试提出一个站得住脚的版本。

当人们声称科学之所以特别，是因为它建立在事实之上时，这些“事实”被假定为可以通过细致、公正地运用感官直接确立的、关于世界的陈述。科学应该基于我们能看到、听到和触摸到的东西，而不是个人观点或凭空想象。如果以一种细致、公正的方式对世界进行观察，那么由此确立的事实将构成一个安全、客观的科学基础。此外，如果从这个事实基础推导出构成科学知识的定律和理论的推理过程是严谨的，那么由此产生的知识本身就可以被认为是牢固确立且客观的。

上述言论是一个常见故事的骨架，它反映在大量关于科学的文献中。正如J. J. 戴维斯（J. J. Davies）在其关于科学方法的书中写道： “科学是一个建立在事实之上的结构。” H. D. 安东尼（H. D. Anthony）在另一本书中也详细阐述了这一主题：

*与其说伽利略进行的观察和实验打破了传统，不如说他对它们的态度打破了传统。对他而言，基于观察和实验得出的事实就是事实，而不是与某些先入为主的观念相关联……观察到的事实可能符合，也可能不符合公认的宇宙图景，但在伽利略看来，重要的是接受事实，并以此来构建理论以契合事实。*

安东尼在这里不仅清晰地表达了“科学知识建立在通过观察和实验确立的事实之上”的观点，还为这个想法增添了历史性的色彩，而他绝非唯一持此观点的人。一个颇具影响力的说法是，从历史事实来看，现代科学诞生于17世纪初，当时人们首次认真地将观察事实作为科学的基础。

拥护并利用这个“科学诞生”故事的人认为，在17世纪之前，可观察的事实并未被认真地视为知识的基础。相反，这个耳熟能详的故事告诉我们，当时的知识主要建立在权威之上，尤其是哲学家亚里士多德和《圣经》的权威。直到伽利略等新科学的先驱们，通过诉诸经验来挑战这种权威，现代科学才得以成为可能。以下摘自罗伯特姆（Rowbotham，1918年，第27-29页）对伽利略和比萨斜塔故事的叙述，很好地抓住了这一核心思想。

*伽利略与大学教授们进行的第一次较量，与他通过研究落体运动来探寻运动定律有关。亚里士多德有一个公认的公理，即落体的速度由其各自的重量决定：因此，一块重两磅的石头会比只重一磅的石头下落得快一倍，以此类推。似乎没有人质疑过这条规则的正确性，直到伽利略否认了它。他宣称重量与此无关，而且……两个重量不等的物体……会同时落地。由于伽利略的说法遭到教授们的嘲笑，他决定进行一次公开测试。于是，他邀请了整个大学的人来比萨斜塔，观看他即将进行的实验。在预定日期的早上，伽利略在大学师生和市民的注视下，登上塔顶，随身携带了两颗球，一颗重一百磅，另一颗重一磅。他小心翼翼地将两颗球放在塔顶的边缘，然后同时把它们推了下去；人们看到它们下落得一样平稳，下一秒，伴随着一声巨响，它们同时撞击地面。古老的传统被证伪了，而现代科学，以这位年轻发现者的形象，捍卫了自己的地位。*

关于科学知识源于事实的这一普遍观点，有两个学派试图将其形式化，它们是经验主义（empiricism）和实证主义（positivism）。17和18世纪的英国经验主义者，特别是约翰·洛克（John Locke）、乔治·伯克利（George Berkeley）和大卫·休谟（David Hume），认为所有知识都应源于通过感官知觉植入我们脑海中的观念。实证主义者对 “事实” 的看法更广，也更少心理学倾向，但他们与经验主义者一样，都认为知识应源于经验事实。起源于20世纪20年代维也纳的逻辑实证主义（logical positivists）学派，继承了19世纪奥古斯特·孔德（Auguste Comte）提出的实证主义，并试图将其形式化，密切关注科学知识与事实之间关系的逻辑形式。经验主义和实证主义都秉持一个共同观点：科学知识应以某种方式源于通过观察获得的事实。

“科学源于事实” 这个论断还涉及另外两个截然不同的问题。一个问题是这些 “事实” 的本质是什么，以及科学家是如何获取它们的。另一个问题是，一旦事实被获取，构成我们知识的定律和理论又是如何从这些事实中推导出来的。我们将依次探讨这两个问题。本章和接下来的两章将讨论据称作为科学基础的 “事实” 的本质，而第4章则专门探讨科学知识如何被认为是从这些事实中推导出来的。

关于常识性观点中作为科学基础的“事实”，我们可以将其立场分为三个组成部分：

**a.** 事实是通过感官直接给予那些细致、公正的观察者的。

**b.** 事实先于理论，且独立于理论。

**c.** 事实构成了科学知识坚实可靠的基础。

正如我们将看到的，这三个论点都面临着诸多困难，即使它们能够成立，也只能以一种经过严格限定的形式被接受。

**眼见为实**

部分原因在于视觉是人类最广泛用于观察世界的感官，部分原因是为了方便起见，将对观察的 认知 仅限于“看”这个领域。在大多数情况下，不难看出所提出的论点如何可以重新阐述，并应用于其他感官。

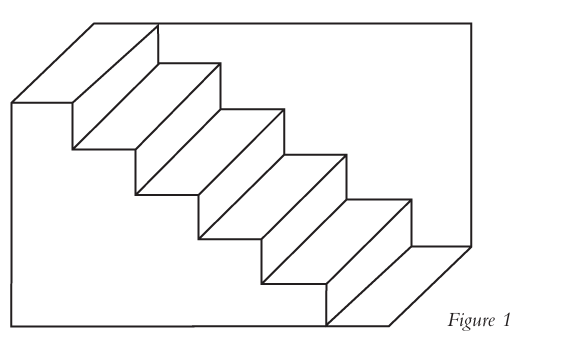
对于“看”的简单解释大致如下：人类用眼睛来看东西。人眼最重要的组成部分是晶状体和视网膜，后者就像一块屏幕，晶状体将外部物体的图像投射其上。来自被观察物体的光线，通过中间介质，从物体传到晶状体。这些光线被晶状体折射，会聚在视网膜上，从而形成物体的图像。到目前为止，眼睛的功能类似于照相机。一个巨大的区别在于记录最终图像的方式。视神经从视网膜延伸到大脑皮层，它们传递着关于光线照射到视网膜不同区域的信息。正是大脑对这些信息的记录，构成了人类观察者“看”到物体的过程。当然，这个简化的描述可以添加很多细节，但它捕捉到了大致的想法。

上述通过视觉感官进行观察的解释，强烈地暗示了两种观点，这两种观点也被纳入了普遍或经验主义的科学观中。第一个观点是，人类观察者通过“看”这个行为，大脑记录下了一些关于世界的知识，从而或多或少地直接获取了这些知识。第二个观点是，两个正常的观察者从同一地点观察同一个物体或场景时，他们会“看到”同样的东西。同样的光线组合会进入每个观察者的眼睛，由他们正常的晶状体聚焦到正常的视网膜上，产生相似的图像。然后，相似的信息会通过他们正常的视神经传递到各自的大脑，最终导致这两个观察者看到同样的东西。在接下来的章节中，我们将看到为什么这种图景具有严重的误导性。

**视觉体验并非完全由被观察的客体决定**

最直白的常识性观点认为，关于外部世界的事实是通过视觉感官直接给予我们的。我们只需面对眼前的世界，记录我们所看到的东西。我能确定桌子上有一盏灯，或者我的铅笔是黄色的，仅仅是通过观察我眼前的东西。如我们所见，这种观点可以通过对眼睛工作方式的解释来支持。如果事实果真如此，那么我们所看到的东西将由被观察物体的性质决定，而观察者在面对同一场景时，将总是拥有相同的视觉体验。

然而，有大量证据表明事实并非如此。两个正常的观察者，在相同的物理条件下从同一地点观察同一个物体时，他们的视觉体验不一定完全相同，尽管他们各自视网膜上的成像可能几乎一模一样。在某种重要意义上，两个观察者不一定“看到”同样的东西。正如N. R. 汉森（N. R. Hanson, 1958）所言， “‘看’的内涵远不止眼球所见” 。一些简单的例子可以说明这一点。



大多数人第一次看到图1时，会把它看作是一幅楼梯的画，楼梯的台阶上表面是可见的。但这并不是唯一的看图方式。我们同样可以毫不费力地将其看作是楼梯的底面可见。此外，如果盯着这张图看一段时间，我们通常会发现自己所看到的东西会频繁且不自觉地在“从上方看的楼梯”和“从下方看的楼梯”之间来回切换。然而，可以合理地假设，由于被观察的物体没有改变，视网膜上的成像也没有改变。这张图究竟被看作是“从上方看的楼梯”还是“从下方看的楼梯”，似乎取决于视网膜成像之外的某种东西。

我怀疑本书的读者中没有人会质疑我声称图1描绘的是一个楼梯。然而，对一些非洲部落成员进行的实验结果表明，他们的文化中没有用二维透视图描绘三维物体的习俗，更不用说楼梯了，因此他们完全不会把图1看作是楼梯。这再次表明，个体在“看”这个行为中所获得的知觉体验，并非完全由他们视网膜上的成像所唯一决定。汉森（1958年，第1章）的书中还有一些更引人入胜的例子来说明这一点。

另一个例子来自儿童画谜，其中需要在树的画作中找到隐藏在树叶里的人脸。在这里，观察者最初看到的——也就是他们所体验到的主观印象——是一棵有树干、树枝和树叶的树。但一旦人脸被发现，这种体验就会改变。原本被看作是树枝和树叶的部分，现在被看作是一张人脸。同样地，观察者在解谜前后观看的是同一个物理物体，而他们视网膜上的成像在谜题被解开、人脸被发现的那一刻，想必没有发生变化。如果观察者之后再次看这幅画，已经 完成解密的人会轻松而快速地看到那张人脸。这似乎表明，观察者所看到的东西在某种意义上受到其过往经验的影响。

有人可能会问：“这些精心设计的例子和科学有什么关系？” 事实上，从科学实践中不难找到能说明同一点的例子，即观察者在观看某个物体或场景时，他们所看到的东西（即他们所经历的主观体验），不仅由其视网膜上的成像决定，还取决于观察者的经验、知识和期望。这一点隐含在一个毋庸置疑的认知中：你必须学习才能成为一名合格的科学观察者。任何有过学习使用显微镜观察经验的人，对此都会深信不疑。当一个初学者通过显微镜看老师准备好的切片时，他们很少能分辨出正确的细胞结构，尽管老师用同一台显微镜看同一个切片时毫无困难。值得注意的是，一旦显微镜专家们知道要寻找什么，他们就能在经过适当准备的样本中毫不费力地观察到细胞分裂；然而在此发现之前，这些细胞分裂现象并未被观察到，尽管我们现在知道，它们一定存在于许多通过显微镜检查过的样本中。迈克尔·波兰尼（Michael Polanyi, 1973, 第101页）描述了 1名医学生 在被教导如何通过检查X光片进行诊断时，其知觉体验所发生的变化。

*请想象一个医学生正在参加肺部疾病的X光诊断课程。他身处一间暗室，观察着放在病人胸前的荧光屏上那些模糊的影像，听着放射科医生用专业术语向助手们点评这些影像的重要特征。起初，这个学生完全摸不着头脑。因为他在胸部X光片上只能看到心脏和肋骨的阴影，以及它们之间的一些蛛网状斑点。那些专家们似乎在天马行空地胡扯，他根本看不到他们在谈论的东西。然后，在接下来的几周里，他持续听课，仔细观察不同病例的全新X光片，一种初步的理解开始在他脑海中萌芽；他会逐渐忽略肋骨，开始看到肺部。最终，如果他坚持并聪明地学习，一个包含丰富重要细节的全景图将向他显现：生理变异和病理变化、疤痕、慢性感染和急性疾病的迹象。他进入了一个全新的世界。他所能看到的仍然只是专家们所能看到的小部分，但这些影像现在对他来说已经有了明确的意义，对它们的绝大多数评论也同样如此。*

经验丰富、技艺娴熟的观察者，在面对同一情况时，其知觉体验与未经训练的新手并不相同。这与“感知通过感官直接获得”这一说法的字面理解相冲突。

对于我所提出的、并由前述例子支持的关于观察的观点，一种常见的反驳是：从同一地点观察同一场景的观察者，他们看到的是同样的东西，只是对所看到的东西的解释不同。我对此表示异议。

就感知而言，观察者唯一直接且即时接触到的，是他或她的主观体验。这些体验并非唯一且一成不变，而是会随着观察者所拥有的知识和期望而变化。我愿意承认，物理情景唯一给定的，是观察者视网膜上的图像，但观察者并不能直接通过知觉接触到那个图像。当那些捍卫常识性观点的人假设，在感知中有某种唯一给定的东西，可以被以各种方式解释时，他们是在没有论证的情况下，且无视大量相反证据地假设，我们视网膜上的图像唯一地决定了我们的知觉体验。他们将“相机类比”推得太远了。

说了这么多，请允许我澄清一下本节中我没有主张的内容，以免我的论点被过度解读。

1. 我并非声称视网膜上图像的物理原因与我们所看到的东西毫无关系。我们无法随心所欲地看到任何东西。然而，尽管视网膜上的图像构成了我们所看到的东西的一部分原因，但另一个非常重要的原因，是我们大脑或心智的内在状态，而这本身又取决于我们的文化背景、知识和期望，并非仅仅由我们眼睛的物理特性和被观察的场景所决定。
2. 在各种广泛的场景下，我们所看到的东西都相当稳定。我们所看到的东西对我们心智或大脑状态的依赖，并没有敏感到让 交流和科学变得不可能的地步。
3. 在所有引用的例子中，从某种意义上说，所有观察者确实看到了同样的东西。我在这本书中始终接受并预设，存在一个独立于观察者的、单一而独特的物理世界。因此，当许多观察者看一幅画、一个仪器、一个显微镜切片或任何东西时，从某种意义上说，他们面对、凝视并因此看到的是同一个东西。但由此并不能得出他们拥有完全相同的知觉体验。在某种非常重要的意义上，他们没有看到同样的东西，而我正是基于后一种意义，对“事实通过感官毫无问题地直接给予观察者”这一观点提出了一些质疑。至于这在多大程度上动摇了“足以支撑科学的事实可以通过感官确立”这一观点，还有待观察。

**以陈述形式表达的可观察事实**

在日常语言中，“事实”（fact）一词的含义是模糊的。它可以指 表达事实的陈述，也可以指该陈述所指代的事态。例如，“月球上有山脉和环形山”是一个事实。这里的“事实”可以指山脉或环形山本身。或者，这个陈述本身——“月球上有山脉和环形山”——也可以构成事实。

当人们声称科学是基于事实并源于事实时，显然指的是后一种解释。关于月球表面的知识不是基于并源于山脉和环形山本身，而是源于关于山脉和环形山的事实性陈述。

除了将作为陈述的事实与这些陈述所描述的事态区分开来之外，我们显然还需要将事实陈述与可能促使我们接受这些陈述为事实的感知区分开来。例如，达尔文在著名的“小猎犬号”航行中，无疑遇到了许多新物种的植物和动物，并因此经历了一系列新奇的感知体验。然而，如果他止步于此，他就不会对科学做出任何重大贡献。只有当他将这些新奇之处整理成陈述，并让其他科学家也能获取时，他才对生物学做出了重要贡献。

就“小猎犬号”的航行产生了能与进化论联系起来的新事实而言，是陈述构成了这些事实。对于那些声称知识源于事实的人来说，他们心里想的一定是陈述，而不是感知，也不是像 山脉和环形山那样的物体。

通过前面的澄清，让我们回到本章第一节末尾提出的关于事实本质的三个论点（a到c）。一旦我们这样做了，就会发现它们本身就存在很大的问题。鉴于可以构成科学适当基础的事实必须以陈述的形式存在，那么“事实是通过感官以直接的方式给予的”这一主张，一开始就显得非常错误了。（执着于文字）

即使我们搁置上一节中强调的困难，并假设感知在“看”这个行为中是直接给予的，但描述可观察事态的陈述（我将它们称为“观察陈述”）显然也不是通过感官直接给予观察者的。认为事实陈述是通过感官进入大脑，这种想法是荒谬的。

在观察者能够形成并认同某个观察陈述之前，他或她必须拥有相应的概念框架，并且知道如何恰当地应用它。当我们思考一个孩子如何学习描述（即对）世界做出事实陈述时，这一点就变得很清楚了。想象一下，一位父母教孩子辨认和描述苹果。父母向孩子展示一个苹果，指着它，然后说出“苹果”这个词。孩子很快学会模仿并重复“苹果”这个词。在掌握了这项特殊的技能后，也许在某天，孩子遇到她兄弟的网球，指着它说“苹果”。这时，父母会介入并解释这个球不是苹果，例如，通过示范它不能像苹果一样被咬。孩子随后犯的错误，比如把佛手瓜（choko）认成苹果，则需要父母进行更详细的解释。当孩子最终能够成功地在有苹果时说出“这里有一个苹果”时，她已经学到了很多关于苹果的知识。因此，假设我们必须首先观察关于苹果的事实，然后再从这些事实中推导出关于苹果的知识，看来是一个错误，因为那些以陈述形式表达的恰当事实，本身就预设了大量关于苹果的知识。

让我们从关于儿童的例子转向一些与理解科学任务更相关的例子。

想象一位技艺娴熟的植物学家，和我这样对植物学知之甚少的人，一起去澳大利亚灌木丛进行实地考察，目的是收集关于当地植物群的可观察事实。毫无疑问，这位植物学家能够收集到的事实，无论在数量上还是洞察力上，都远远超过我所能观察和表述的。原因很明显：她或他拥有比我更精细的概念框架，而这是因为她或他懂得比我更多的植物学知识。植物学知识是形成观察陈述的先决条件，而这些陈述才可能构成其事实基础。

因此，记录可观察事实不仅仅是接收光线形式的感官刺激那么简单。它需要我们具备恰当的概念框架，并懂得如何应用它。从这个意义上讲，我们不能接受关于事实本质的论点（a）和（b）。事实陈述并非由感官刺激直接决定，观察陈述本身就预设了知识。 因此，“我们先确立事实，然后从中推导出知识”的说法是不成立的。

**为什么事实必须先于理论？**

我将“科学源于事实”这一主张解读为一种相当极端的观点，即事实必须在科学知识从中推导出来之前就确立。换句话说，首先要确立事实，然后才能建立理论来契合它们。

然而，这种要求是不可能实现的。首先，如本章前文所述，我们的感知在某种程度上依赖于我们先前的知识，因此也取决于我们的准备状态和期望。其次，观察陈述本身就预设了相应的概念框架。这种观点一旦经过仔细审视，就会显得相当愚蠢，以至于我怀疑是否有任何严肃的科学哲学家会为之辩护。如果我们不知道要寻找何种知识或要解决何种问题，我们又如何能通过观察来确立关于世界的有意义的事实呢？为了对植物学做出重要贡献，我首先就需要懂得大量的植物学知识。

更重要的是，如果我们坚持认为相关的科学事实必须总是先于支持这些事实的知识，那么用可观察事实来检验科学知识是否充分这个想法，本身就毫无意义。我们对相关事实的探寻，需要有我们现有知识的指导。正是这些知识告诉我们，测量大气中不同位置的臭氧浓度能得到相关事实，而测量悉尼年轻人平均发长则不能。因此，让我们放弃“事实的获取必须先于构成科学知识的定律和理论的形成”这一要求，然后看看在这种调整后，我们还能从“科学基于事实”的理念中保留些什么。

根据我们调整后的立场，我们坦然承认，观察陈述的形成预设了重要的知识，并且在科学中对相关可观察事实的探寻，是由这些知识所指导的。这两种承认都不会必然削弱“知识有一个由观察确立的事实基础”这一主张。

首先，让我们来看“有意义的观察陈述的形成预设了相应的概念框架”这一点。我们注意到，用于形成观察陈述的概念资源的可得性是一回事，而这些陈述本身的真假则是另一回事。

例如，翻开我的固体物理教科书，我能找到两个观察陈述：“金刚石的晶体结构具有反演对称性” 和 “硫化锌晶体的晶胞中含有四个分子” 。要形成和理解这些陈述，需要一定程度关于晶体结构及其特征的知识。但即使你没有这些知识，你也能识别出用同样的术语可以形成其他类似的陈述，比如 “金刚石的晶体结构不具有反演对称性” 和 “硫化锌晶体的晶胞中含有六个分子” 。所有这些陈述都是观察陈述，因为一旦掌握了适当的观察技术，它们的真假就可以通过观察来确定。

在进行观察时，只有我从教科书中提取的那些陈述得到了证实，而用它们构建的备选陈述则被证伪。这说明，尽管形成有意义的观察陈述需要知识，但这仍然没有回答“在这些陈述中，哪些得到了观察的证实，哪些没有”这个问题。因此，“知识应该基于由观察证实的事实”这一理念，并不会因我们认识到描述这些事实的陈述是依赖于知识而受到削弱。只有当你坚持那个愚蠢的要求——“与某一知识体系相关的‘事实’的证实，必须先于任何知识的获取”——时，才会出现问题。

那么，即使承认对事实的寻找和表述是依赖于知识的，“科学知识应该基于通过观察确立的事实” 这一理念也 无须 被动摇。只要观察陈述的真假能够通过观察以直接的方式确定，那么，无论这些陈述是如何被表述出来的，通过这种方式得到证实的观察陈述似乎就能为我们提供一个重要的科学知识事实基础。

**观察陈述的可谬性**

我们在寻找科学观察基础的特征描述方面取得了一些进展，但麻烦并未结束。在上一节中，我们的分析预设了观察陈述的真假可以毫不费力地通过观察得到可靠的确定。但这个预设合理吗？

我们已经看到，当不同观察者观看同一场景时，他们不一定有相同的感知，这可能导致对可观察事态的看法产生分歧，从而引发问题。科学史上一些有据可查的案例证明了这一点的重要性，例如奈伊（Nye, 1980）描述的关于N射线效应是否可观察的争议，以及 埃奇 和穆凯（Edge and Mulkay, 1976）描述的，在射电天文学早期，悉尼和剑桥天文学家之间就可观察事实是什么而产生的意见不一。面对这些困难，我们目前还未能说明如何建立一个安全的科学观察基础。

此外，由于对观察陈述充分性的判断以某种方式依赖于预设的知识，而这使得这些判断本身具有可谬性，科学观察基础的可靠性又产生了进一步的困难。我将用一些例子来说明这一点。

亚里士多德将火列为构成所有地球物体的四种元素之一。火是一种独特的物质（尽管非常轻）这一假设，持续了数百年，直到现代化学才被彻底推翻。那些持有这一预设的人，在看着火焰升向空中时，认为自己正在直接观察火。因此，对他们来说，“火上升了”是一个经常被直接观察所证实的观察陈述。而我们现在已经不接受这种观察陈述了。关键在于，如果为我们提供描述观察类别的知识本身有缺陷，那么预设了这些类别的观察陈述同样是有缺陷的。

第二个例子与十六、十七世纪人们认识到地球会运动（自转和绕太阳公转）有关。在此认知成为可能之前，可以说“地球是静止的”这一陈述是一个由观察证实的事实。毕竟，我们既看不到也感觉不到它在动，而且如果我们跳到空中，地球也不会从我们脚下旋转离开。

从现代角度来看，我们知道这个观察陈述是错误的，尽管表面上看起来如此。我们理解惯性，并知道如果我们因地球自转而以每秒一百多米的速度水平移动，那么当我们跳到空中时，这个速度没有理由会改变。改变速度需要力的作用，而在我们的例子中，没有水平力作用。因此，我们保持了与地表相同的水平速度，并落在起跳的地方。“地球是静止的” 这一陈述，并非像过去认为的那样，由可观察的证据所确立。但要完全理解这一点，我们需要理解惯性，而这是一种十七世纪的创新。

这个例子说明，对一个观察陈述真假的判断，依赖于构成判断背景的知识。科学革命似乎不仅涉及科学理论的渐进式转变，也涉及对“可观察事实”的转变。

我原本想通过“科学源于事实”这句口号来捕捉的直觉是：科学知识之所以具有特殊地位，部分原因在于它建立在一个坚实的基础之上，即通过观察牢固确立的可靠事实。本章的一些思考对这种安逸的观点构成了威胁。

第一个困难在于观察者的背景和期望在多大程度上影响了他们的感知，以至于对一个人来说是可观察的事实，对另一个人来说却不一定。第二个困难源于对观察陈述真实性的判断，在多大程度上取决于已有的知识或假设，这使得可观察的事实与它们背后的预设一样是可谬的。这两种困难都表明，科学的观察基础可能不像人们普遍和传统上认为的那样简单和可靠。

在下一章中，我将更具洞察力地探讨观察的本质，特别是在科学中的应用，以此在一定程度上缓解这些担忧。

（人类的认知系统是一个参照系感知系统。虽然我不确定这是因为初始知识的教育结果还是先天如此。参照系认知系统的特点是感知对感官获取的识别结果是基于参照系基础而产生的，而这个参照系基础是会随着知识和认知的增加而发生转变的。这里最显著的例子是不同人群对于善恶标准的上下限都极大的变迁，同一个人在不同时期的认知也往往飘忽不定。）

**延伸阅读**

* 关于经验主义者如何看待知识源于感官传递给心灵的经典论述，请参考洛克（Locke, 1967）。关于逻辑实证主义者的相关观点，请参考 艾耶尔（Ayer, 1940）。
* 汉夫林（Hanfling, 1981）对逻辑实证主义进行了全面介绍，包括其对科学观察基础的解释。
* 在感知层面挑战这些观点的著作是汉森（Hanson, 1958）的第一章。
* 有关这一问题的全面讨论，可以在布朗（Brown, 1977）以及巴恩斯、布鲁尔和亨利（Barnes, Bloor and Henry, 1996）的前三章中找到。

**第二章**

**观察作为一种实践干预**

**观察：被动而私密，还是主动而公开？**

许多哲学家通常将观察理解为一个被动的、私密的过程。之所以说它被动，是因为人们认为，例如在看东西时，我们只是简单地张开并转动眼睛，让信息流入，并记录下眼前所见。这种观点认为，正是观察者头脑或大脑中的感知本身直接证实了某个事实，比如“我面前有一个红番茄”。如果这样理解，那么可观察事实的建立就变成了一个私密的过程。它是由个人在感知的过程中，密切关注呈现在他们面前的事物来完成的。既然两个观察者无法获取彼此的感知，他们也就无法就各自所认定的事实的有效性展开对话。

将感知或观察看作是被动而私密的观点是完全不充分的，它不能准确地解释日常生活中的感知，更不用说科学领域了。日常观察远非被动。我们采取一系列行动（其中许多是自动的，甚至是无意识的），来确认感知的有效性。在看的过程中，我们会扫描物体，转动头部以检查观察到的场景是否出现了预期的变化，等等。如果我们不确定透过窗户看到的场景是窗外的景色还是窗户上的倒影，我们可以移动头部来检查这种移动对场景可见方向的影响。一个普遍的观点是，如果由于某种原因，我们怀疑基于自身感知的判断是否正确，我们可以采取各种行动来解决这个问题。在上面提到的例子中，如果我们有理由怀疑番茄的图像是一个精心设计的光学影像，而非一个真实的番茄，我们可以去触摸它，并在必要时品尝或解剖它。

通过这些多少有些基础的观察，我只是触及了心理学家所能讲述的关于个体在感知过程中所做的一系列详细故事的皮毛。对我们而言，更重要的是思考这一点对于观察在科学中的作用所具有的意义。一个能很好地说明我观点的例子来自显微镜在科学中的早期应用。当罗伯特·胡克（Robert Hooke）和亨利·鲍尔（Henry Power）等科学家使用显微镜观察苍蝇和蚂蚁等小昆虫时，他们最初经常对可观察到的事实产生分歧。胡克追溯了其中一些分歧的原因，认为是不同种类的照明方式造成的。他指出，在一种光线下，苍蝇的眼睛看起来像一个布满孔洞的网格（顺便说一句，这似乎让鲍尔相信情况确实如此）；而在另一种光线下，它看起来像一个布满圆锥的表面；在还有一种光线下，它看起来又像一个布满金字塔的表面。胡克随后采取了旨在解决问题的实践干预。他努力通过均匀地照射样本来消除由眩光和复杂反射产生的虚假信息。他通过使用一盏蜡烛的光，并让光线通过盐水溶液扩散，来达到均匀照明的目的。他还从不同方向照射样本，以确定在这些变化下哪些特征保持不变。一些昆虫需要用白兰地彻底麻醉，以使其既保持静止又不会受损。

胡克的著作《微观图志》（Micrographia）（1665年）包含了许多由胡克的行动和观察所产生的详细描述和图画。这些成果过去和现在都是公开的，而非私密的。它们可以被其他人核查、批评和补充。如果苍蝇的眼睛在某些光线下看起来布满孔洞，那么这种状态就无法通过观察者密切关注其个人感知来有效地评估。胡克展示了在这种情况下可以采取哪些行动来检查表象的真实性，而他所建议的程序可以由任何有此意向或技能的人来执行。最终得出的关于苍蝇眼睛结构的可观察事实，源于一个既主动又公开的过程。

关于可以采取行动来探究作为可观察事实提出的主张是否恰当这一点，其结果是：感知的各种主观方面不一定会成为科学中难以解决的问题。在前一章中，我们讨论了不同观察者由于其背景、文化和期望，对同一场景的感知方式可能存在差异。由此产生的难题可以在很大程度上通过采取适当的行动来应对。个人感知判断可能因多种原因而不可靠，这应该不是什么新鲜事。在科学中，挑战在于以某种方式安排观察情境，从而最大程度地减少，甚至消除对此类判断的依赖。举个例子可以说明这一点。

月亮幻觉是一个常见的现象。当月亮高悬于天空时，它看起来比在低空靠近地平线时小得多。这是一种幻觉。月亮本身的大小并没有改变，它与地球的距离也不会在几个小时内发生显著变化。然而，我们不必信赖关于月亮大小的主观判断。例如，我们可以安装一个带有十字线的瞄准管，并使其朝向可以在刻度上读出。通过依次将十字线与月亮的两侧对齐，并记录相应的刻度读数差异，我们可以确定月亮在瞄准点的张角。我们可以在月亮高悬于天空时进行一次测量，然后在它接近地平线时重复进行。月亮表观大小没有改变这一事实，通过两次测量中刻度读数差异没有显著变化而得以体现。

**伽利略与木星的卫星**

在本节中，我们将通过一个历史案例来说明前一节讨论的相关性。1609年末，伽利略制造了一架强大的望远镜，并用它来观察天空。在随后的三个月里，他所做的许多新奇观察都引起了争议，并且与当时关于哥白尼理论正确性的天文学辩论密切相关。伽利略后来成为了哥白尼理论的热烈拥护者。例如，伽利略声称他看到了四颗卫星绕木星运行，但他在说服他人相信其观察的有效性时遇到了困难。这件事情当时至关重要。哥白尼理论包含了一个极具争议的论点：地球在运动，它每天绕着自己的轴心自转，每年绕着太阳公转。哥白尼在前一个世纪上半叶挑战的普遍观点是：地球是静止的，太阳和行星都围绕它运行。反对地球运动的诸多论点（绝非微不足道）之一是，如果地球像哥白尼声称的那样绕太阳公转，月亮就会被甩在后面。而一旦承认木星有卫星，这个论点就不攻自破了。因为即使是哥白尼的反对者也同意木星是运动的。因此，它拥有的任何卫星都会被带着一起运动，这恰恰展示了哥白尼的反对者声称在地球上不可能发生的现象。

当时，伽利略对木星周围卫星的望远镜观察是否有效是一个非常重要的问题。尽管最初受到了怀疑，并且他的一些同时代人似乎无法通过望远镜辨认出这些卫星，但伽利略在两年内就成功说服了他的对手们。让我们来看看他是如何做到的——他是如何“客观化”他对木星卫星的观察的。

伽利略在他的望远镜上用一个环附上了一个带有等距水平线和垂直线的刻度尺，这样刻度尺正面朝向观察者，并可以在望远镜的长度上上下滑动。观察者可以通过一只眼睛看望远镜，同时用另一只眼睛看刻度尺。一个小灯的照明使得观察刻度尺变得更加容易。当望远镜对准木星时，刻度尺沿着望远镜滑动，直到用一只眼睛通过望远镜看到的木星图像落入另一只眼睛看到的刻度尺的中心方格中。完成这一步后，用望远镜看到的卫星位置就可以在刻度尺上读出，读数对应于它与木星的距离，以木星直径的倍数来衡量。木星的直径是一个方便的单位，因为它作为一个标准，能够自动考虑到木星在靠近和远离地球时其表观直径会发生变化这一事实。

利用这种技术，伽利略能够记录下伴随木星的四颗“小星星”的每日运行轨迹。他能够证明这些数据与一个假设是相符的：这些小星星确实是围绕木星以固定周期运行的卫星。这一假设不仅得到了定量测量的证实，也得到了更定性的观察的支持——这些卫星在经过行星后方或前方，或进入其阴影时，偶尔会从视野中消失。

伽利略当时处于一个有利的位置，能够论证他对木星卫星观察的真实性，尽管它们肉眼不可见。他能够，也确实驳斥了它们是望远镜产生的幻觉的说法，他指出这种说法难以解释为什么这些卫星只出现在木星附近，而不是其他地方。伽利略还可以诉诸于其测量的一致性和可重复性，以及它们与“卫星以恒定周期绕木星运行”这一假设的相容性。伽利略的定量数据得到了独立观察者的验证，其中包括罗马学院和罗马教皇法院中那些反对哥白尼理论的观察者。更重要的是，伽利略能够预测卫星的后续位置以及凌日和月食的发生，而他自己和独立的观察者也证实了这些预测，正如斯蒂尔曼·德雷克（Stillman Drake，1978年，第175-6页，236-7页）所记录的那样。

伽利略的同代人中，那些有能力的观察者很快就接受了望远镜观测的真实性，即便是那些最初反对他的人也如此。确实，一些观察者始终无法辨认出这些卫星，但我认为这与詹姆斯·瑟伯（James Thurber，1933年，第101-3页）无法通过显微镜辨认出植物细胞结构的重要性是一样的。伽利略关于他望远镜观察木星卫星真实性的论证之所以有力，源于他的主张能够经受住一系列实践的、客观的测试。尽管他的论证可能还未达到绝对结论性的程度，但它比任何针对其反面——即他的观测是望远镜带来的幻觉或假象——的论证都要强得多。

**观察到的事实：客观但可能出错**

试图从我们对“可观察事实”这一概念提出的批评中，挽救一个相对有力的版本，可以遵循以下思路：一个观察陈述如果能被感官直接检验并经受住这些检验，那么它就构成了一个值得成为科学基础的事实。这里的“直接”旨在表达这样一种观点：候选观察陈述的有效性，应该可以通过涉及常规、客观程序的手段来检验，而不需要观察者做出精细的主观判断。对检验的强调，凸显了对观察陈述的证实所具有的主动性和公开性。通过这种方式，我们或许能够捕捉到一个通过观察被确立且没有问题的“事实”概念。毕竟，只有一位沉迷于哲学的瘾君子才会愿意花时间去怀疑，诸如仪表读数之类的东西，通过仔细运用视觉感官，可以在很小的误差范围内被可靠地确立。

为上一段提出的“可观察事实”概念，我们必须付出一点小小的代价。这个代价就是，可观察事实在某种程度上是可能出错的，并且需要修订。如果一个陈述因为它经受住了迄今为止所有针对它的检验而成为一个可观察事实，这并不意味着它在知识和技术的进步使新式检验成为可能时，就一定能存活下来。我们已经遇到了两个重要的例子：曾被认为是事实、有充分依据，但最终因这些进步而被推翻的观察陈述，即“地球是静止的”和“火星和金星的视大小在一年中没有明显变化”。

根据这里提出的观点，适合构成科学知识基础的观察既是客观的，也是可能出错的。它们之所以客观，是因为**它们可以通过直接的程序进行公开检验**；它们之所以可能出错，是因为它们可能会被科学和技术进步带来的新式检验所推翻。这一点可以通过伽利略的另一个例子来说明。在他的《关于两大世界体系的对话》（1967年，第361-3页）中，伽利略描述了一种测量星星直径的客观方法。他将一根绳子悬挂在自己和星星之间，距离恰好能将星星完全遮挡住。伽利略认为，此时绳子在他眼中所成的角度等于星星在他眼中所成的角度。我们现在知道，伽利略的结果是错误的。我们所感知的星星的视 大小完全是由于大气和其他噪音效应造成的，与星星的实际物理大小没有确定的关系。伽利略对星星大小的测量是基于 现在已被否定的隐含假设。但是，这种否定与感知的主观方面无关。伽利略的观察是客观的，因为它们涉及常规程序——如果今天重复这些程序，将得出与伽利略当时大致相同的结果。在下一章中，我们将进一步阐述这样一个观点：科学缺乏一个万无一失的观察基础，其原因不仅仅源于感知的主观方面。

（对现象的解读和陈述可能与现象本身存在差异，这些差异可能源于认知和知识体系的不同。）

**延伸阅读**

* 关于科学的经验基础即经受住检验的陈述这一经典论述，可参考波普尔 (Popper) 的著作 (1972年，第5章)。
* 关于观察的主动性，在哈金 (Hacking) 的著作 (1983年) 后半部分、波普尔 (Popper) (1979年，第341-61页) 以及查尔默斯 (Chalmers) (1990年，第4章) 中均有强调。
* 沙佩尔 (Shapere) 的著作 (1982年) 也与此相关。

**第三章**

**实验**

**不仅是事实，更是相关的事实**

在本章中，我姑且假设通过谨慎地使用感官可以确立可靠的事实。毕竟，正如我之前所说，在科学相关的许多情境中，这个假设无疑是成立的。例如，数 盖革计数器上的咔嗒声或记录刻度盘上指针的位置，都是没有问题的例子。那么，有了这些事实是否就解决了我们关于科学事实基础的问题？我们假设可以通过观察确立的陈述是否就构成了可以从中推导出科学知识的事实？在本章中，我们将看到，这些问题的答案是果断的“不”。

需要注意的一点是，科学所需要的不仅仅是事实，而是相关的事实。绝大多数可以通过观察确立的事实，比如我办公室里书的数量或者我邻居汽车的颜色，对科学来说完全不重要，科学家们如果去收集这些信息纯属浪费时间。哪些事实对一门科学是相关的，哪些不相关，取决于该科学当前的发展状态。科学提出问题，而观察理想上能够提供答案。这是回答“什么构成了科学的相关事实”这一问题的一部分。

然而，还有一个更实质性的观点需要阐述，我将用一个故事来引出它。当我年轻时，我哥哥和我在解释一个事实时产生了分歧：为什么牧场里牛粪周围的草比其他地方的草长得更长？我相信我们不是第一个注意到这个现象的人。我哥哥的观点是，这是牛粪的施肥作用造成的，而我则怀疑这是一种覆盖作用，即牛粪将水分困在下面，抑制了蒸发。现在我强烈怀疑我们俩都没有完全正确，主要的原因可能仅仅是奶牛不愿意吃自己粪便周围的草。这三种效应可能都起了一定作用，但我们兄弟俩所做的那种观察无法区分它们各自的影响大小。需要采取一些干预措施，例如，在一个季节里不让奶牛进入牧场，看看这是否会减少或消除牛粪周围的草长得更长的现象；或者将牛粪碾碎，以消除其覆盖作用但保留其施肥作用，等等。

这里举例说明的情况是典型的。在我们周围的世界里，有许多种过程在起作用，它们都以复杂的方式相互叠加并相互影响。一片正在下落的树叶受到重力、空气阻力和风力的影响，并且在下落过程中还会腐烂小部分。仅仅通过仔细观察这些自然发生的典型事件，是不可能理解这些不同过程的。观察落叶不会得出伽利略的落体定律。这里的教训是相当直截了当的。为了获取与识别和界定自然界中各种过程相关的事实，通常有必要进行实践干预，以尝试隔离所研究的过程，并消除其他过程的影响。简而言之，有必要进行实验。

我们花了些时间才到这一点，但也许这应该显而易见：如果存在构成科学基础的事实，那么这些事实是以实验结果的形式出现的，而不是任何随随便便的观察事实。尽管这可能显而易见，但直到最近几十年，科学哲学家们才开始仔细审视实验的本质及其在科学中扮演的角色。事实上，在本书的前几版中，这个问题几乎没有受到关注。一旦我们专注于实验而非仅仅是观察作为科学的基础，我们一直在讨论的问题就会呈现出不同的面貌，正如我们将在本章的其余部分看到的那样。

**实验结果的产生与更新**

实验结果绝非唾手可得。正如任何实验者，甚至是任何理科学生所知，让一个实验正常运转绝非易事。一个重要的新实验可能需要数月甚至数年才能成功完成。我以自己20世纪60年代作为一名实验物理学家的经历为例，可以很好地说明这一点。读者不必深究故事的细节。我只是想让大家对产生一个实验结果所涉及的复杂性和实际操作的艰辛有所了解。

我的实验目的是让低能电子与分子发生散射，以确定它们在过程中损失了多少能量，从而获取与分子中能级相关的信息。为了实现这个目标，必须产生一束所有电子都以相同速度运动、因而具有相同能量的电子束。有必要安排它们在进入探测器之前只与一个目标分子碰撞，否则所需的信息就会丢失；并且，必须使用一个设计合适的探测器来测量散射电子的速度或能量。每一步都带来了实际挑战。速度选择器包括两块弯成同心圆的导电板，它们之间有电势差。进入这两块板之间的电子，只有当其速度与板间的电势差相匹配时，才能从圆形通道的另一端出来。否则，它们就会被偏转到导电板上。为了确保电子可能只与一个目标分子碰撞，实验必须在一个高度真空、只包含极低压力的目标气体的区域内进行。这需要将当时的真空技术推向极限。散射电子的速度将通过一个与产生单能电子束所用的类似圆形电极装置来测量。通过将 分析仪 板间的电势差设置为一个特定值，只允许具有该速度的电子穿过圆形并从另一端出来，从而可以测量特定速度的散射电子的强度。探测出射电子 需要测量一个极其微小的电流，这同样将当时的技术推向了极限。

这是大致的想法，但每一步都带来了一系列实际问题，这对于任何在该领域工作过的人来说都很熟悉。要清除设备中从各种金属材料中释放出的不想要的气体非常困难。这些被电子束电离的气体分子可能会凝结在电极上，并产生虚假电势。我们的美国竞争对手发现，对电极进行镀金能很好地将这些问题降至最低。我们则发现，用一种叫做“aquadag”的碳基溶剂涂覆电极很有帮助，虽然效果不如镀金，但更符合我们的研究预算。在我的耐心（和我的研究奖学金）耗尽之前，这个实验还没有能产生有意义的结果。据我所知，在最终获得有意义的结果之前，又有几位研究生以失败告终。现在，几十年后，低能电子能谱学已成为一项相当标准的技术。

我个人以及我的继任者（他们更成功）所做的努力细节并不重要。我所说的应该足以说明一个无可争议的观点：如果说实验结果构成了科学的基础事实，那么它们绝不是通过感官唾手可得的。它们的获得需要付出艰辛的努力，其确立过程涉及大量的实践诀窍、反复试验以及对现有技术的利用。

关于实验结果是否恰当的判断也并非一帆风顺。一个实验只有当其设置得当、并消除了干扰因素时，才能被认为是恰当的，才能被解释为显示或测量了其预期显示或测量的东西。反过来，这又要求人们知道这些干扰因素是什么，以及如何消除它们。任何关于这些因素的相关知识不足都可能导致不恰当的实验措施和错误的结论。因此，在很大程度上，实验事实和理论是相互关联的。如果为实验提供信息的知识存在缺陷或错误，实验结果也可能是有问题的。

这些普遍的、在某种意义上相当平常的实验特征所带来的一个结果是，实验结果是可能出错的，并且可以因为相当直接的原因而被更新或取代。实验结果可能会因为技术的进步而过时，可能会因为理解上的某些进步（在这种光照下，实验设置被视为不充分）而被否决，也可能会因为理论理解上的某种转变而被视为不相关而遭到忽视。这些观点及其重要性将在下一节通过历史案例来说明。

**科学实验基础的转变：历史案例**

在19世纪的最后二十五年里，放电管现象引起了巨大的科学兴趣。如果将高压电连接到封闭玻璃管两端的金属板上，就会发生放电，导致管内产生各种辉光。如果管内的气体压力不是太大，就会形成连接负极板（阴极）和正极板（阳极）的流光。这些流光被称为阴极射线，它们的性质是当时科学家们非常感兴趣的话题。德国物理学家海因里希·赫兹在19世纪80年代初进行了一系列旨在阐明其性质的实验。赫兹根据这些实验得出结论，阴极射线不是带电粒子的束流。他得出这个结论的部分原因是，当这些射线受到垂直于其运动方向的电场作用时，它们似乎没有发生偏转，而带电粒子束流是会发生偏转的。我们现在认为赫兹的结论是错误的，他的实验也是不充分的。在本世纪结束之前，J.J.汤姆逊进行了实验，令人信服地证明了阴极射线会像带电粒子束流一样被电场和磁场偏转，并且他能够测量这些粒子的电荷与质量之比。

正是技术的改进和对情况理解的加深，使得 汤姆逊能够改进并推翻赫兹的实验结果。构成阴极射线的电子可以使管内的气体分子电离，即从它们身上打掉一个或两个电子，使它们带上正电荷。这些离子可能会聚集在设备中的金属板上，并导致从所研究实验的角度来看是虚假的电场。很可能正是这些电场阻止了赫兹产生偏转，而 汤姆逊最终能够产生并测量到这种偏转。汤姆逊能够改进赫兹实验的主要方式是，他利用了改进后的真空技术，从管中 去除更多的气体分子。他让他的设备长时间烘烤，以驱除管内各种表面上残留的气体。他让真空泵连续运转几天，以尽可能多地清除残留气体。凭借改进后的真空和更合适的电极布置，汤姆逊 能够确立赫兹曾宣称不存在的偏转。当汤姆逊 让他的设备压力上升到与赫兹实验中相同水平时，他也无法检测到偏转。重要的是要认识到，赫兹不应因他得出的结论而受到指责。根据他对当时情况的理解以及他所能获得的知识，他有充分的理由相信他设备中的压力足够低，并且他的设备布置是恰当的。只有在随后的理论和技术进步的光照下，他的实验才被视为有缺陷的。当然，这个寓意是：谁知道当未来的进步到来时，哪些当代的实验结果将被证明是有缺陷的呢？

赫兹绝非一个蹩脚的实验家，他之所以是顶尖的实验者之一，是因为他在1888年成功地成为了第一个制造出无线电波的人，这是他两年出色实验研究的巅峰。除了揭示一个有待实验探索和发展的新现象外，赫兹的电波还具有重要的理论意义，因为它们证实了麦克斯韦在19世纪60年代中期提出的电磁理论，该理论预言了这种波的存在（尽管麦克斯韦自己并未意识到这一点）。赫兹的大部分结果至今仍然可以接受并保持其重要性。然而，他的一些结果需要被取代，他对其中一个主要结果的解释也需要被推翻。这两点都说明了实验结果是需要修订和改进的。

赫兹能够利用他的设备产生驻波，这使他能够测量它们的波长，并由此推导出它们的速度。他的结果表明，波长较长的波在空气中的 传播速度 比 沿导线传播的速度更快，并且比光速还要快；然而，麦克斯韦的理论预测它们在空气中和在赫兹设备导线上的传播速度都将是光速。这些结果是不充分的，其原因 赫兹 自己已经有所怀疑。从实验室墙壁反射回 设备上的 波 造成了不必要的干扰。赫兹（1962年，第14页）本人对这些结果进行了如下反思：

*读者或许会问，为什么我没有通过重复实验来解决这个悬而未决的问题。我确实重复了这些实验，但正如预期的那样，在相同条件下简单地重复并不能消除疑虑，反而会增加它。只有在更有利的条件下进行实验，才能得出明确的结论。这里所谓的 “更有利条件” 指的是更大的房间，而我没有这样的条件。我再次强调，观察时的细致谨慎无法弥补空间上的不足。如果长波无法充分展开，它们显然也无法被观察到。*

赫兹的实验结果之所以不充分，是因为他的实验装置不适合手头的任务。如果要消除反射波带来的不必要干扰，所研究的波的波长必须远小于实验室的尺寸。事实证明，在短短几年内，“在更有利的条件下”进行的实验，所得到的波速与理论预测相符。

这里需要强调的一点是，实验结果不仅需要充分（即准确记录所发生的一切），还需要恰当或有意义。它们通常旨在阐明某个重要问题。关于什么是重要问题 以及 某组 特定实验是否是回答该问题的恰当方式的判断，将严重依赖于人们对实践和理论情况的理解。正是由于电磁学存在相互竞争的理论，以及其中一个主要理论预言了无线电波以光速传播，才使得赫兹测量其波速的尝试尤为重要；同时，正是由于对波的反射行为的理解，才使得人们认识到赫兹的实验装置是不恰当的。从物理学的角度来看，赫兹的这些特定结果被否决并很快被取代，其原因直截了当且毫无神秘之处。

赫兹 研究中的这一事件以及他本人的反思，除了说明实验需要恰当或有意义，以及当实验结果不再如此时就会被取代或否决之外，还清楚地表明，对他波速测量的否决与人类感知的问题毫无关系。我们没有任何理由怀疑赫兹 没有仔细观察他的设备，测量距离，记录探测器间隙中火花的出现或消失，以及记录仪器读数。他的结果可以被认为是客观的，因为任何重复他实验的人都会得到类似的结果。赫兹 本人也强调了这一点。赫兹的实验结果所存在的问题，既不是源于他观察上的不足，也不是源于缺乏可重复性，而是源于实验装置的不恰当。正如赫兹所指出的，“观察时的细致谨慎无法弥补空间上的不足。”即使我们承认赫兹能够通过仔细观察来确立可靠的事实，我们也能看到，这本身并不足以产生足以完成相关科学任务的实验结果。

上述讨论可以被解读为说明实验结果的可接受性是理论依赖的，以及这方面的判断会随着我们的科学理解发展而改变。这一点在一个更普遍的层面上得到了体现，即自赫兹首次制造出无线电波以来，其重要性是如何发生变化的。当时，麦克斯韦的电磁理论是几种相互竞争的理论之一，他发展了迈克尔·法拉第的关键思想，并将电和磁 状态理解为一种无处不在的以太的机械状态。与那些假设电流、电荷和磁体之间存在超距作用且不涉及以太的竞争理论不同，该理论预言了无线电波以光速运动的可能性。正是物理学发展状态的这一方面，赋予了赫兹的结果其理论意义。因此，赫兹 和他的同时代人能够将无线电波的产生解读为（除其他外）对以太存在的证实。二十年后，爱因斯坦的狭义相对论问世，以太被废弃了。赫兹的结果仍然被认为是证实了麦克斯韦的理论，但只是其经过改写的版本——这个版本放弃了以太，并将电场和磁场视为其自身独立的真实实体。

另一个例子，关于19世纪分子量的测量，进一步说明了实验结果的相关性和解释方式是如何依赖于理论背景的。在19世纪下半叶，鉴于化学结合的原子理论，自然界中存在的元素和化合物的分子量测量被化学家们认为是至关重要的。对于那些支持普劳特（Prout）假说——即氢原子是构建其他原子的基本单元——的人来说尤其如此，因为这使得人们期望以氢为相对标准的分子量将是整数。然而，当人们意识到自然界中的元素都包含不同比例的同位素混合物，并且这种比例没有特殊的理论意义时，19世纪顶尖实验化学家们进行的那些一丝不苟的分子量测量，从理论化学的角度来看，就变得大体上无关紧要了。这种情况激发了化学家F.索迪对此结果发表了以下评论（拉卡托斯和马斯格雷夫，1970年，第140页）：

*这儿似乎有一种命运，如果不是悲剧的话，至少也超越了悲剧。它降临到了19世纪杰出的化学家们毕生的心血之上。这些人被他们的同代人尊为精确科学测量的典范和完美化身。然而，他们那些来之不易的成果，至少在目前看来，其重要性竟如同去测定一堆瓶子的平均重量，其中一些是满的，一些则或多或少是空的。*

旧的实验结果在这里被视为无关紧要而搁置，其原因并非源于人类感知的有问题之处。那些19世纪的化学家们“被他们的同代人尊为精确科学测量的典范和完美化身”，我们没有理由怀疑他们的观察。我们也不需要怀疑后者（即他们的观察）的客观性。我毫不怀疑，如果当代的化学家重复同样的实验，他们会得到类似的结果。实验得到充分执行是实验结果可被接受的必要条件，但不是充分条件。它们还需要是相关的和有意义的。

我借助这些例子所阐述的观点，可以用一种我相信在物理学和化学及其实践中是毫无争议的方式来总结。被认为是科学恰当基础的实验结果库是不断更新的。由于一系列相当直截了当的原因，旧的实验结果被认为是不充分的，并被更充分的结果所取代。它们可能被拒绝，因为实验中没有采取充分的预防措施来防止可能的干扰源；因为所采用的测量方法不灵敏且已经过时；因为人们开始认为这些实验无法解决手头的问题；或者因为它们旨在回答的问题已经失去了可信度。尽管这些观察可以被看作是对日常科学活动相当明显的评论，但它们对许多正统的科学哲学产生了严重影响，因为它们动摇了科学建立在坚实基础之上的普遍观念。更重要的是，科学没有坚实基础的原因与人类感知的问题特征没有太大关系。

**实验作为科学的充分基础**

在本章的前几节中，我已经对“实验结果是唾手可得且完全可靠的”这一观点进行了批判性审视。我提出了一个论点：实验结果在某些方面是依赖于理论的，并且是可能出错且可以修订的。这可以被解读为一个严重的威胁，即削弱了“科学知识之所以特殊，是因为它以某种特别严谨和令人信服的方式得到了经验支持”这一观点。有人可能会争辩说，如果科学的实验基础像我所论证的那样是可能出错且可以修订的，那么建立在其上的知识也必然同样是可能出错和可修订的。这种担忧还可以通过指出科学理论被实验证实的方式可能存在循环论证的威胁而得到强化。如果理论被用来判断实验结果的恰当性，而同样的实验结果又被当作理论的证据，那么我们似乎就陷入了一个循环。这样一来，科学似乎无法通过诉诸实验结果来解决对立理论支持者之间的争端。一个群体会诉诸于其理论来证实某些实验结果，而对立的阵营则会诉诸于其对立理论来证实不同的实验结果。在本节中，我将给出理由来反驳这些极端的结论。

必须承认，理论和实验之间的关系确实可能涉及循环论证。我可以通过我教书时的以下故事来说明这一点。我的学生们被要求进行一个实验，其目的是测量一个通电线圈的偏转，该线圈悬挂在马蹄形磁铁的两极之间，并可以绕一个垂直于磁铁两极连线的轴旋转。线圈是电路的一部分，该电路由一个提供电流的电池、一个测量电流的安培计和一个可变电阻组成，后者可以用来调节电流的强度。实验的目的是记录安培计上显示的各种电流值所对应的磁铁偏转。对于那些在绘制偏转对电流图时得到一条漂亮的直线、从而揭示两者成比例关系的学生来说，这个实验被认为成功了。我记得我当时对此实验感到不安，尽管我或许明智地没有将我的担忧传达给我的学生。我的担忧源于我知道安培计内部是什么。安培计内部是一个悬挂在磁铁两极之间的线圈，它被通过线圈的电流偏转，导致指针在一个可见且均匀校准的刻度上移动。因此，在这个实验中，当安培计的读数被视为电流的测量值时，偏转与电流成正比的关系已经预设在其中了。实验被认为支持的东西，实际上已经在实验中被预设了，确实存在一个循环。

我的例子说明了诉诸实验的论证中可能出现的循环论证。但正是这个例子也表明，情况并非必须如此。上述实验本可以（也理应）采用一种不依赖于线圈在磁场中偏转来测量电路中电流的方法。所有实验都会预设某些理论的正确性，以帮助判断装置是否恰当，以及仪器读数是否符合预期。但这些预设的理论不必与正在被检验的理论相同，而且确保它们不同似乎是良好实验设计的合理先决条件。

另一个有助于正确看待“实验的理论依赖性”的观点是，无论一个实验受到理论多大的影响，从根本上说，实验结果是由世界而非理论决定的。一旦装置设置好，电路连接完成，开关拨动等，屏幕上会或不会出现闪光，光束可能或不可能被偏转，安培计上的读数可能或不可能增加。我们无法让结果来迎合我们的理论。正是因为物理世界是它本来的样子，赫兹进行的实验才没有产生阴极射线偏转，而汤姆逊进行的改进实验则产生了。是两位物理学家实验装置上的物质差异导致了不同的结果，而不是他们所持理论的差异。正是实验结果是由世界的运作方式决定的，而不是由关于世界的理论观点决定的，这为用实验来检验理论提供了可能性。这并不是说取得有意义的结果是轻而易举且万无一失的，也不是说其意义总是直截了当。但这确实有助于确立一个观点：尝试用实验结果来检验科学理论的恰当性，是一个有意义的探索过程。更重要的是，科学史为我们提供了成功迎接这一挑战的案例。

**延伸阅读**

* 哈金 (Hacking) 的著作 (1983年) 的后半部分，是科学哲学家们对实验产生兴趣的一个重要早期举措。
* 其他关于该主题的探索包括：富兰克林 (Franklin) (1986年)、富兰克林 (Franklin) (1990年)、加利森 (Galison) (1987年) 和梅奥 (Mayo) (1996年)。
* 然而，这些详细的论述只有结合第13章关于“新实验主义”的内容，才能充分理解其意义。

**第四章**

**从事实中推导理论：归纳法**

**导言**

在本书的这几章中，我们一直在探讨这样一个观点：科学知识的特征在于它是**从事实中推导出来的**。我们已经详细考察了那些可以被视为科学知识基础的观察和实验事实的性质，尽管我们已经看到，这些事实的建立并不像通常认为的那样直截了当和可靠。那么，让我们姑且假设在科学中可以确立恰当的事实。现在我们必须面对一个问题：科学知识如何能从这些事实中被推导出来？

“科学是从事实中推导出来的” 可以被解释为：科学知识是通过首先确立事实，然后构建理论来与其相匹配而形成的。我们在第一章中讨论了这种观点，并将其驳斥为不合理的。我希望探讨的问题，是将 “推导” 理解为某种逻辑上的意义，而非时间上的意义。无论事实还是理论哪个先出现，我们要解决的问题是理论在多大程度上得到了事实的支持。最强有力的主张可能是，理论可以从事实中逻辑地推导出来。也就是说，给定这些事实，理论可以被证明是它们的必然结果。这个强有力的主张是无法被证实的。要了解原因，我们必须审视逻辑推理的一些基本特征。

**小儿科的逻辑**

逻辑关注的是从其他给定陈述中推导出某个陈述。它关注的是“从什么可以得出什么”。在这里，我不会试图详细介绍和评估逻辑或演绎推理。相反，我将借助一些非常简单的例子，来阐述足以满足我们目的的要点。

下面是一个逻辑论证的例子，它是完全恰当的，或者用逻辑学家使用的专业术语来说，是完全有效的。

例1

1. 所有关于哲学的书都很无聊。
2. 这本书是一本关于哲学的书。
3. 这本书很无聊。

在这个论证中，(1)和(2)是前提，(3)是结论。我认为，显而易见的是，如果(1)和(2)为真，那么(3)必然为真。一旦给定(1)和(2)为真，(3)就不可能为假。断言(1)和(2)为 真 同时又否定(3)，是自相矛盾的。这是逻辑有效演绎的关键特征。如果前提为真，那么结论必然为真。逻辑是保真的。

对 例1稍作修改，我们将得到一个无效论证的实例。

好的，这是您提供的文本的翻译：

**例2**

1. 许多关于哲学的书都很无聊。
2. 这本书是一本关于哲学的书。
3. 这本书很无聊。

在这个例子中，(3)并非必然从(1)和(2)推导出来。即使(1)和(2)为真，这本书仍然可能是少数不无聊的哲学书之一。接受(1)和(2)为真 同时又认为(3)为假，并不构成矛盾。这个论证是无效的。

读者现在可能已经感到无聊了。这种经历确实与例1和例2中陈述(1)和(3)的真实性有关。但这里需要强调的一点是，单靠逻辑演绎无法确立我们例子中这类事实陈述的真实性。在这方面，逻辑所能提供的只是：如果前提为 真 且论证有效，那么结论必然为真。但前提是否为真，并非一个可以诉诸逻辑来解决的问题。即使一个论证包含一个错误的前提，它仍然可以是一个完全有效的演绎。下面是一个例子。

**例3**

1. 所有猫都有五条腿。
2. 小猫巴格斯是我的猫。
3. 小猫巴格斯有五条腿。

这是一个完全有效的演绎。如果(1)和(2)为真，那么(3)必然为真。碰巧的是，在这个例子中，(1)和(3)是错误的。但这并不影响这个论证是有效的事实。

单单依靠逻辑本身，在很大程度上并不能产生新的真理。构成论证前提的事实陈述的真实性，无法通过诉诸逻辑来确立。逻辑所能做的，仅仅是揭示我们已有的陈述中蕴含着什么，或者说，从这些陈述中能推导出什么。

与这一局限性相对，逻辑有一个巨大的优势，那就是它的保真特性。如果我们能确定前提是真实的，那么我们同样可以确定，我们从这些前提中逻辑推导出的所有东西也都是真实的。

**科学定律可以从事实中推导出来吗？**

通过我们对逻辑性质的讨论，可以直截了当地证明，如果将“推导”（derive）解释为“逻辑演绎”（logically deduce），那么科学知识无法从事实中推导出来。

只需一些简单的科学知识例子，就足以说明这个基本观点。让我们考虑一些低层次的科学定律，比如“金属受热会膨胀”或“酸能使石蕊试纸变红”。这些都是一般性陈述，哲学家称之为普遍陈述。它们指的是所有特定类型的事件，所有金属受热的实例以及所有石蕊试纸浸入酸中的实例。科学知识总是包含这类普遍陈述。而构成科学普遍定律证据的观察陈述则完全不同。那些可观察事实或实验结果是关于特定时间发生的特定情况的具体主张。哲学家称它们为单称陈述。它们包括“这根铜棒受热时长度增加了”或“这块石蕊试纸浸入盐酸烧杯后变红了”等陈述。假设我们掌握了大量此类事实，并希望将其作为基础来推导出一些科学知识（在我们的例子中是关于金属或酸的）。那么，什么样的论证能将我们从作为前提的这些事实，引导到我们试图作为结论推导出的科学定律呢？对于我们关于金属膨胀的例子，这个论证可以概括为：

**前提**

1. 在场合 t1，金属 x1 受热时膨胀了。
2. 在场合 t2，金属 x2 受热时膨胀了。 ... n. 在场合 tn，金属 xn 受热时膨胀了。

**结论** 所有金属受热都会膨胀。

这不是一个逻辑上有效的论证。它缺乏这类论证的基本特征。如果构成前提的陈述为真，那么结论并不必然为真。无论我们掌握了多少关于金属膨胀的观察，即在我们的例子中n有多大，都无法在逻辑上保证某个金属样本在某个场合受热时不会收缩。同时声称“所有已知的金属受热都导致了膨胀”和“所有金属受热都会膨胀”是错误的，这并不构成矛盾。

伯特兰·罗素的一个有些令人毛骨悚然的例子说明了这一点。这个故事是关于一只火鸡的。它在火鸡农场的第一个早晨注意到自己在上午9点被喂食了。在接下来的几周里，这种经历每天都在重复，这只火鸡放心地得出了结论：“我总是在上午9点被喂食。” 不幸的是，这个结论在平安夜被毫不含糊地证明是错误的，因为那天它不是被喂食，而是被割喉了。这只火鸡的论证是从许多真实的观察推导出了一个错误的结论，这清楚地表明，从逻辑角度来看，这个论证是无效的。

我用金属膨胀的例子所说明的这类论证，即从有限数量的特定事实出发得出一般性结论，被称为归纳论证，区别于逻辑演绎论证。归纳论证的一个特征是，它们从关于特定类型事件中“一些”事件的陈述，推导到关于“所有”事件的陈述，从而超越了前提所包含的内容。普遍的科学定律总是超越支持它们的 有限 可观察证据量，这就是为什么它们永远无法以从证据中逻辑演绎出来的意义被证明。

**什么样的归纳论证是好的？**

我们已经看到，如果要将科学知识理解为从事实中推导出来的，那么“推导”就必须被理解为归纳意义上的，而非演绎意义上的。但一个好的归纳论证有哪些特征呢？这个问题至关重要，因为很明显，并非所有从可观察事实得出的概括都是有根据的。我们希望将其中一些概括视为过于草率或证据不足，例如，我们可能因为与一对邻居的不愉快经历，就将某种特质归咎于整个民族群体。那么，在什么样的情况下，断言某个科学定律是从有限的观察和实验证据中“推导出来”才是正当的呢？

对这个问题的首次尝试回答，涉及以下几点要求：如果要使从可观察事实到定律的归纳推理具有正当性，那么必须满足以下条件：

1. 构成概括基础的观察数量必须多。
2. 观察必须在多种多样的条件下重复进行。
3. 任何已被接受的观察陈述都不应与推导出的定律相矛盾。

条件1被认为是必要的，因为仅仅基于对一根铁棒膨胀的一次观察就得出“所有金属受热都会膨胀”的结论显然是不正当的，就像仅仅基于对一个醉酒的澳大利亚人的一次观察就得出“所有澳大利亚人都是酒鬼”的结论一样不正当。在任何一种概括得到正当性之前，似乎都需要大量的独立观察。一个好的归纳论证不会草率地得出结论。

增加上述例子中观察数量的一种方法，可能是反复加热同一根金属棒，或者日复一日、甚至朝朝暮暮地持续观察一个特定的澳大利亚人喝醉。显然，以这种方式获得的观察陈述列表，将为相应的概括提供一个非常不令人满意的基础。这就是为什么条件2是必要的。“所有金属受热都会膨胀” 只有在作为其基础的膨胀观察涵盖多种多样的条件时，才是一个合理的概括。应该加热各种类型的金属，长条、短条、银条、铜条等，应该在高温和低温、高压和低压等条件下加热，以此类推。只有在所有这些情况下都产生了膨胀，通过归纳法概括出普遍定律才是正当的。此外，很明显，如果观察到某个特定的金属样本受热时没有膨胀，那么对该定律的概括就不成立了。条件3是必不可少的。

上述内容可以归纳为以下归纳原理陈述： 如果一个大量的 A 在多种多样的条件下被观察到，并且如果所有这些 A 都毫无例外地具有属性 B，那么所有 A 都具有属性 B。

对这种归纳法的描述存在严重的问题。让我们考虑条件1，即要求观察数量多。一个问题是“多”这个词的模糊性。是一百次、一千次还是更多次的观察才够？如果我们试图通过引入一个数字来使其精确，那么这个数字的选择无疑将具有很大的武断性。问题不止于此。在许多情况下，要求大量实例似乎是不恰当的。为了说明这一点，请考虑在第二次世界大战末期，第一颗原子弹投到广岛时所引起的强烈公众反核战争反应。这种反应是基于人们认识到原子弹会造成广泛破坏和人类苦难。然而，这种广泛且无疑是合理的信念，仅仅是基于一次戏剧性的观察。同样地，一个调查者如果坚持要将手伸进火里很多次才得出火会烧伤人的结论，那他将是一个非常顽固的人。让我们考虑一个与科学实践相关的、不那么花哨的例子。假设我重现了一篇近期科学期刊中报道的一个实验，并将我的结果寄去发表。期刊编辑肯定会拒绝我的论文，并解释说这个实验已经被做过了！条件1充满了问题。

条件2也有严重的问题，这源于围绕着“什么才算作情况的显著变化”这一问题的困境。在研究加热金属膨胀的实验中，什么才算作情况的显著变化？是否有必要改变金属的类型、压力和一天中的时间？答案是：在前两种情况下是“是”，但在第三种情况下是“不”。但这个答案的依据是什么呢？这个问题很重要，因为除非能回答它，否则变化列表可以通过无休止地添加其他变化（例如实验室的大小和实验者袜子的颜色）来无限延伸。除非能消除这些“多余的”变化，否则归纳推理可以被接受的条件就永远无法满足。那么，将一系列可能的变化视为多余的依据是什么呢？常识性的回答足够直截了当。我们利用我们对情况的先验知识来区分可能和不可能影响我们正在研究的系统的因素。正是我们对金属以及它们可能被影响的方式的了解，使得我们预期它们的物理行为会取决于金属的类型和周围的压力，而不是取决于一天中的时间或实验者袜子的颜色。我们利用我们当前的知识储备来帮助判断，在调查某个效应的普遍性时，哪些是需要改变的相关情况。

这个对问题的回应无疑是正确的。然而，它对“科学知识应该通过归纳从事实中推导出来”这一足够强硬的主张提出了一个问题。这个问题产生于当我们提出以下问题时：用来判断某些情况（如金属膨胀）与正在研究的现象是否相关的知识，本身是如何得到证实的？如果我们要求这些知识本身也是通过归纳法获得的，那么我们的问题将再次出现，因为那些进一步的归纳论证本身将需要指定相关情况，以此类推。每个归纳论证都涉及诉诸先前的知识，而这些知识又需要归纳论证来证明，后者又涉及诉诸更进一步的先验知识，如此循环，形成一个永无止境的链条。要求所有知识都通过归纳来证明，将成为一个无法满足的要求。

甚至条件3也存在问题，因为如果要求没有已知的例外，那么很少有科学知识能够幸存下来。这一点将在第七章进行详细讨论。

**归纳主义的更多问题**

让我们将“科学知识通过某种归纳推理从可观察事实中推导出来”的立场称为归纳主义，将信奉这一观点的人称为归纳主义者。我们已经指出了这一观点固有的一个严重问题，即无法精确地说明在何种条件下，一个概括才构成好的归纳推理。换句话说，不清楚归纳法究竟意味着什么。归纳主义立场还存在更多问题。

如果我们姑且接受当代科学知识的大体内容，那么就必须承认，其中很多知识指的是不可观察的事物。它涉及质子和电子、基因和DNA分子等等。这些知识如何能被纳入归纳主义立场呢？就归纳推理涉及某种从可观察事实中进行概括而言，这种推理似乎无法产生关于不可观察事物的知识。任何从关于可观察世界的事实中得出的概括，都只能产生关于可观察世界的概括。因此，关于不可观察世界的科学知识，永远无法通过我们所讨论的那种归纳推理来确立。这使得归纳主义者处于一个尴尬的境地：他们必须拒绝当代科学的很大一部分，因为这些科学涉及超越可从可观察事物进行归纳概括所能证明的范畴。

另一个问题源于许多科学定律以精确的、数学形式化的定律的形式存在。万有引力定律就是一个简单的例子，它指出任意两个质量之间的力与它们的质量乘积成正比，与它们之间距离的平方成反比。与这些定律的精确性相比，构成它们可观察证据的任何测量都是不精确的。人们普遍认识到，所有观察都存在一定程度的误差，这体现在科学家们在记录特定测量结果时写成x±dx的形式，其中dx代表估计的误差范围。如果科学定律是从可观察事实中得出的归纳概括，就很难理解如何能摆脱构成归纳论证前提的测量的不精确性。很难理解如何能以不精确的证据为基础，归纳性地证明精确定律的正当性。

归纳主义者的第三个问题是一个古老的哲学难题，被称为归纳问题。这个问题源于任何信奉“科学知识的所有方面都必须通过诉诸（演绎）逻辑或从经验中推导出来来证明其正当性”这一观点的人。大卫·休谟是一位18世纪的哲学家，他信奉这一观点，正是他清晰地阐明了我即将要强调的问题。

这个问题产生于当我们提出如何证明归纳法本身的正当性这一问题时。归纳原理如何才能得到证实？那些信奉上述观点的哲学家只有两个选择：通过诉诸逻辑来证明其正当性，或者通过诉诸经验来证明。我们已经看到，第一个选择是行不通的。归纳推理不是逻辑（演绎）推理。这只剩下第二个选择：尝试通过诉诸经验来证明归纳法的正当性。这样的论证会是什么样子？大概会是这样的：归纳法在大量场合被观察到是有效的。例如，通过归纳法从实验室实验结果中得出的光学定律，已在无数场合被用于设计能正常工作的光学仪器；而从行星位置观察中归纳得出的行星运动定律，已成功用于预测日食和行星合相。这个列表可以大大扩展，涵盖我们假设是基于归纳得出的科学定律和理论所做的成功预测和解释。因此，该论证认为，归纳法是通过经验得到正当化的。

这种对归纳法的证明是不可接受的。一旦我们将这个论证的形式用图示方式阐述出来，就可以看到这一点：

*归纳原理在场合 x1 成功起作用了。*

*归纳原理在场合 x2 成功起作用了。 等等。*

*归纳原理总是起作用的。*

在这里，一个断言归纳原理有效性的普遍陈述，是从其成功应用的许多个别实例中推断出来的。因此，这个论证本身就是一个归纳论证。结果是，试图通过诉诸经验来证明归纳法的正当性，就涉及到了假设我们正在试图证明的东西。它涉及通过诉诸归纳法来证明归纳法的正当性，因此是完全不能令人满意的。

一种试图避免归纳问题的尝试是弱化“科学知识必须被证明为真”这一要求，并满足于“科学主张可以根据证据被证明为可能为真”这一说法。因此，可以用大量观察来支持“比空气重的物体在地球上向下坠落”这一主张，虽然这并不能让我们证明该主张为真，但确实可以支持“该主张可能为真”这一断言。根据这一提议，我们可以将归纳原理重新表述为：“如果一个大量的 A 在多种多样的条件下被观察到，并且所有这些被观察到的 A 都具有属性 B，那么所有 A 很可能具有属性 B。” 这种重新表述并不能克服归纳问题。重新表述后的原理仍然是一个普遍陈述。它以有限数量的成功为基础，意味着该原理的所有应用都将导致可能为真的普遍结论。因此，试图通过诉诸经验来证明概率版本归纳原理的正当性，同样需要诉诸于正在被证明的那种归纳论证，这与最初形式的原理一样。

将归纳论证解释为导向可能为真而非真的还有另一个基本问题。这个问题在你试图精确地说明一个定律或理论在特定证据下的概率有多大时就会出现。直觉上，随着对一个普遍定律的观察支持增加，它为真的概率似乎也随之增加，这看起来是合理的。但这种直觉经不起推敲。根据标准概率理论，很难避免得出这样的结论：无论有多少观察证据，任何普遍定律的概率都为零。用非技术性的方式来说，任何观察证据都将由有限数量的观察陈述组成，而普遍定律将对无限多个可能的案例提出主张。因此，该定律在证据下的概率是一个有限数除以无穷大，无论有限证据量增加多少倍，结果仍然是零。换个角度看，与有限数量的观察陈述相容的普遍陈述总是有无限多个，就像可以通过有限数量的点画出无限多条曲线一样。也就是说，与有限证据量相容的假设总是无限多个。因此，其中任何一个为真的概率都是零。我们将在第12章讨论一种可能的解决办法。

在本节和前一节中，我们揭示了“科学知识通过某种归纳推理从事实中推导出来”这一观点存在的两类问题。第一类问题是关于如何精确地界定一个恰当的归纳论证。第二类问题涉及试图证明归纳法的正当性时所产生的循环论证。我认为前者的问题比后者更严重。我不把归纳问题看得太重的原因是，任何试图解释科学的尝试都必然会面临类似的问题。如果我们寻求对我们使用的每一个原则进行理性证明，我们必然会遇到麻烦，因为我们无法在不预设我们正在论证的东西的情况下，为理性论证本身提供一个理性论证。甚至逻辑本身也无法以一种不循环论证的方式来论证。然而，一个有效的演绎论证可以被高度精确地界定，而一个好的归纳论证究竟是什么，至今仍不清楚。

**归纳主义的吸引力**

我们在这本书开篇几章所讨论的归纳主义科学观——即科学知识通过归纳推理从事实中推导出来——可以用20世纪经济学家A.B.沃尔夫（A. B. Wolfe）的一段话来简洁地表达：

*“如果我们试图想象一个拥有超人能力和洞察力，但在逻辑思维过程上却与常人无异的头脑……会如何运用科学方法，其过程将如下：首先，观察并记录所有事实，不做任何选择，也不事先猜测它们相对重要性。其次，对已观察和记录的事实进行分析、比较和分类，不带任何假设或前提，除了那些思维逻辑中必然包含的假设或前提。第三，从对事实的分析中，归纳性地得出关于它们之间分类或因果关系的概括。第四，进一步的研究将既是演绎的也是归纳的，运用从先前已确立的概括中得出的推论。”*

我们已经看到，“收集事实可以且应该先于任何知识的获得和接受”这一观念经不起分析。如果主张它成立，那就意味着我对澳大利亚灌木丛中植物的观察，会比一位训练有素的植物学家的更有价值，恰恰是因为我对植物学知之甚少。让我们抛弃这位经济学家对科学的这一部分描述。剩下的部分则具有一定的吸引力。图2总结了这一点。构成科学知识的定律和理论，是通过归纳法从观察和实验所提供的事实基础中推导出来的。一旦这种普遍知识可用，就可以被用来做出预测和提供解释。

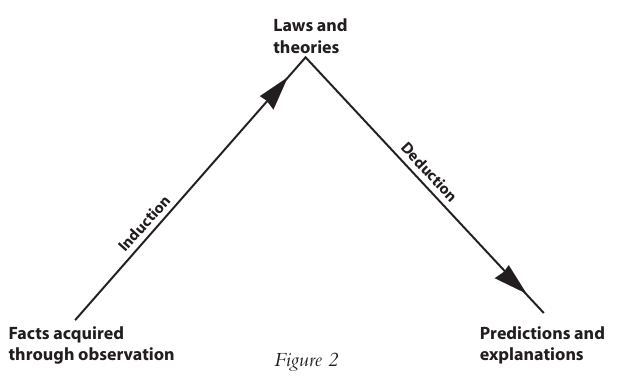
考虑以下论证：

1. 预测和解释
2. 相当纯净的水在大约0°C时会结冰（如果给予足够时间）。
3. 我的汽车散热器里装有相当纯净的水。
4. 如果气温远低于0°C，我汽车散热器里的水将会结冰（如果给予足够时间）。

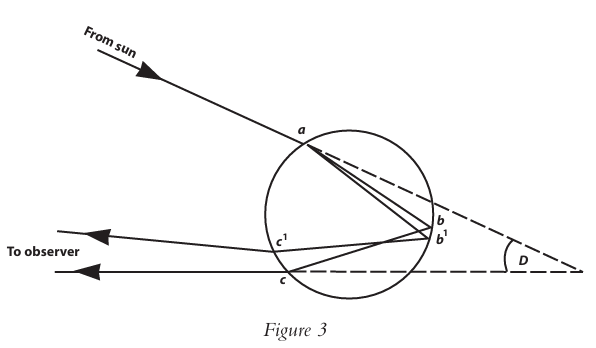
在这里，我们有一个有效的逻辑论证，可以从前提2中包含的科学知识推导出预测4。如果2和3为真，那么4必然为真。然而，2、3或4的真实性不能通过这个或任何其他演绎来确立。对于归纳主义者来说，科学真理的来源是**经验**而非**逻辑**。在这种观点下，2将通过直接观察各种水结冰的实例来确定。一旦2和3通过观察和归纳得到确立，那么预测4就可以从它们中演绎出来。

不那么简单的例子会更加复杂，但观察、归纳和演绎所扮演的角色基本保持不变。作为最后一个例子，我将探讨归纳主义者如何解释物理科学能够解释彩虹。

前面例子中简单的前提2在这里被一系列支配 光 行为的定律所取代，即光的反射和折射定律，以及关于折射量对光颜色依赖性的论断。这些普遍定律将通过归纳从经验中推导出来。科学家们进行大量的实验室实验，让光线从镜子和水面反射，测量光线从空气进入水、从水进入空气时的折射角，并在各种各样的条件下进行，直到满足了被认为是必要的所有条件，以证明从实验结果中归纳出光学定律是正当的。



我们前面例子中的前提2也将被一系列更复杂的陈述所取代。这些陈述将包括：太阳相对于地球上的观察者位于天空中的某个特定位置，以及雨滴正从相对于观察者位于某个特定区域的云中落下。像这类描述正在被研究的设置的陈述，将被称作初始条件。对实验装置的描述将是典型的初始条件。



有了光学定律和初始条件，现在就可以进行演绎，从而得出对观察者可见的彩虹形成过程的解释。这些演绎将不再像我们之前的例子那样显而易见，并且将涉及数学和语言上的论证。推导过程大致如下：如果我们假设一个雨滴大致是球形的，那么一束光线穿过雨滴的路径将大致如图3所示。对于一束来自太阳、入射到雨滴a点的白光，根据折射定律，红光将沿着ab路径传播，蓝光将沿着ab1路径传播。根据反射定律，ab将沿bc反射，ab1将沿b1c1反射。在c和c1处的折射将再次由折射定律决定，因此观察者在观察雨滴时，会看到白光的红色和蓝色分量被分离（以及光谱中的所有其他颜色）。对于任何位于天空某个区域、且连接雨滴与太阳的直线与连接雨滴与观察者的直线形成D角度的雨滴，我们的观察者都会看到同样的分色现象。几何学上的考量得出的结论是，只要雨云足够广阔，观察者就能看到一个彩色的弧。

我在这里只是概述了对彩虹的解释，但这应该足以说明其中所涉及的推理的一般形式。鉴于光学定律是真实的（对于纯粹的归纳主义者来说，这可以通过归纳从观察中确立），并且鉴于初始条件被正确地描述了，那么对彩虹的解释就必然随之而来。所有科学解释和预测的一般形式可以总结如下：

*1. 定律和理论*

*2. 初始条件*

*3. 预测和解释*

这正是图2 右侧 所描绘的步骤。

基本的归纳主义科学观确实具有一些直接的吸引力。它的吸引力在于，它似乎以一种形式化的方式捕捉了人们对科学知识特殊特征的一些普遍直觉，即它的客观性、可靠性和有用性。在本节中，我们已经讨论了归纳主义者如何解释科学的有用性，即它能够促进预测和解释。

在归纳主义者看来，科学的客观性源于观察、归纳和演绎本身被看作是客观的。可观察事实被理解为通过不带偏见地使用感官来确立，这不给主观意见留有任何可乘之机。至于归纳和演绎推理，它们之所以恰当，是因为它们符合公开制定的恰当性标准，因此，个人意见再次没有容身之地。推理要么符合客观标准，要么不符合。

科学的可靠性源于归纳主义者对观察以及归纳和演绎推理的主张。根据纯粹的归纳主义者，构成科学事实基础的观察陈述，可以通过谨慎地使用感官直接可靠地确立。此外，只要满足了恰当归纳概括的条件，这种可靠性就会传递给那些从这些事实中归纳推导出的定律和理论。这一点得到了被认为是科学基础的归纳原理的保证。

尽管它可能看起来很有吸引力，但我们已经看到，归纳主义立场充其量需要进行严格的限定，最坏的情况则是彻底不充分。我们已经看到，科学所需的事实绝不是唾手可得的，而是必须通过实践构建的，并且在某些重要意义上依赖于它们所预设的知识——这是图2的图示中忽视的一个复杂性——而且它们还会被改进和取代。更严重的是，我们无法以一种精确的方式来界定归纳法，以帮助区分一个合理的概括和一个草率或轻率的概括，考虑到大自然令人惊讶的能力（例如，发现过冷液体可以逆流而上），这是一项艰巨的任务。

在第12章，我们将讨论一些最近试图挽救归纳主义科学观的尝试。同时，在接下来的两章中，我们将转向一位哲学家，他试图通过提出一种不涉及归纳法的科学观来绕过归纳法所带来的问题。

**延伸阅读**

* 休谟的归纳问题在历史上的来源是他的著作《人性论》（1939年，第三部分）。
* 对该问题的另一个经典讨论是罗素（Russell）的著作（1912年，第6章）。
* 对休谟论证后果的透彻、技术性探究可参考斯托夫（Stove）的著作（1973年）。
* 卡尔·波普尔（Karl Popper）声称他解决了归纳问题，这一论点可在波普尔（Popper）的著作（1979年，第1章）中找到。
* 亨佩尔（Hempel）（1966年）和萨蒙（Salmon）（1966年）的著作中可以找到对归纳推理的通俗易懂的介绍，而格利穆尔（Glymour）的著作（1980年）则提供了更详细的论述。
* 另请参阅拉卡托斯（Lakatos）编辑的论文集（1968年），其中包括拉卡托斯本人对构建归纳逻辑的尝试所做的一项发人深省的调查。
* 马斯格雷夫（Musgrave）的著作（1993年）是对该问题的一个很好的历史性综述。

**第五章**

**介绍证伪主义**

**导言**

卡尔·波普尔是证伪主义的最有力倡导者，我将此理论作为归纳主义的替代方案来介绍。波普尔于20世纪20年代在维也纳接受教育，当时有一群哲学家（后来被称为维也纳学派）正在阐述逻辑实证主义。其中最著名的是鲁道夫·卡尔纳普，他的支持者与波普尔的支持者之间的冲突和辩论，一直是直到20世纪60年代科学哲学的一个特征。波普尔自己讲述了他是如何对“科学之所以特殊是因为它可以从事实中推导出来，事实越多越好”这一观念感到幻灭的。他开始怀疑弗洛伊德主义者和马克思主义者支持其理论的方式：他们通过根据自己的理论来解释广泛的人类行为或历史变化实例，并声称这些实例支持了他们的理论。在波普尔看来，这些理论永远不会出错，因为它们足够灵活，可以容纳任何人类行为或历史变化的实例，并使其与理论相容。因此，尽管它们表面上看起来是由广泛事实证实的强大理论，但事实上它们什么也解释不了，因为它们什么也排除不了。

波普尔将这与1919年爱丁顿（Eddington）对爱因斯坦广义相对论进行的一次著名检验进行了比较。爱因斯坦的理论推断，光线在经过大质量物体（如太阳）附近时会发生弯曲。因此，位于太阳后面的恒星在没有这种弯曲的情况下，应该会出现在一个方向，但此时看起来会发生位移。爱丁顿试图在日食遮挡住太阳光时，通过观测这颗恒星来寻找这种位移。结果，位移被观察到了，爱因斯坦的理论得到了证实。但波普尔指出，结果也可能不是这样。通过做出一个具体的、可检验的预测，广义相对论承担了风险。它排除掉了与该预测相冲突的观察。波普尔得出的结论是，真正的科学理论通过做出明确的预测，排除了一系列可观察到的事物状态，而他认为弗洛伊德主义和马克思主义理论未能做到这一点。他由此得出了他的关键思想：科学理论是可证伪的。

证伪主义者坦然承认，观察是由理论指导并以理论为前提的。他们也乐于放弃任何声称理论可以根据观察证据被确立为真或可能为真的主张。理论被理解为人类智力为克服先前理论遇到的问题而自由创造的推测性和试探性的猜想或猜测，旨在对世界或宇宙的某些方面提供恰当的解释。一旦被提出，这些推测性理论就要受到严格而无情的观察和实验检验。未能经受住 观察和实验检验的理论必须被淘汰，并被进一步的推测性猜想所取代。科学通过试错、通过猜想和反驳而进步。只有最合适的理论才能存活下来。尽管我们永远无法正当地说一个理论是真的，但我们可以有希望地说它是目前最好的；它比之前出现的任何理论都要好。对于证伪主义者来说，不存在关于归纳法的特征和证明问题，因为在他们看来，科学不涉及归纳法。

对证伪主义的这一精炼总结，将在接下来的两章中得到充实。

**支持证伪主义的一个逻辑论点**

根据证伪主义，一些理论可以通过诉诸观察和实验结果被证明是错误的。有一个简单的逻辑论点似乎支持了证伪主义者。我已经在第四章指出，即使我们假设可以通过某种方式获得真实的观察陈述，也永远无法仅凭此通过逻辑演绎来得出普遍定律和理论。然而，从单称观察陈述作为前提出发，通过逻辑演绎来得出普遍定律和理论的错误性是可能的。例如，如果我们得到陈述“在t时刻的x地，观察到一只不黑的乌鸦”，那么从逻辑上可以推导出“所有乌鸦都是黑色的”是错误的。也就是说，这个论证：

***前提：*** *在t时刻的x地，有一只不黑的乌鸦。*

***结论：*** *并非所有乌鸦都是黑色的。*

这是一个逻辑上有效的演绎。如果断言前提为 真 但否认结论，就会产生矛盾。再举一两个例子将有助于说明这个相当微不足道的逻辑论点。如果在某个测试实验中，通过观察可以确立一个十公斤的重物和一个一公斤的重物在自由落体中以大致相同的速度向下运动，那么就可以得出结论：“物体下落的速度与其重量成正比” 这一论断是错误的。如果可以毫无疑问地证明一束光线在经过太阳附近时会沿曲线路径偏转，那么 “光必然沿直线传播” 的说法是不成立的。

普遍陈述的错误性可以从合适的单称陈述中推导出来。证伪主义者充分利用了这一逻辑论点。

**证伪性作为理论的判据**

证伪主义者认为科学是一系列暂时提出的假说，旨在精确描述或解释世界或宇宙某个方面的行为。然而，并非所有假说都行。任何假说或假说体系都必须满足一个基本条件，才能被授予科学定律或理论的地位：**它必须是可证伪的**。在进一步阐述之前，我们必须明确证伪主义者对“可证伪”一词的用法。

以下是一些简单、且符合其所指意义上的可证伪断言：

1. 周三从不下雨。
2. 所有物质受热都会膨胀。
3. 像砖头这样的重物，在地球表面附近被释放时，如果不受阻碍，会径直向下坠落。
4. 当一束光线从平面镜反射时，入射角等于反射角。

断言1是可证伪的，因为观察到周三下雨就可以证伪它。断言2也是可证伪的。一个“在t时刻，某种物质x受热时没有膨胀”的观察陈述就能证伪它。接近冰点的水就能证伪断言2。断言1和2都是可证伪 且为假的。据我所知，断言3和4可能是真的。然而，它们都符合可证伪的本意。从逻辑上讲，下一块被释放的砖头可能会“向上”坠落。断言“被释放的砖头向上坠落”不涉及逻辑矛盾，尽管可能永远不会有观察支持这样的陈述。断言4是可证伪的，因为一束以某个斜角射向镜子的光线，可以想象地会以垂直于镜子的方向反射。如果反射定律碰巧是真的，这永远不会发生，但如果发生了，也不会涉及逻辑矛盾。断言3和4都是可证伪的，尽管它们可能是真的。

一个假说是可证伪的，如果存在一个逻辑上可能的观察陈述或一组观察陈述与它不一致，也就是说，如果这些陈述被确立为真，就会证伪该假说。

以下是一些不符合这个要求、因此不可证伪的陈述例子：

1. 要么在下雨，要么 没下雨。
2. 欧几里德圆上的点都与圆心等距。
3. 体育博彩中有可能出现好运气。

没有一个逻辑上可能的观察陈述可以驳斥5。无论天气如何，它都是真的。断言6因欧几里德圆的定义而必然为真。如果 圆上的点不与某个固定点等距，那么这个图形就根本不是一个欧几里德圆。“所有单身汉都未婚” 也因类似的原因而不可证伪。断言7摘自报纸上的占星术。它典型地代表了算命师的狡猾策略。这个断言是不可证伪的。它相当于告诉读者，如果他今天下注，他可能会赢，这句话在他下不下注时都保持为真，并且在他下了注之后，无论他赢没赢都保持为真。

证伪主义者要求科学假说必须是可证伪的，其原因在于，一个定律或理论只有通过排除一系列逻辑上可能的观察陈述，才具有信息量。如果一个陈述是不可证伪的，那么世界可以拥有任何属性，以任何方式运行，都不会与该陈述相冲突。与断言1、2、3和4不同，断言5、6和7没有告诉我们关于世界的任何信息。一个理想的科学定律或理论应该为我们提供关于世界实际行为的一些信息，从而排除那些逻辑上可能发生但事实上并未发生的情况。“所有行星都以椭圆轨道绕太阳运行” 这个定律是科学的，因为它主张行星确实以椭圆轨道运行，并排除了方形或椭圆形的轨道。正是因为它对行星轨道做出了明确的断言，它才具有信息内容，并且是可证伪的。

粗略地看一下那些被认为是科学理论典型组成部分的定律，会发现它们符合可证伪性标准。“异性磁极相互吸引” 、 “酸加到碱中会生成盐和水” 以及类似的定律，都很容易被视为可证伪的。然而，证伪主义者认为，有些理论尽管表面上看起来具有好的科学理论的特征，但实际上只是伪装成科学理论，因为它们是不可证伪的，理应被摒弃。波普尔曾声称，至少某些版本的马克思历史理论、弗洛伊德精神分析学和阿德勒心理学都存在这个缺陷。下面这个对阿德勒心理学的戏仿可以说明这一点。

阿德勒理论的一个基本信条是，人类行为是由某种自卑感所驱动的。在我们的戏仿中，以下事件支持了这一观点：一个人正站在一条湍急的河岸边，一个孩子恰好掉进了附近的河里。这个人要么跳进河里试图救孩子，要么不跳。如果他跳进去了，阿德勒学派会解释说这如何支持了他们的理论：这个人显然需要通过证明自己足够勇敢、敢于跳进河里来克服他的自卑感，尽管有危险。如果这个人没有跳进去，阿德勒学派仍然可以声称这支持了他们的理论：这个人正通过证明自己有足够强大的意志力，在孩子溺水时仍能毫不动摇地待在河岸边来克服他的自卑感。

如果这种戏仿是阿德勒理论运作方式的典型写照，那么该理论是不可证伪的。它与任何一种人类行为都相符，也正因为如此，它没有告诉我们关于人类行为的任何信息。当然，在以此为由驳斥阿德勒理论之前，有必要研究该理论的细节，而不是仅凭一个戏仿。但有许多社会、心理和宗教理论，都让人怀疑它们在试图解释一切的同时，实际上什么也解释不了。一个仁慈的上帝的存在和某些灾难的发生可以被解释为：灾难是上帝派来考验我们或惩罚我们的，只要哪种解释最适合当时的情况即可，两者可以相容。许多动物行为的例子可以被视为支持“动物被设计成能最好地完成其预期功能”这一断言的证据。以这种方式行事的理论家们，犯了算命先生那种躲避（风险）的错误，并受到了证伪主义者的批评。一个理论要想具有信息量，它就必须承担被证伪的风险。

**可证伪性的程度、清晰度和精确性**

一个好的科学定律或理论之所以可证伪，正是因为它对世界做出了明确的断言。对于证伪主义者来说，由此可以很容易地推断出：一个理论越可证伪，它就越好（在某种宽松的“更多”意义上）。一个理论声称得越多，就越有可能被证明世界实际上并未按照理论所设定的方式运行。一个非常好的理论将是一个对世界做出非常广泛的断言、因而高度可证伪的理论，并且是一个在经受住检验时抵抗了证伪的理论。

这一点可以通过一个简单的例子来说明。考虑以下定律：

*(a) 火星以椭圆轨道绕太阳运行。*

*(b) 所有行星都以椭圆轨道绕其太阳运行。*

我认为很清楚的是，作为科学知识，(b)的地位高于(a)。定律(b)包含了(a)所告诉我们的一切，而且更多。定律(b)是更优的，也更可证伪。如果对火星的观察结果证伪了(a)，那么它们也会证伪(b)。任何对(a)的证伪都将是对(b)的证伪，但反之则不然。那些可能证伪(b)的、涉及金星、木星等轨道位置的观察陈述，与(a)无关。如果我们追随波普尔，将那些可以用来证伪某个定律或理论的观察陈述集合称为该定律或理论的潜在证伪者，那么我们可以说，(a)的潜在证伪者所构成的集合是(b)的潜在证伪者集合的一个子集。定律(b)比定律(a)更可证伪，这等同于说它断言得更多，它是一个更好的定律。

一个不那么牵强的例子涉及开普勒的太阳系理论和牛顿的理论之间的关系。开普勒的理论我将其视为他的三大行星运动定律。该理论的潜在证伪者包括一系列关于行星在特定时间相对于太阳位置的陈述。牛顿的理论是更优越的理论，它取代了开普勒的理论，并且更具包容性。它由牛顿的运动定律加上他的万有引力定律构成，后者断言宇宙中所有成对的物体都以一种与其间距平方成反比的 力 相互吸引。牛顿理论的一些潜在证伪者是关于行星在特定时间位置的一系列陈述。但还有许多其他潜在证伪者，包括那些涉及下落物体和摆锤行为的、潮汐与太阳和月亮位置之间关联的陈述等等。证伪牛顿理论的机会比证伪开普勒理论的机会多得多。然而，证伪主义者的故事是，牛顿的理论能够抵抗住证伪尝试，从而确立了它对开普勒理论的优越性。

因此，高度可证伪的理论应优于不那么可证伪的理论，前提是它们事实上没有被证伪。这个限定对证伪主义者来说很重要。那些已经被证伪的理论必须被无情地摒弃。科学事业涉及提出高度可证伪的假说，然后是有意识且顽强地试图证伪它们。引用波普尔的话（1969年，第231页，斜体 为原文所加）：

*我因此可以高兴地承认，像我这样的证伪主义者，更喜欢通过大胆的猜想来尝试解决一个有趣的问题，即使（尤其是）它很快就被证明是错误的，而不是背诵一连串无关紧要的真理。我们之所以更喜欢前者，是因为我们相信这是我们能从错误中学习的方式；而且，在发现我们的猜想是错误的过程中，我们将学到很多关于真理的知识，并离真理更近。*

我们从错误中学习。科学通过试错而进步。由于存在这样的逻辑状况——即从观察陈述中推导出普遍定律和理论是不可能的，而演绎出它们的错误性是可能的——证伪便成了科学中重要的里程碑、杰出的成就和主要的增长点。这种有点反直觉的、极端证伪主义者对证伪重要性的强调，将在后面的章节中受到批评。

由于科学的目标是具有巨大信息量的理论，证伪主义者欢迎提出大胆的推测性猜想。鲁莽的猜想是值得鼓励的，只要它们是可证伪的，并且在被证伪时能被摒弃。这种“不成功便成仁”的态度与极端归纳主义者所提倡的谨慎截然不同。根据后者，只有那些被证明是真实或可能为真的理论才应被接纳为科学。我们只应在正当的归纳法所能带我们去的范围内，超越经验的直接结果。相比之下，证伪主义者认识到归纳法的局限性以及观察对理论的从属地位。大自然的秘密只能借助巧妙而深刻的理论才能揭示。与世界现实对抗的猜想理论数量越多，且这些猜想越具推测性，科学取得重大进展的机会就越大。推测性理论的激增没有危险，因为任何对世界描述不充分的理论，都可以通过观察或其他检验的结果被无情地淘汰。

要求理论具有高度可证伪性，有一个吸引人的结果，那就是理论必须表述清晰且精确。如果一个理论的表述过于模糊，以至于不清楚它到底在主张什么，那么当通过观察或实验进行检验时，它总是可以被解释为与这些检验的结果相一致。通过这种方式，它可以免于被证伪。例如，歌德（Goethe）（1970年，第295页）在 谈到 电时写道：

*它什么也不是，一个零，一个纯粹的点，然而它存在于所有表象之中，同时也是其起源点；只要受到最轻微的刺激，就会呈现出一种双重表象，这种表象只在显现自身时消失。这种显现被激发的条件是无限多样的，取决于特定物体的性质。*

如果从字面上理解这段引文，那么很难看出有什么样的物理情况能证伪它。正是因为它如此模糊和不确定（至少在脱离上下文的情况下），它才是不可证伪的。政治家和算命先生可以通过让他们的断言变得非常模糊，以至于它们总能被解释为与任何可能发生的事情相符，从而避免被指责犯错。对高度可证伪性的要求排除了这种手段。证伪主义者要求理论必须表述得足够清晰，才能承担被证伪的风险。

关于精确性也存在类似的情况。一个理论表述得越精确，它就越可证伪。如果我们接受一个理论越可证伪就越好（前提是它没有被证伪），那么我们也必须接受一个理论的主张越精确就越好。“行星以椭圆轨道绕太阳运行” 比 “行星以闭合的环形轨道绕太阳运行” 更精确，因此也更可证伪。一个椭圆轨道会证伪前者但不会证伪后者，然而一个证伪后者的轨道也会证伪前者。证伪主义者必须偏爱前者。同样地，证伪主义者必须偏爱 “真空中的光速是299.8 × 10^6米/秒” 这一主张，而不是 “真空中的光速大约是300 × 10^6米/秒” 这一不那么精确的主张，仅仅因为前者比后者更可证伪。

**证伪主义与进步**

证伪主义者眼中的科学进步可以总结如下：科学始于问题，这些问题与解释世界或宇宙某些方面的行为有关。科学家提出可证伪的假说作为问题的解决方案。这些猜想的假说随后受到批评和检验。有些会很快被淘汰。另一些可能更成功。这些成功的假说必须经受更严格的批评和检验。当一个成功经受了广泛严苛检验的假说最终被证伪时，一个新的问题就会出现，这个新问题有望与最初解决的问题相去甚远。这个新问题需要发明新的假说，随后是新一轮的批评和检验。如此，这个过程无限期地持续下去。一个理论无论经受了多么严格的检验，也永远不能说它是真的，但可以有希望地说，当前的理论优于它的前身，因为它能够经受住那些证伪了其前身的检验。

在我们看一些例子来说明证伪主义者对科学进步的看法之前，我们应该先谈谈“科学始于问题”这一主张。以下是过去科学家们曾面临的一些问题：为什么蝙蝠在夜间飞行如此灵活，而它们的眼睛实际上又小又弱？为什么简单气压计在海拔高的地方比在海拔低的地方读数低？为什么伦琴（Roentgen）实验室里的感光底片会持续变黑？为什么行星水星的近日点会进动？这些问题源于或多或少直接的观察。那么，坚持“科学始于问题”这一事实，对于证伪主义者来说，不就和天真归纳主义者一样，科学也是从观察开始的吗？这个问题的答案是坚定的“不”。上面所引用的构成问题的观察，只有在某种理论的映衬下才成为问题。第一个问题之所以成为问题，是因为“活体生物用眼睛‘看’东西”这一理论；第二个问题之所以对伽利略理论的支持者来说是个问题，是因为它与他们接受的、用以解释水银为何不会从气压计管中落下的“真空力”理论相冲突；第三个问题对伦琴来说之所以是个问题，是因为当时人们默认为没有任何辐射或散发物可以穿透感光底片的容器并使其变黑；第四个问题之所以成为问题，是因为它与牛顿理论不相容。“科学始于问题” 这一主张与 “理论优先于观察和观察陈述” 是完全兼容的。科学并非始于赤裸裸的观察。

在这次离题之后，我们回到证伪主义者对科学进步的看法：从问题到推测性假说，再到对它们的批评和最终证伪，然后转向新的问题。我将提供两个例子，第一个是关于蝙蝠飞行的简单例子，第二个是关于物理学进步的更具雄心的例子。

我们从一个问题开始。蝙蝠能轻松快速地飞行，避开树枝、电线、其他蝙蝠等，还能捕捉昆虫。然而，蝙蝠的眼睛很弱，而且它们大部分时间都在夜间飞行。这构成了一个问题，因为它显然证伪了“动物像人类一样用眼睛看东西”这一看似合理的理论。一个证伪主义者会试图通过做出猜想或假说来解决这个问题。也许他会提出，尽管蝙蝠的眼睛看起来很弱，但它们仍然能够以某种未被理解的方式，利用眼睛在夜间有效地看东西。这个假说可以被检验。将一批蝙蝠放入一个有障碍物的黑暗房间，并以某种方式测量它们避开障碍物的能力。然后将同一批蝙蝠蒙上眼睛，再次放入房间。在实验之前，实验者可以做出以下演绎：演绎的一个前提是他的假说，明确地表述为“蝙蝠能够通过使用眼睛来避开障碍物飞行，没有眼睛就做不到”。第二个前提是对实验装置的描述，包括“这批蝙蝠被蒙上了眼睛，因此它们无法使用眼睛”。从这两个前提，实验者可以演绎推断出，这批蝙蝠将无法在测试实验室中有效地避开障碍物。实验现在开始进行，结果发现蝙蝠避开碰撞的能力与之前一样有效。这个假说被证伪了。

现在需要新的想象力，一个新的猜想、假说或猜测。也许一位科学家提出，蝙蝠的耳朵以某种方式参与了其避开障碍物的能力。这个假说可以通过在将蝙蝠放入测试实验室之前塞住它们的耳朵来检验，试图证伪它。这次发现蝙蝠避开障碍物的能力受到了相当大的损害。这个假说得到了支持。证伪主义者现在必须努力使假说更精确，以便它更易于证伪。于是有人提出，蝙蝠是通过听到自己尖叫声从固体物体反弹回来的回声来感知物体的。这一点通过在将蝙蝠放入实验室之前堵住它们的嘴巴来检验。同样，蝙蝠会撞上障碍物，这个假说再次得到支持。证伪主义者现在似乎正在为这个问题找到一个暂时的解决方案，尽管实验尚未证明蝙蝠是如何在飞行中避开碰撞的。任何数量的因素都可能出现，以表明这个假说是错误的。也许蝙蝠不是用耳朵，而是用耳朵附近的敏感区域来探测回声的，而这些区域的功能在蝙蝠耳朵被堵住时受到了损害。或者不同种类的蝙蝠以非常不同的方式探测障碍物，因此实验中使用的蝙蝠并不具有真正的代表性。

从亚里士多德经牛顿到爱因斯坦的物理学进步，提供了一个更大规模的例子。证伪主义对这一进程的解释大致如下：亚里士多德物理学在某种程度上相当成功。它能解释多种现象。它可以解释为什么重物会落到地面（它们在寻找自己在宇宙中心的自然位置），可以解释虹吸管和提水泵的作用（其解释基于真空的不可能性），等等。但最终，亚里士多德物理学在许多方面被证伪了。从一艘匀速行驶的船的桅杆顶端落下的石头，落在了桅杆底部甲板上，而不是像亚里士多德理论所预测的那样，落在离桅杆一段距离的地方。人们可以看到木星的卫星是绕着木星而不是地球运行的。在17世纪期间，其他许多证伪被积累起来。然而，牛顿物理学，一旦通过伽利略和牛顿等人的猜想被创造和发展出来，就成为了一个优越的理论，取代了亚里士多德的理论。牛顿的理论能够解释落体、虹吸管和提水泵的运作以及亚里士多德理论所能解释的任何其他现象，并且还能解释那些对亚里士多德学派来说成问题的现象。此外，牛顿的理论还能解释亚里士多德理论没有涉及的现象，例如潮汐与月球位置之间的关联，以及重力随海平面高度的变化。两个世纪以来，牛顿的理论是成功的。也就是说，试图通过参照其帮助预测的新现象来证伪它的尝试都失败了。该理论甚至导致了一个新行星海王星的发现。但尽管取得了成功，持续的证伪尝试最终还是成功了。牛顿的理论在许多方面被证伪了。它无法解释行星水星轨道的细节，也无法解释放电管中快速移动电子的质量变化。因此，当19世纪步入20世纪时，物理学家面临着充满挑战的问题，这些问题需要新的推测性假说来逐步克服。爱因斯坦能够迎接这一挑战。他的相对论能够解释那些证伪了牛顿理论的现象，同时也能在牛顿理论曾取得成功的领域与其相媲美。此外，爱因斯坦的理论预言了引人注目的新现象。他的狭义相对论预言质量应该是速度的函数，并且质量和能量可以相互转化；他的广义相对论则预言光线会被强大的引力场弯曲。试图通过参照这些新现象来驳斥爱因斯坦理论的尝试失败了。证伪爱因斯坦理论仍然是现代物理学家的一项挑战。如果他们成功了，那将标志着物理学进步中的新一步。

一个典型的证伪主义者对物理学进步的解释就是这样。稍后我们将有理由怀疑其准确性和有效性。

从上述内容中可以清楚地看出，进步，即科学的增长，是证伪主义科学观中一个核心概念。这个问题将在下一章中更详细地探讨。

**延伸阅读**

* 经典的证伪主义著作是波普尔（Popper）的《科学发现的逻辑》（1972年版），该书最初于1934年以德文出版，1959年被译成英文。
* 他近期的著作集是波普尔（Popper）的《猜想与反驳》（1969年版）和《客观知识》（1979年版）。
* 波普尔本人关于他如何通过比较弗洛伊德、阿德勒和马克思与爱因斯坦，从而得出其基本思想的故事，收录于其1969年著作的第1章。
* 更多与证伪主义相关的资料将在下一章末尾给出。

**第六章**

**精致证伪主义、新颖预测与科学的成长**

**相对而非绝对的可证伪性程度**

上一章提到了一个假说若要值得科学家考虑，应满足的一些条件。一个假说应该是可证伪的，越可证伪 越好，并且不应已被证伪。更精致的证伪主义者意识到，仅靠这些条件是不够的。另一个条件与科学进步的需要有关。一个假说作为其所要取代的假说的替代品，应该更可证伪。

精致证伪主义的科学观，由于其强调科学的成长，将关注的焦点从单个理论的优点转移到了相互竞争的理论的相对优点。它描绘了一幅动态的科学图景，而不是最天真的证伪主义者的静态描述。它不再询问一个理论：“它可证伪吗？” ，“它有多可证伪？”以及“它已被证伪了吗？”，而是更恰当地询问：“这个新提出的理论是否是一个有竞争力的、可行的替代品？” 一般来说，一个新提出的理论如果比其竞争对手更可证伪，并且尤其是如果它预测了其竞争对手未曾涉及到的新型现象，那么它就将被接受为值得科学家考虑。

这种对一系列理论可证伪性程度进行比较的强调，是科学作为不断成长和进化的知识体系这一观点的结果，它使得一个技术性问题得以绕过。因为很难精确地指定单个理论的可证伪性程度。绝对的可证伪性度量无法被定义，仅仅因为一个理论的潜在证伪者的数量总是无限的。很难回答“牛顿的万有引力定律有多可证伪？”这个问题。另一方面，我们通常可以比较定律或理论的可证伪性程度。例如，“所有成对的物体都以一种与其间距平方成反比的力相互吸引”这一主张比“太阳系中的行星以一种与其间距平方成反比的力相互吸引”这一主张更可证伪。后者是由前者推导出来的。任何证伪后者的东西都会证伪前者，但反之则不成立。理想情况下，证伪主义者希望能够说，构成科学历史演变的一系列理论，是由可证伪的理论组成的，并且该系列中每一个理论都比其前身更可证伪。

**增加可证伪性与特设性修改**

要求一门科学在进步时，其理论应变得越来越可证伪，从而拥有越来越多的信息量，这排除了那些旨在仅仅保护理论免受潜在证伪的修改。一个理论的修改，比如增加一个额外的假设或改变某个现有假设，如果它没有带来任何在未修改的理论中本身就无法被检验的新可检验结果，那么这种修改将被称作特设性修改（ad hoc modifications）。本节的其余部分将通过例子来阐明特设性修改的概念。我将首先讨论证伪主义者会反对的一些特设性修改，然后将它们与一些并非特设性的、因此证伪主义者会欢迎的修改进行对比。

我先从一个相当琐碎的例子开始。考虑概括性陈述“面包能提供营养”。这个低层次的理论，如果更详细地阐述，就是声称如果小麦以正常方式生长，以正常方式制成面包，并以正常方式被人食用，那么这些人就会获得营养。这个看似无害的理论在一个法国村庄遇到了麻烦，当时小麦以正常方式生长，以正常方式制成面包，但大多数吃了这种面包的人都病重，许多人因此死亡。“（所有）面包都能提供营养” 的理论被证伪了。为了避免这次证伪，该理论可以被修改为： “（所有）面包，除了法国那个村庄生产的那一批面包之外，都能提供营养” 。这是一个特设性修改。修改后的理论无法以任何方式进行检验，而这些检验在原始理论中本身就不是可检验的。任何人食用任何面包都构成了对原始理论的检验，而对修改后理论的检验则仅限于食用除那批在法国导致灾难性结果的面包之外的其他面包。这个修改后的假说比原始版本可证伪性更低。证伪主义者反对这种后卫行动。

下一个例子不那么可怕，也更有趣。这个例子是基于17世纪伽利略与一位亚里士多德主义对手之间实际发生的争论。伽利略用他新发明的望远镜仔细观察了月球后，报告说月球不是一个光滑的球体，其表面布满了山脉和陨石坑。他的亚里士多德主义对手在亲自重复观察后，不得不承认事物看起来确实如此。但这些观察威胁到了许多亚里士多德主义者所持的一个基本观念，即所有天体都是完美的球体。面对这一明显的证伪，伽利略的对手以一种公然的特设性方式捍卫了他的理论。他提出月球上有一种看不见的物质，这种物质填满了陨石坑并覆盖在山脉上，使得月球的形状是完美的球体。当伽利略询问如何探测到这种看不见的物质时，对方回答说没有办法可以探测到它。毫无疑问，这个修改后的理论没有带来任何新的可检验结果，因此对于证伪主义者来说是完全不可接受的。被激怒的伽利略以他特有的机智方式揭示了他对手立场的荒谬。他宣称他准备承认这种看不见的、无法探测的物质存在于月球上，但坚称它的分布方式并非他对手所说的那样，而实际上是堆积在山顶上，使得这些山峰通过望远镜看起来比实际高出很多倍。在发明特设性手段来保护理论这种毫无结果的游戏中，伽利略成功地胜过了他的对手。

科学史上另一个可能的特设性假说将简要提及。在拉瓦锡之前，燃素 理论是标准的燃烧理论。根据该理论，当物质燃烧时会释放出 燃素。当发现许多物质在燃烧后会增重时，该理论受到了威胁。克服这一明显证伪的一种方法是提出燃素具有负重。如果这个假说只能通过称量物质燃烧前后的重量来检验，那么它就是特设性的。它没有带来任何新的检验。

试图克服困难的理论修改不一定是特设性的。以下是一些非特设性修改的例子，因此从证伪主义的角度来看是可以接受的。

让我们回到“面包能提供营养”这一论断被证伪的例子，看看它如何以一种可接受的方式被修改。一个可接受的做法是用以下主张来取代最初被证伪的理论：“所有面包都能提供营养，除了那些由被某种特定真菌污染的小麦制成的面包” （随后是该真菌及其某些特征的详细说明）。这个修改后的理论不是特设性的，因为它带来了新的检验。用波普尔（1972年，第193页）的话来说，它是可独立检验的。可能的检验包括：检测制作有毒面包的小麦是否存在该真菌；在一些专门准备的小麦上培养该真菌，并检验用它制成的面包的营养效果；通过化学分析该真菌来确定是否存在已知的毒素等等。所有这些检验，其中许多不构成对原始假说的检验，都可能导致修改后假说的证伪。如果这个修改后的、更可证伪的假说在新检验面前抵抗住了证伪，那么就会学到一些新的东西，并取得了进步。

现在转向科学史上一个不那么人为的例子，我们可以考虑导致海王星发现的一系列事件。19世纪对天王星运动的观察表明，其轨道与基于牛顿引力理论预测的轨道显著偏离，从而给该理论带来了问题。为了克服这个困难，法国的勒维耶（Leverrier）和英国的亚当斯（Adams）提出，在天王星附近存在一个先前未被探测到的行星。这个假想行星与天王星之间的引力可以解释后者的轨道偏离其最初预测轨道的原因。正如事件所表明的，这个提议不是特设性的。如果这个假想行星的大小合理，并能解释天王星轨道的扰动，那么就可以估算出其大致位置。一旦做到了这一点，就可以通过望远镜检查天空的相应区域来检验这个新提议。正是通过这种方式，加勒（Galle）首次观测到了现在被称为海王星的行星。这个为了避免牛顿理论因天王星轨道而遭证伪的举动，非但不是特设性的，反而带来了对该理论的一种新检验，并且该理论以一种戏剧性且进步的方式通过了这一检验。

**证伪主义科学观中的证实**

在上一章中，证伪主义作为归纳主义的替代方案被介绍时，证伪（即理论未能经受住 观察和实验检验）被描绘为至关重要。当时认为，逻辑情况允许在现有观察陈述的光照下确立理论的错误性，而非其真实性。人们还强烈主张，科学应该通过提出大胆的、高度可证伪的猜想来解决问题，随后对这些新提议进行无情的证伪尝试。与此同时，还有一个暗示是，当那些大胆的猜想被证伪时，科学中就会出现重大进展。自称证伪主义者的波普尔在他那段话（引自第62页，斜体为他自己所加）中也明确了这一点。然而，只关注证伪实例是对更精致的证伪主义立场的误读。上一节结尾的例子就暗示了这一点。用一个推测性假说来拯救牛顿理论的可独立检验的尝试之所以成功，是因为这个假说通过海王星的发现得到了证实，而不是因为它被证伪了。

将大胆的、高度可证伪的猜想被证伪视为科学重大进展的时机是一个错误，波普尔在这点上需要被修正。当我们考虑各种极端可能性时，这一点就变得清晰了。一个极端是采取大胆、有风险的猜想形式的理论，而另一个极端是谨慎的猜想，这些猜想的主张似乎不涉及任何重大风险。如果任何一种猜想未通过观察或实验检验，它就会被证伪；如果它通过了这样的检验，我们就会说它得到了证实。重大的进展将以大胆猜想的证实或谨慎猜想的证伪为标志。

前一种情况（大胆猜想的证实）将提供信息，并构成对科学知识的重要贡献，仅仅因为它们标志着发现了以前闻所未闻或被认为不太可能存在的事物。海王星的发现、无线电波的发现以及爱丁顿对爱因斯坦关于“光线在强引力场中会弯曲”这一有风险的预测的证实，都构成了这种重大的进步。有风险的预测得到了证实。

后一种情况（谨慎猜想的证伪）也提供了信息，因为它确立了那些被认为毫无问题地为真的事物，事实上是错误的。罗素 证明天真集合论是不一致的，就是一个谨慎猜想的信息性证伪，它建立在看似不言自明的命题之上，却显然没有风险。

相比之下，从大胆猜想的证伪或谨慎猜想的证实中，我们学到的东西很少。如果一个大胆的猜想被证伪，那么我们所学到的只是又一个疯狂的想法被证明是错误的。开普勒推测行星轨道的间距可以用柏拉图的五个正多面体来解释，但这个推测被证伪了，这并不标志着物理学进步中的重大里程碑。同样，对谨慎假说的证实也缺乏信息量。这类证实只是表明一个已经确立且被认为毫无问题的理论，又一次被成功应用。例如，证实“通过某种新工艺从矿石中提取的铁样品，像其他铁一样，受热会膨胀”这一猜想，其意义不大。

证伪主义者希望摒弃特设性假说，并鼓励提出大胆的假说，作为对被证伪理论的潜在改进。那些大胆的假说将带来新颖的、可检验的预测，而这些预测是原始的、已被证伪的理论所无法推导出的。然而，尽管一个假说能够带来新检验的可能性使其值得被探究，但它只有在至少通过了其中的一些检验后，才能被评定为是对其所旨在取代的、有问题的理论的改进。这等同于说，一个新颖且大胆提出的理论，在被视为对一个被证伪理论的恰当替代品之前，必须做出一些新颖的预测，并且这些预测得到了证实。许多不着边际和鲁莽的推测将无法在随后的检验中存活下来，因此不会被评定为对科学知识的增长有所贡献。偶尔出现的、那些能够带来新颖且不太可能发生的预测，但却被观察或实验证实的、不着边际和鲁莽的推测，将因此成为 科学 成长史上的一个亮点。在证伪主义对 科学 成长的解释中，大胆猜想所带来的新颖预测的证实非常重要。

**大胆性、新颖性与背景知识**

关于分别应用于假说和预测的形容词“大胆的”和“新颖的”，还需要多说几句。它们都是历史相对的概念。在科学史的某个阶段被认为是大胆的猜想，在后来的阶段可能就不再大胆了。当麦克斯韦在1864年提出他的“电磁场动力学理论”时，这是一个大胆的猜想。之所以大胆，是因为它与当时普遍接受的理论相冲突，这些理论包括电磁系统（磁铁、带电体、载流导体）在空旷空间内瞬间相互作用，以及电磁效应只能通过物质以有限速度传播的假设。麦克斯韦的理论与这些普遍接受的假设相冲突，因为它预测光是一种电磁现象，并且（后来才被意识到）预测波动电流应该发射出一种以有限速度穿过空旷空间的新型辐射，即无线电波。因此，在1864年，麦克斯韦的理论是大胆的，随后对无线电波的预测是新颖的预测。今天，麦克斯韦理论能够准确解释广泛电磁系统的行为，这一点是公认的科学知识的一部分，而关于无线电波存在和性质的断言则不再被视为新颖的预测。

如果我们把科学史上某个阶段普遍接受且已确立的科学理论集合称为当时的背景知识，那么我们可以说，一个猜想如果其主张在当时的背景知识看来是不太可能的，那么它就是大胆的。爱因斯坦的广义相对论在1915年是一个大胆的理论，因为当时的背景知识包括 光 沿直线传播的假设。这与广义相对论的一个推论相冲突，即光线在强引力场中会弯曲。哥白尼的天文学在1543年是大胆的，因为它与地球静止在宇宙中心这一背景假设相冲突。今天它就不会被认为是大胆的了。

正如猜想将通过参照相关背景知识来判断其大胆与否一样，如果预测涉及当时背景知识中不存在、或者可能被明确排除的某种现象，那么它将被认为是新颖的。1846年对海王星的预测是新颖的，因为当时的背景知识中没有提到这样一个行星。1818年泊松从菲涅尔的光波理论中推导出的预测，即当一个不透明圆盘从另一侧被适当照明时，其中心应该出现一个亮点，这个预测是新颖的，因为当时作为背景知识一部分的光粒子理论排除了那个亮点的存在。

在上一节中，我们论证了对科学知识增长做出重大贡献的，要么是大胆猜想的证实，要么是谨慎猜想的证伪。背景知识的概念使我们能够看到，这两种可能性会作为单一实验的结果同时发生。背景知识之所以由谨慎的假说组成，正是因为这些知识是已经确立且被认为毫无问题的。一个大胆猜想的证实，将涉及证伪该猜想所基于的、作为其大胆性来源的背景知识的某一部分。

**归纳主义和证伪主义对证实的看法比较**

我们已经看到，在精致证伪主义者所理解的科学中，证实扮演着重要的角色。然而，这并没有完全否定将这一立场标记为“证伪主义”。精致证伪主义者仍然坚持理论可以被证伪和摒弃，同时否认理论可以被确立为真或可能为真。科学的目标是证伪理论，并用更好的理论取代它们，这些理论表现出更强的经受检验的能力。新理论的证实之所以重要，是因为它们构成了证据，证明新理论是对其所取代的理论的改进——而那个被取代的理论，正是被借助新理论所发现并得到其证实的证据所证伪的。一旦一个新提出的大胆理论成功地取代了它的对手，那么它反过来就成为了一个新目标，应该用进一步大胆猜想的理论所设计的、更严格的检验来对其进行检验。

由于证伪主义者强调科学的成长，他们对证实的解释与归纳主义者截然不同。根据第四章所描述的极端归纳主义立场，某些证实一个理论的实例的意义，仅仅由被证实的观察陈述与它们所支持的理论之间的逻辑关系决定。伽勒对海王星的观察所给予牛顿理论的支持程度，与现代对海王星的观察所给予的支持程度没有区别。获取证据的历史背景是无关紧要的。证实性实例之所以是证实性的，是因为它们为理论提供了归纳支持，并且确立的证实性实例越多，对理论的支持就越大，理论为真的可能性就越大。这种非历史性的证实理论似乎有一个不受欢迎的后果，即对落石、行星位置等无数次的观察，将构成有价值的科学活动，只要它们能导致对万有引力定律为真概率的估计增加。

相比之下，在证伪主义的解释中，证实的意义在很大程度上取决于其历史背景。如果一个证实是源于对一个新颖预测的检验，那么它将赋予理论某种高度的价值。也就是说，如果根据当时的背景知识判断，该证实不太可能发生，那么它将是重要的。那些意料之中的证实是无关紧要的。如果我今天通过一块石头落到地面的观察来证实牛顿理论，我并没有给科学增加任何有价值的东西。另一方面，如果我明天证实了一个推测性的理论，它暗示两个物体之间的引力取决于它们的温度，并在这一过程中证伪了牛顿理论，那么我将对科学知识做出重大贡献。牛顿的万有引力理论及其某些局限性是当前的背景知识的一部分，而引力对温度的依赖性则不是。这里还有一个例子，支持证伪主义者引入证实的历史视角。赫兹在探测到第一批无线电波时证实了麦克斯韦的理论。我每次听收音机时，也证实了麦克斯韦的理论。在这两种情况下，逻辑情况是相似的。在每种情况下，理论都预测应该探测到无线电波，而在每种情况下，成功探测到它们都为理论提供了一些归纳支持。然而，赫兹因他所取得的证实而 justly famous，而我频繁的证实则在科学背景下被理所当然地忽视。赫兹迈出了重要的一步。当我听收音机时，我只是在原地踏步。历史背景决定了一切。

**证伪主义相对于归纳主义的优势**

在总结了证伪主义的基本特征之后，现在是时候审视一下该 立场相对于归纳主义（我们之前章节讨论过的，即科学知识是通过归纳法从既定事实中推导出来的）所具有的一些优势了。

我们已经看到，有些事实，特别是实验结果，在重要意义上是依赖于理论且 可错的。这削弱了那些要求科学拥有一个毫无问题且既定的事实基础的归纳主义者。证伪主义者认识到，事实和理论都是 可错的。然而，对于证伪主义者来说，存在一个重要的事实集合，构成了科学理论的检验基础。它由那些经受了严格检验的事实陈述组成。这确实导致科学的事实基础是 可错的，但这对于证伪主义者来说并不像对归纳主义者那样构成大问题，因为证伪主义者只寻求科学的不断改进，而非对真理或其可能性的证明。

归纳主义者在界定好的归纳推理标准方面遇到了麻烦，因此很难回答“在什么情况下事实可以说为理论提供了显著支持”这类问题。证伪主义者在这方面做得更好。当事实构成对该理论的严格检验时，它们就为理论提供了显著支持。新颖预测的证实是这类检验中的重要成员。这有助于解释为什么重复实验不会导致对理论经验支持的显著增加，而这是极端归纳主义者难以解释的一个事实。进行一个特定的实验可能构成对一个理论的严格检验。然而，如果该实验已经得到充分执行且理论经受住了检验，那么随后对同一实验的重复将不再被视为同样严格的检验，因此将越来越无法为其提供显著支持。同样，虽然归纳主义者在解释如何从可观察事实中推导出关于不可观察事物的知识方面存在问题，但证伪主义者没有这样的问题。关于不可观察事物的陈述可以通过探索其新颖结果来受到严格检验，从而得到支持。

我们已经看到，归纳主义者在刻画和证明归纳推理方面遇到了麻烦，而这些推理本应展示理论是真的或可能为真的。证伪主义者声称通过坚持科学不涉及归纳法来绕过这些问题。演绎法被用来揭示理论的后果，以便对其进行检验，并可能证伪。但没有任何主张表明通过检验就能证明一个理论是真的或可能为真。充其量，这些检验的结果表明一个理论比其前身有所改进。证伪主义者满足于进步，而不是真理。

**延伸阅读**

* 关于波普尔对其证伪主义的成熟思考，请参阅他1983年的著作《实在论与科学的目标》（Realism and the Aim of Science）。
* 收录于“在世哲学家文库”系列的《施尔普文集》（Schilpp）（1974年）包含了波普尔的自传、批评者对他哲学的多篇文章、波普尔对这些批评者的回应，以及波普尔著作的详细书目。
* 对波普尔观点通俗易懂的概述可见阿克曼（Ackermann）（1976年）和奥赫尔（O’Hear）（1980年）的著作。
* 关于“证伪主义科学观中的证实”一节中对波普尔观点的修改，查尔默斯（Chalmers）在1973年的著作中有更详细的讨论。

**第七章**

**证伪主义的局限性**

**源于逻辑情境的问题**

构成科学定律的概括性陈述永远无法从有限的、可观察的事实中通过逻辑推导得出，然而，一个定律的虚假性却可以通过一个与它相冲突的、可观察的事实从逻辑上推导出来。例如，通过观察发现只有一只黑天鹅，就足以证伪“所有天鹅都是白色的”这一论断。这是一个无可争议的观点。然而，以此作为支持科学证伪主义哲学的理由，却并不像看起来那么简单。一旦我们从像天鹅颜色这样极其简单的例子，转向更复杂、更接近科学中常见的情境，问题就出现了。

如果某个观察陈述 O 的真实性得到确认，那么，从逻辑上推导出 O 并不成立的理论 T，其虚假性也就可以被推断出来。然而，正是证伪主义者自己坚持认为，构成科学基础的观察陈述是依赖于理论且可能出错的。因此，T 与 O 之间的冲突并不意味着 T 就是错误的。从逻辑上讲，T 推导出一个与 O 不一致的预测，其唯一结果是，要么 T 是错误的，要么 O 是错误的，但单凭逻辑无法告诉我们是哪一个。当观察和实验提供的证据与某个定律或理论的预测相冲突时，可能是证据本身出了问题，而不是定律或理论。从逻辑上看，并没有要求在每次出现与观察或实验冲突时，都必须抛弃定律或理论。一个可能有误的观察陈述可能会被驳回，而与它相冲突的、可能有误的理论却被保留下来。这正是当哥白尼的理论被保留下来，而肉眼观察到的金星和火星大小与该理论在逻辑上不一致的现象被抛弃时所发生的情况。在现代，这也是保留对月球轨道的精确描述，而抛弃基于肉眼观察对其大小的估算时所发生的情况。无论一个事实性主张多么稳固地建立在观察或实验的基础上，证伪主义的立场使得我们无法排除科学知识的进步可能会揭示该主张的不足之处。因此，通过观察对理论进行简单、决定性的证伪是无法实现的。

证伪主义的逻辑问题并未到此为止。“所有天鹅都是白色的”如果能够确定存在非白色的天鹅实例，那么这一论断无疑会被证伪。但是，像这样对证伪逻辑的简化说明，掩盖了证伪主义所面临的一个严重困难，该困难源于任何现实检验情境的复杂性。一个现实的科学理论将由一系列复杂的普遍陈述构成，而不仅仅是像“所有天鹅都是白色的”这样的单一陈述。此外，如果一个理论要进行实验检验，那么所涉及的将不仅仅是构成待检理论的那些陈述。该理论需要辅以辅助假设，例如关于所使用仪器的定律和理论。此外，为了推导出一个可以通过实验检验其有效性的预测，还有必要添加初始条件，例如对实验设置的描述。例如，假设一个天文学理论要通过望远镜观察某个行星的位置来检验。该理论必须预测在某个特定时间观察到该行星所需的望远镜方向。推导该预测的前提将包括构成待检理论的相互关联的陈述、初始条件（如行星和太阳的先前位置）、辅助假设（如那些能够对来自行星的光线在地球大气层中的折射进行校正的假设），等等。现在，如果从这堆前提中得出的预测被证明是错误的（在我们的例子中，如果行星没有出现在预测的位置），那么逻辑上我们唯一能得出的结论是，至少有一个前提是错误的。它无法让我们识别出哪个前提有问题。可能是待检的理论出了问题，但同样可能是某个辅助假设或初始条件描述的某个部分导致了错误的预测。一个理论无法被决定性地证伪，因为我们无法排除在复杂的检验情境中，除了待检理论之外的某个部分导致了错误的预测。这个困难通常被称为杜恒/奎因论题，以皮埃尔·杜恒（1962，第183-8页）和威廉·V·O·奎因（1961）的名字命名，杜恒首先提出了它，而奎因则使其复兴。

这里有一些来自天文学史的例子来说明这一点。

在前面使用的一个例子中，我们讨论了牛顿的理论是如何被行星天王星的轨道明显反驳的。在这个例子中，事实证明出问题的不是理论，而是初始条件的描述，其中没有考虑到尚未被发现的海王星。第二个例子涉及丹麦天文学家第谷·布拉赫（Tycho Brahé）的一个论点，他声称在哥白尼理论首次发表几十年后就将其推翻了。布拉赫认为，如果地球绕太阳公转，那么在一年中，随着地球从太阳的一侧移动到另一侧，从地球上观察恒星的方向应该发生变化。但是当布拉赫试图用他当时最精确、最灵敏的仪器来探测这种预测的视差时，他失败了。这导致布拉赫得出结论，哥白尼的理论是错误的。事后看来，可以发现，导致错误预测的不是哥白尼理论，而是布拉赫的一个辅助假设。布拉赫对恒星距离的估计比实际距离小了许多倍。当他的估计被一个更现实的估计所取代时，预测的视差就变得太小，以至于无法被布拉赫的仪器探测到。

第三个例子是由伊姆雷·拉卡托斯（1970，第100-1页）设计的一个假设性例子。内容如下：

*这个故事是关于一个假想的行星“行为不端”的案例。*

*一位爱因斯坦时代之前的物理学家，利用牛顿的力学和引力定律（N），以及公认的初始条件（I），计算出了一个新发现的小行星 p 的运行轨道。但是，这颗小行星偏离了计算出的轨道。*

*这位牛顿派物理学家会认为，这种偏离是牛顿理论所不允许的，因此，一旦得到证实，就推翻了理论 N 吗？不。他认为一定存在一颗迄今为止未知的行星 p1，它扰乱了 p 的轨道。他计算出这颗假想行星的质量、轨道等，然后请一位实验天文学家来验证他的假设。行星 p1 太小了，即使是现有的最大望远镜也无法观测到；于是这位实验天文学家申请研究经费来建造一个更大的望远镜。三年后，新的望远镜准备就绪。如果发现了这颗未知的行星 p1，它将被誉为 牛顿 科学的新胜利。*

*但它没有被发现。这位科学家会放弃牛顿理论和他关于扰动行星的想法吗？不。他提出，有一团宇宙尘埃云遮挡了这颗行星，使我们无法看到它。他计算出这团尘埃云的位置和性质，并申请研究经费发射一颗卫星来验证他的计算。如果卫星的仪器（可能是基于一个未经充分验证的新理论的新仪器）记录下了这团假想的尘埃云的存在，这一结果将被誉为 牛顿 科学的杰出胜利。*

*但尘埃云也没有被找到。这位科学家会放弃牛顿理论，以及扰动行星和遮挡它的尘埃云的想法吗？不。他提出，那个宇宙区域存在某种磁场，干扰了卫星的仪器。于是，一颗新的卫星被发射升空。如果发现了这个磁场，牛顿派学者将庆祝一次轰动性的胜利。*

*但它也没有被找到。这会被认为是 牛顿 科学被驳倒了吗？不。要么会提出另一个巧妙的辅助假设，要么……整个故事被埋藏在期刊的尘封卷册中，再也无人提起。*

如果这个故事被认为是合理的，那么它说明了理论总是可以通过将证伪转移到其复杂假设网络中的其他部分，从而免于被证伪。

**证伪主义在历史上的不足**

对证伪主义者来说，一个令人尴尬的历史事实是，如果科学家们严格遵守其方法论，那么那些通常被认为是 最佳 科学理论典范的理论，将永远无法得到发展，因为它们在萌芽阶段就会被抛弃。

*就任何一个经典的科学理论而言，无论是在其首次提出时还是在后期，我们总能找到当时被普遍接受、且被认为与该理论不一致的观察性主张。然而，这些理论并未因此被抛弃，对科学而言，这是件幸事。以下是一些支持我这一论断的历史例证。*

*在其早期阶段，牛顿的引力理论因对月球轨道的观察而被证伪。花了将近五十年时间，才将这一证伪转移到牛顿理论之外的其他原因上。后来，在它的生命周期中，众所周知该理论与水星轨道的细节不符，但科学家们并没有因此放弃该理论。事实证明，这一证伪无法通过保护牛顿理论的方式来解释。*

*第二个例子是关于玻尔的原子理论，由拉卡托斯（1970，第140-54页）提出。该理论的早期版本与以下观察结果不一致：一些物质的稳定性超过了大约 10⁻⁸ 秒。根据该理论，原子内带负电荷的电子围绕带正电荷的原子核运行。但根据玻尔理论所预设的经典电磁理论，运行中的电子应该辐射能量。这种辐射会导致运行中的电子失去能量并最终崩溃落入原子核。经典电磁学的定量细节估算出这个崩溃发生的时间约为 10⁻⁸ 秒。幸运的是，尽管玻尔的理论被证伪，他还是坚持了下来。*

*第三个例子是关于分子运动论，其优点在于该理论的提出者明确承认了其在诞生时就被证伪。当麦克斯韦（1965，第1卷，第409页）在1859年首次发表气体分子运动论的统计版本细节时，他在同一篇论文中承认，该理论被对气体比热的测量结果所证伪。十八年后，在评论分子运动论的后果时，麦克斯韦（1877）写道：*

*毫无疑问，其中一些结果在我们目前对物体构成的认知状态下是非常令人满意的，但另一些则可能会让我们摆脱自满，并最终可能将我们从迄今为止所有我们所找到的庇护假设中驱逐出去，进入那种彻底自觉的无知状态——而这正是知识领域中每一次真正进步的前奏。*

分子运动论中所有重要的发展都发生在这个证伪之后。再次，幸运的是，面对气体比热测量的证伪，该理论没有被抛弃，而一个天真的证伪主义者则会坚持要求将其抛弃。

第四个例子，哥白尼革命，将在下一节中更详细地概述。这个例子强调了，考虑到重大理论变革的复杂性时，证伪主义者所面临的困难。这个例子也为讨论一些更近期、更恰当地试图描述科学及其方法本质的尝试奠定了基础。

**哥白尼革命**

在中世纪的欧洲，人们普遍接受的观点是地球位于一个有限宇宙的中心，太阳、行星和恒星都围绕它运行。为这一天文学提供框架的物理学和宇宙学，基本上是由公元前四世纪的亚里士多德发展起来的。在公元二世纪，托勒密设计了一个详细的天文学系统，精确规定了月球、太阳和所有行星的轨道。

在十六世纪的最初几十年，哥白尼设计了一套新的天文学，这套天文学涉及一个运动的地球，挑战了亚里士多德和托勒密的体系。根据哥白尼的观点，地球并非静止在宇宙的中心，而是像其他行星一样围绕太阳运行。当哥白尼的观点得到证实后，亚里士多德的世界观已经被牛顿的世界观所取代。这个历时一个半世纪的重大理论变革，其细节并不支持归纳主义者和证伪主义者所倡导的方法论，并表明需要一种不同、或许结构更复杂的科学及其成长理论。

当哥白尼在1543年首次发表他的新天文学细节时，有许多论点可以、也确实被用来反对它。相对于当时已有的科学知识，这些论点是站得住脚的，而哥白尼无法令人满意地为他的理论辩护。为了理解这种情况，有必要熟悉一些作为反对哥白尼论点基础的亚里士多德世界观。下面是对一些相关要点的简要概述。

亚里士多德的宇宙被分为两个截然不同的区域。月下区是内部区域，从中心地球延伸到月球轨道内侧。月上区是有限宇宙的其余部分，从月球轨道延伸到标志着宇宙外部边界的恒星天球。在外部天球之外什么都没有，甚至连空间都没有。在亚里士多德体系中，未被填满的空间是不可能存在的。月上区的所有天体都由一种被称为“以太”的不朽元素构成。“以太” 有一种围绕宇宙中心做完美圆周运动的自然倾向。这个基本思想在托勒密的天文学中得到了修正和扩展。由于对行星在不同时间的观测位置无法与以地球为中心的圆形轨道相协调，托勒密在他的体系中引入了更多的圆，称为 “本轮” 。行星在本轮中运动，而本轮的中心又围绕地球做圆周运动。通过在本轮上再添加本轮，可以进一步精炼轨道，使得最终的体系与对行星位置的观测相符，并能预测未来的行星位置。

与月上区有序、规律、不朽的特性相反，月下区的特点是变化、生长和衰败，以及产生和腐朽。月下区的所有物质都是由四种元素——气、土、火和水——混合而成的，混合物中元素的相对比例决定了所构成物质的特性。每一种元素在宇宙中都有一个自然的位置。土的自然位置在宇宙中心；水的自然位置在地球表面；气的自然位置在紧靠地球表面的区域；火的自然位置在大气层顶部，靠近月球轨道。因此，每一个地球上的物体都会有一个在月下区的自然位置，这取决于它所含四种元素的相对比例。石头大部分是土，所以其自然位置靠近地心；而火焰大部分是火，所以其自然位置靠近月球轨道，以此类推。所有物体都有沿直线向上或向下，向其自然位置运动的倾向。因此，石头有一种直线下落的自然运动，朝向地心；而火焰有一种直线上升的自然运动，远离地心。除了自然运动之外的所有运动都需要一个原因。例如，箭 需要由 弓来推动，马车需要由马匹来拉动。

这些便是哥白尼同时代人所预设的亚里士多德力学和宇宙学的基本骨架，这些理论被用来作为反对运动地球的论据。让我们看看一些反对哥白尼体系的有力论据。

也许对哥白尼构成最严重威胁的论据是所谓的“高塔论证”。它运行如下：如果地球像哥白尼所说的那样绕着自己的轴心自转，那么地球表面上的任何一点在一秒钟内都会移动相当大的距离。如果从一座建在运动地球上的高塔顶端扔下一块石头，它会执行其自然运动，向地心坠落。当它这样做时，由于地球的自转，高塔也会分享地球的运动。因此，当石头到达地面时，高塔已经从石头开始下落时的位置移动了一段距离。因此，石头应该落在离塔基有一段距离的地方。但实际上并非如此。石头正好落在塔基处。由此可以得出结论，地球不可能是自转的，哥白尼的理论是错误的。

另一个反对哥白尼的力学论证涉及诸如石头和哲学家等 resting on the surface of the earth 的松散物体。如果地球自转，为什么这些物体不会被从地球表面甩出去，就像石头会被从旋转的车轮边缘甩出去一样？而且，如果地球不仅自转，还围绕太阳整体移动，为什么它不会把月球抛在后面？

前面在本书中已经提到了一些基于天文学考虑来反对哥白尼的论点。它们涉及恒星观测位置没有视差，以及火星和金星在一年中用肉眼观察时大小没有明显变化的事实。

由于我提到的这些论点，以及其他类似的论点，哥白尼理论的支持者面临着严峻的困难。哥白尼本人深受亚里士多德形而上学的影响，没有足够的论据来回应这些挑战。

鉴于反对哥白尼的论据如此有力，我们可能会问，在1543年，有什么论据可以支持哥白尼的理论呢？答案是：“并不多” 。哥白尼理论的主要吸引力在于它以一种简洁的方式解释了行星运动的一些特征，而这些特征在与其对立的托勒密理论中只能以一种不吸引人、不自然的方式来解释。这些特征是行星的逆行运动，以及与其它行星不同，水星和金星总是停留在太阳附近的事实。行星会定期逆行，即它们会停止其在恒星间的向西运动（从地球上看），并在短时间内向东折返，然后再次继续向西的旅程。在托勒密体系中，逆行运动是通过添加专门为此目的设计的本轮这一有些随意的操作来解释的。而在哥白尼体系中，则不需要这种人为的操作。逆行运动是地球和行星一起在固定恒星的背景下围绕太阳运行的自然结果。类似的论述也适用于水星和金星总是停留在太阳附近的问题。一旦确定水星和金星的轨道在地球轨道之内，这在哥白尼体系中就是一个自然的推论。而在托勒密体系中，太阳、水星和金星的轨道必须人为地联系在一起才能达到所需的结果。

因此，哥白尼理论存在一些数学上的优势。除此之外，就其简洁性和与行星位置观测的一致性而言，这两个对立的体系或多或少是旗鼓相当的。以太阳为中心的圆形轨道无法与观测相协调，因此哥白尼和托勒密一样，需要添加本轮，而为使轨道与已知观测结果一致所需的本轮总数，两个体系大致相同。在1543年，支持哥白尼的数学简洁性论据，不能被认为是足以对抗反对他的力学和天文学论据。然而，许多具有数学能力的自然哲学家还是被哥白尼体系所吸引，在接下来的大约一百年里，他们为捍卫该体系所做的努力越来越成功。

对哥白尼体系的防御贡献最大的人是伽利略。他通过两种方式做到了这一点。首先，他使用望远镜观察天空，并在此过程中改变了哥白尼理论需要解释的观测数据。第二，他设计了新的力学雏形，以取代亚里士多德力学，并以此为基础，化解了反对哥白尼的力学论据。

1609年，当伽利略制造出他的第一批望远镜并将其对准天空时，他做出了惊人的发现。他看到了许多肉眼看不见的恒星。他看到木星拥有卫星，他还看到月球表面布满了山脉和陨石坑。他还观察到，火星和金星通过望远镜看到的视尺寸变化，与哥白尼体系的预测相符。后来，伽利略证实金星像月亮一样有盈亏现象，这一事实可以很容易地被纳入哥白尼体系，但却无法被托勒密体系所解释。木星的卫星驳斥了亚里士多德基于月球停留在据称是运动的地球旁边的论点。因为现在亚里士多德派在木星及其卫星上，也面临着同样的问题。月球类似地球的表面，破坏了亚里士多德关于完美、不朽的天界和变化、腐朽的地球之间的区别。金星相位变化的发现，标志着哥白尼派的成功，也给托勒密派带来了新问题。不可否认，一旦伽利略通过望远镜进行的观测被接受，哥白尼理论所面临的困难就减少了。

前面关于伽利略和望远镜的论述，提出了一个严重的认识论问题：为什么通过望远镜的观测要优于肉眼观测？对这个问题的回答可能会利用望远镜的光学理论，解释其放大特性，并解释我们可以预期的望远镜图像可能存在的各种像差。但伽利略本人并没有为此目的利用光学理论。第一个能够朝这个方向提供支持的光学理论是由伽利略的同代人开普勒在十六世纪初提出的，这个理论在后来的几十年里得到了改进和补充。解决我们关于望远镜优于肉眼观察的第二个方法，是通过实际操作来证明望远镜的有效性，例如将其对准远处的塔、船只等，并证明该仪器如何放大并使物体更清晰可见。然而，用这种方式为望远镜在天文学中的使用进行辩护存在一个困难。当通过望远镜观察地面物体时，由于观察者熟悉塔、船只等的真实样貌，因此可以区分被观察的物体和由望远镜造成的像差。但这不适用于观察者在天空中寻找他所不知道的事物。在这方面值得注意的是，伽利略用望远镜绘制的月球表面图中包含了一些实际上并不存在的陨石坑。可以推测，这些“陨石坑”是伽利略并不完美的望远镜运作时产生的像差。这一段已经足以表明，望远镜观测的合理性并非一个简单、直接的问题。那些质疑伽利略发现的反对者并非都是愚蠢、固执的反动派。合理的解释后来出现了，并且随着更好望远镜的建造以及望远镜光学理论的发展而变得越来越充分。但这所有的一切都需要时间。

伽利略对科学的最大贡献在于他的力学研究。他为后来取代亚里士多德力学的牛顿力学奠定了一些基础。他清晰地将速度和加速度区分开来，并断言自由落体以恒定的加速度运动，且该加速度与物体的重量无关，其下落的距离与下落时间的平方成正比。他否认了亚里士多德关于所有运动都需要一个原因的说法。他认为，一个沿与地球同心圆的水平线运动的物体的速度既不应增加也不应减少，因为它既没有上升也没有下降。他通过将抛射体的运动分解为以恒定速度运动的水平分量和以恒定加速度向下运动的垂直分量来分析抛射体运动。他表明由此产生的抛射体轨迹是一条抛物线。他发展了相对运动的概念，并认为，在一个匀速水平运动的系统中，如果不借助系统外部的某个参照点，就无法通过力学手段检测到该运动。

这些重大的发展并非伽利略一蹴而就的。它们是在长达半个世纪的时间里逐渐形成的，最终在他的著作《两种新科学》（1974年）中达到了顶峰，该书于1638年首次出版，距离哥白尼的主要著作出版已将近一个世纪。伽利略通过插图和思想实验，使得他的新概念变得有意义且越来越精确。偶尔，伽利略也会描述一些实际实验，例如涉及球体沿斜面滚动的实验，尽管伽利略到底亲自进行了多少次这样的实验，仍存在一些争议。

伽利略的新力学使得哥白尼体系能够抵御上述一些反对意见。一个被放置在高塔顶端的物体，与高塔共享围绕地心做圆周运动，在被释放后将继续与高塔一起运动，因此会落在塔基处，这与经验相符。伽利略进一步论证，可以通过从一艘匀速行驶的船只的桅杆顶端扔下一块石头，并观察它是否落在桅杆底部来证明他的水平运动观点的正确性，尽管伽利略没有声称自己做过这个实验。伽利略在解释为什么松散的物体不会被从自转的地球表面甩出去这一问题上，就没有那么成功了。

尽管伽利略的大部分科学工作旨在加强哥白尼理论，但他本人并没有设计出一套详细的天文学体系，似乎也追随了亚里士多德派对圆形轨道的偏好。伽利略的同代人开普勒在这方面做出了重大突破，他发现每一颗行星的轨道都可以用一个以太阳为其中一个焦点的单一椭圆来表示。这消除了哥白尼和托勒密都认为有必要的复杂本轮系统。在托勒密的、以地球为中心的体系中，没有类似的简化是可能的。开普勒 掌握了第谷·布拉赫对行星位置的记录，这些记录比哥白尼所能获得的更为精确。经过对数据一丝不苟的分析，开普勒得出了他的三大行星运动定律：行星以椭圆轨道围绕太阳运动；行星与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积；以及行星周期的 平方 与它到太阳的平均距离的立方成正比。

伽利略和开普勒无疑加强了支持哥白尼理论的论据。然而，在将该理论牢固地建立在一个全面的物理学基础上之前，还需要更多的发展。牛顿能够利用伽利略、开普勒和其他人的工作，构建出他在1687年出版的《自然哲学的数学原理》中的那套 全面物理学。他清楚地阐明了力是加速度而非运动的原因这一概念，这一概念在伽利略和开普勒的著作中以一种有些模糊的方式存在。牛顿用他的线性惯性定律取代了伽利略关于惯性的观点，根据该定律，物体在不受力作用的情况下会以恒定的速度沿直线运动。牛顿的另一个主要贡献当然是他的万有引力定律。这使得牛顿能够解释开普勒行星运动定律和伽利略自由落体定律的大致正确性。在牛顿体系中，天体和地球物体的领域被统一起来，每一组物体都根据牛顿运动定律在力的影响下运动。一旦牛顿的物理学建立起来，就可以将其详细应用于天文学。例如，可以调查月球轨道的细节，同时考虑到其有限大小、地球自转、地球轴心的摆动等等。也可以研究行星偏离开普勒定律的原因，这源于太阳的有限质量、行星间的引力等等。这些发展在接下来的两个世纪里将成为牛顿的一些继承者所研究的课题。

我在这里概述的故事足以表明，哥白尼革命并非像从比萨斜塔上扔下一两件东西那样，是瞬间发生的。同样清楚的是，无论是归纳主义者还是证伪主义者，他们对科学的描述都与这场革命不符。新的力与惯性概念并非源于仔细的观察和实验。它们也不是通过证伪大胆的猜想，并不断用另一个大胆的猜想来取代而产生的。新理论的早期表述，包含了尚未完善的新颖概念，尽管有明显的证伪，科学家们仍然坚持并发展了它们。只有在一个新的物理学体系被创造出来之后——这是一个涉及许多科学家几个世纪的智力与实践劳动过程——这个新理论才能以详细的方式成功地与观察和实验的结果相匹配。除非一个科学理论的解释能够容纳这些因素，否则它远称不上是充分的。

**证伪主义划界标准和波普尔的回应的不足之处**

波普尔为他的科学与非科学或伪科学的划界标准提出了一个诱人的论证。他认为，科学理论应该是可证伪的，也就是说，它们应该有可以通过观察或实验来检验的推论。这个标准，如果不加限制，有一个弱点：它太容易被满足了，特别是，它能被许多波普尔本人希望归类为非科学的知识主张所满足。占星家们确实做出了可证伪（并且经常被证伪）的主张，而报纸和杂志上刊登的星象预言也确实包含了可证伪（以及不可证伪）的主张。第五章中引用的那篇 同样的“你的星运”报纸专栏，在预测“体育投机中可能存在好运”（不可证伪）的同时，也向那些生日在3月28日的人承诺“一位新恋人将让你眼里充满光芒并改善社交活动”，这个承诺显然是可证伪的。任何 坚持逐字逐句解释《圣经》的基要派基督教都是可证伪的。如果不存在海洋和/或没有鱼，那么《创世记》中上帝创造海洋并用鱼类填充海洋的主张就会被证伪。波普尔本人也指出，弗洛伊德的理论，如果将梦解释为愿望的实现，就面临着被噩梦证伪的威胁。

对此，证伪主义者可以做出的一种回应是指出，理论不仅必须是可证伪的，而且也必须是未被证伪的。这或许可以排除星象预言是科学的主张，波普尔也因此论证它排除了弗洛伊德的理论。但是，这个 解决方案不能轻易采纳，否则它可能会排除所有证伪主义者希望保留为科学的东西，因为我们已经看到，大多数科学理论都有其自身的问题，并与一些被接受的观察结果相冲突。因此，根据复杂的证伪主义者观点，面对明显的证伪时，允许修改理论，甚至在证伪出现的情况下坚持理论，以期望问题将来能够得到解决。波普尔（1974，第55页）的以下这段话，就是他试图回应我在这里提出的这类困难：

*我一直强调需要一定的****教条主义****：教条主义的科学家扮演着重要的角色。如果我们太容易屈服于批评，我们将永远无法发现我们理论的真正力量所在。*

依我看，这段话恰恰说明了，面对本章所提出的这类批评，证伪主义面临着多么严峻的困难。

证伪主义的核心是强调科学的批判性。我们的理论应该接受无情的批判，以便淘汰不充分的理论，并代之以更充分的理论。面对围绕理论被证伪的确定性程度所产生的问题，波普尔承认，尽管存在明显的证伪，通常也有必要保留理论。因此，尽管他推荐无情的批判，但其对立面——教条主义，似乎也扮演着积极的角色。

一旦教条主义被允许扮演关键角色，人们不禁会想，证伪主义还剩下些什么呢？此外，如果批判和教条这两种态度都可以被宽恕，那么就很难看出，到底还有哪些态度是被排除在外的。（如果一个经过高度限定的证伪主义版本变得如此薄弱，以至于什么都无法排除，从而与当初促使波普尔提出它的核心直觉（即区分科学与非科学）相冲突，那将是极具讽刺意味的！）

**延伸阅读**

* 对波普尔证伪主义的一系列批评载于施利普（Schilpp, 1974）的著作中。
* 拉卡托斯（Lakatos, 1970）汇集了对除最复杂的证伪主义版本之外的所有观点的批评。
* 本章中关于证伪主义与哥白尼革命不兼容的许多观点，均取材于费耶阿本德（Feyerabend, 1975）。
* 拉卡托斯和马斯格雷夫（Lakatos and Musgrave, 1970）的著作中收录了一些文章，这些文章批判性地比较了波普尔的立场与托马斯·库恩的观点，库恩的观点将在下一章中讨论。
* 马约（Mayo, 1996）的著作中包含了对波普尔立场的精辟批评。

**第八章**

**作为结构的理论一：库恩的范式**

**作为结构的理论**

上一章概述的哥白尼革命表明，归纳主义和证伪主义的科学观过于零碎。它们专注于理论与个别观察陈述或其集合之间的关系，似乎未能掌握主要理论发展模式的复杂性。自20世纪60年代以来，人们普遍得出结论，一个更充分的科学观必须从对科学活动所处的理论框架的理解入手。接下来的三章将探讨由此方法产生的三个有影响力的科学观。（在第十三章中，我们将有理由质疑这种“理论主导”的科学观是否走得太远了。）

之所以需要将理论视为结构，其中一个原因源于科学史。历史研究表明，主要科学的演变和进步所展现的结构，是归纳主义和证伪主义观点无法捕捉的。哥白尼革命已经为我们提供了一个例子。通过反思以下事实，这一观点可以得到进一步强化：在牛顿之后的大约两个世纪里，物理学都是在牛顿的框架内进行的，直到20世纪初，相对论和量子理论才对这个框架构成了挑战。然而，历史论证并不是某些人认为需要关注理论框架的唯一原因。一个更普遍的、哲学上的论证与观察可以说依赖于理论的方式紧密相关。在第一章中，我们强调了观察陈述必须用某种理论的语言来表达。因此，有人认为，这些陈述以及其中出现的概念，其精确性和信息量，取决于构成它们的理论的精确性和信息量。例如，我认为大家会同意，牛顿的质量概念比 民主的概念更精确。很可能，前者相对精确的含义源于这样一个事实：这个概念在一个精确、紧密结合的理论——牛顿力学——中扮演着一个特定的、定义明确的角色。因此，例如，什么是对质量的充分测量，取决于牛顿理论的要求。通过弹簧秤测量质量是有问题的，因为质量和重量是不同的，后者取决于一个有质量的物体到地心引力中心的距离。

概念的含义依赖于其所处理论的结构，以及概念的精确性依赖于该理论的精确性和连贯程度，这可以通过观察其他一些被认为能够赋予概念含义的替代方法的局限性来得到证实。其中一种替代观点认为，概念通过定义获得其含义。定义作为建立含义的基本方式必须被排除，因为概念只能用其他概念来定义，而这些概念的含义是已知的。如果后者的含义本身也是通过定义来建立的，那么很明显，除非一些概念的含义是通过其他方式已知的，否则将导致无限倒退。除非我们已经知道许多词的含义，否则字典是无用的。牛顿无法用先前可用的概念来定义质量或力。他有必要通过发展一个新的概念框架来超越旧框架的限制。第二种替代观点是，概念通过指示性定义获得其含义。我们在第一章讨论一个孩子学习“苹果”这个词的含义时看到，即使是像“苹果”这样基本概念，也难以通过这种方式来支持。当涉及到力学中的“质量”或电磁学中的“电场”等概念的定义时，这种说法就更加难以站得住脚了。

通过以下历史反思，我们可以支持“概念的含义至少部分源于它们在理论中所扮演的角色”这一主张。与大众神话相反，实验绝非伽利略力学创新的关键。他在阐述其理论时所提及的许多“实验”都是思想实验。对于那些认为新理论是实验结果的人来说，这可能显得自相矛盾，但如果我们接受一个精确的理论，如果它能以精确的观察陈述形式得出预测，那么精确的实验才能得以进行，这种观点就变得非常易于理解。可以说，伽利略正是在为构建一种新的力学做出重大贡献，这种力学在后期将能够支持详细的实验。他的努力涉及思想实验、类比和说明性比喻，而不是详细的实验，这并不令人惊讶。可以提出一种观点，认为一个概念的典型历史，无论是“化学元素”、“原子”、“无意识”还是其他任何概念，都包括最初以一个模糊的想法出现，然后随着其所扮演角色的理论变得更精确、更连贯而逐渐清晰。电场概念的出现可以被解读为支持这一观点。当该概念在19世纪上半叶由法拉第 首次引入时，它非常模糊，并且借助涉及拉伸的弦之类的机械类比，以及“张力”、“功率”和“力”等术语的比喻性用法来阐述。随着电场与其他电磁量之间的关系变得更加清晰，电场概念的定义也变得越来越好。一旦麦克斯韦同样借助机械类比引入了他的位移电流，就有可能以麦克斯韦方程组的形式为该理论带来巨大的连贯性，该方程组清楚地规定了所有电磁量之间的相互关系。不久之后，被认为是场的机械基础的“以太”就可以被抛弃了，场 本身作为清晰定义的独立概念而存在。

在本节中，我试图构建一个理由，来通过科学工作和论证所处的理论框架来探讨科学。在本章以及接下来的两章中，我们将研究三位秉持这一思想的重要科学哲学家所做的工作。

**托马斯·库恩简介**

在《科学革命的结构》一书中，托马斯·库恩（Thomas Kuhn, 1970a）以一种重要的方式挑战了归纳主义和证伪主义的科学观。这本书于1962年首次出版，八年后又再版并附上了一篇澄清性的《跋》。自那时起，他的观点便在科学哲学界引起了巨大反响。库恩的学术生涯始于物理学，后来他将注意力转向了科学史。在这一过程中，他发现自己关于科学本质的先入之见被彻底颠覆了。他开始相信，无论是归纳主义还是证伪主义，传统的科学观都无法与历史证据相提并论。库恩随后发展了他的科学观，试图提出一种更符合他所见的历史情况的理论。他的理论的一个关键特征是强调科学进步的革命性，其中一场革命涉及一个理论结构的放弃，以及用另一个不兼容的理论结构来取代它。另一个重要特征是，科学 共同体的社会学特性在其中扮演着重要角色。

库恩对一门科学如何进步的描绘可以用以下开放式的图式来概括：

*非科学时期 → 常规科学时期 → 危机 → 革命 → 新的常规科学时期 → 新的危机 → ...*

在形成一门科学之前，那些无组织、多样化的活动，最终会随着某个单一范式被科学 共同体所信奉而变得有组织和有方向。

范式由特定科学 共同体的成员所共同接受的一般理论假设、定律以及应用这些定律的技术组成。在某一范式内工作的科学家，无论是牛顿力学、波动光学还是分析化学等领域的，都在进行库恩所称的常规科学（normal science）。常规科学家将通过实验结果揭示的现实世界某些相关方面的行为，来阐明和发展该范式，并试图对这些行为做出解释和调整。在此过程中，他们不可避免地会遇到困难，并遭遇明显的证伪。如果这类困难失控，就会进入危机状态。当一个全新的范式出现并吸引了越来越多的科学家，直到最终原本那个充满问题的范式被抛弃时，危机就得以解决。这种不连续的变化构成了科学革命。这个充满希望、且没有被看似不可逾越的困难所困扰的新范式，现在将指导新的常规科学活动，直到它也陷入严重的困境，新的危机随之而来，并引发新的革命。

有了这个概要作为预告，让我们更详细地研究库恩方案的各个组成部分。

**范式与常规科学**

一门成熟的科学由一个单一的范式所主导。¹ **范式**为它所主导的科学内的合法工作设定了标准。它协调和指导在其中工作的常规科学家群体的 “解谜” 活动。根据库恩的观点，一个能够支持常规科学传统的范式的存在，是区分科学与非科学的特征。牛顿力学、波动光学和经典电磁学都曾构成（或许现在仍构成）范式，并因此具备了科学的资格。而许多现代社会学缺乏一个范式，因此无法具备科学的资格。

正如后面将要解释的那样，范式的本质决定了它难以被精确定义。然而，描述构成一个范式的一些典型组成部分是可能的。这些组成部分中将包含明确陈述的基本定律和理论假设。因此，牛顿运动定律是牛顿范式的一部分，而麦克斯韦方程组是构成经典电磁理论的范式的一部分。范式还将包括将基本定律应用于各种类型情境的标准方法。例如，牛顿范式将包括将牛顿定律应用于行星运动、钟摆、台球碰撞等的方法。将范式定律应用于现实世界所需的仪器和技术，也将包含在范式中。牛顿范式在天文学中的应用涉及使用各种经认可的望远镜，以及使用这些望远镜的技术和修正所收集数据的各种技术。范式的另一个组成部分是一些非常普遍的、指导范式内工作的形而上学原则。在整个19世纪，牛顿 范式 受以下假设的指导：“整个物理世界要被解释为一个机械系统，它根据牛顿运动定律在各种力的影响下运行” ；而在17世纪，笛卡尔纲领包含的原则是： “没有虚空，物理宇宙是一个大钟表，所有力都以推的形式存在” 。最后，所有范式都将包含一些非常普遍的方法论规范，例如 “认真尝试使你的范式与自然相匹配” ，或者 “将范式与自然匹配的失败视为严重的问题” 。

常规科学包括为阐明范式而进行的详细尝试，目的是改善它与自然之间的匹配度。一个范式总是足够不精确和开放，以留下大量这类工作要做。库恩将常规科学描绘为一种由范式规则主导的解谜活动。这些谜题将既有理论性的，也有实验性的。例如，在牛顿范式内，典型的理论谜题包括设计数学技术来处理 受多个吸引力影响的行星运动，以及发展适合将牛顿定律应用于流体运动的假设。实验谜题则包括提高望远镜观测的精确性，以及发展能够对万有引力常数进行可靠测量的实验技术。常规科学家必须预设范式为解决其中提出的谜题提供了方法。未能解决一个谜题，被视为是科学家的失败，而不是范式本身的不足。那些难以解决的谜题被视为异常，而不是对范式的证伪。库恩承认所有范式都会包含一些异常（例如哥白尼理论与金星的视尺寸，或牛顿范式与水星的轨道），并因此拒绝所有形式的证伪主义。

常规科学家必须对他们工作的范式不加批判。只有这样，他们才能将精力集中在范式的详细阐述上，并进行必要的深奥工作来深入探索自然。对基本原则缺乏异议，是成熟的常规科学与不成熟的、无组织的非科学活动之间的区别。根据库恩的说法，非科学活动的特点是对基本原则的完全不一致和持续争论，以至于不可能进行详细的、深奥的工作。领域中的理论家几乎和从事者一样多，每个理论家都必须从头开始，并为自己独特的方法辩护。库恩以牛顿之前的光学为例。从古代到牛顿时代，关于光的本质存在着多种多样的理论。在牛顿提出并捍卫他的粒子理论之前，没有达成普遍共识，也没有出现详细的、普遍接受的理论。非科学时期的对立理论家不仅在基本理论假设上存在分歧，在与他们的理论相关的可观察现象类型上也存在分歧。库恩认识到范式在指导可观察现象的寻找和解释方面所扮演的角色，他以此来解释了观察和实验可以说是依赖于理论的这一含义。

库恩坚持认为，范式的内容不仅仅是那些可以明确以规则和指导方针形式列出的东西。他引用了维特根斯坦对“游戏”这一概念的讨论来阐述他的一些意思。维特根斯坦认为，要列出某个活动成为“游戏”的必要和充分条件是不可能的。当你试图这样做时，你总是会发现，你的定义包含了你不想算作游戏的活动，或者排除了你想要算作游戏的活动。库恩声称，在范式上存在同样的情况。如果你试图对科学史上或当今科学中的某个范式给出一个精确而明确的界定，总是会发现，范式内的一些工作与这个界定相冲突。然而，库恩坚持认为，这种情况并不会使范式这个概念站不住脚，正如“游戏”这一概念的类似情况并不能排除其合法使用一样。即使没有完整、明确的界定，个体科学家也能通过他们的科学教育来获得范式的知识。通过解决标准问题、进行标准实验，并最终在一位已经是范式熟练 实践者的导师的指导下进行一项研究，一位有抱负的科学家逐渐熟悉该范式的方法、技术和标准。这位有抱负的科学家将无法像一位熟练的木匠无法完全描述他或她的技能背后的一切那样，明确地描述他或她所获得的方法和技能。常规科学家的许多知识将是 默会的，这是迈克尔·波兰尼（Michael Polanyi, 1973）所发展的含义。

由于他们接受训练的方式，以及为了高效工作需要接受的训练，典型的常规科学家将不会意识到，也无法阐明他们所工作范式的确切性质。然而，这并不意味着，如果需要，一位科学家将无法阐明范式中涉及的预设。当一个范式受到竞争对手的威胁时，这种需求就会出现。在这种情况下，有必要试图阐明范式中涉及的一般定律、形而上学和方法论原则，以便在与有威胁的新范式相关的替代方案面前为它们辩护。下一节将概述库恩关于一个范式如何陷入困境并被竞争对手取代的描述。

**危机与革命**

常规科学家在一个由范式界定的明确领域内自信地工作。范式为他们提供了一系列明确的问题，以及他们相信足以解决这些问题的方法。如果他们将任何解决不了问题归咎于范式，他们将面临与责怪自己工具的木匠一样的指控。然而，失败总会遇到，而这些失败最终可能会达到某种严重程度，从而构成对范式的严重危机，并可能导致范式的被抛弃，转而被一个不兼容的替代范式所取代。

范式内仅仅存在未解的难题并不构成危机。库恩承认范式总是会遇到困难。总会有异常（anomalies）。只有在特殊的条件下，这些异常才会以动摇对范式信心的程度发展。如果一个 异常 被认为触及了范式的基础，但又持续抵抗常规科学 共同体成员的解决尝试，它就会被视为特别严重。库恩 举了一个例子，在19世纪末，与麦克斯韦电磁理论中以太和地球相对于以太运动相关的问题。一个不那么专业的例子则是，彗星给有序 且完整的亚里士多德宇宙中相互连接的“水晶球体”所带来的问题。如果异常对于某些紧迫的社会需求很重要，它们也会被认为是严重的。在哥白尼时代，困扰托勒密天文学的问题在历法改革的紧迫需求下变得非常严重。异常抵抗解决尝试的时间长短，也是影响危机出现的一个因素。严重异常的数量是影响危机发生的另一个因素。

根据库恩的说法，分析科学中 危机时期的特征，需要心理学家的能力，就像需要历史学家的能力一样。当异常 被视为对一个范式构成严重问题时，一个“明显的职业不安全感”时期就会开始。解决问题的尝试变得越来越激进，范式为解决问题设定的规则也变得越来越宽松。常规科学家开始参与哲学和形而上学的争论，并试图通过哲学论证来捍卫他们那些从范式角度来看地位可疑的创新。科学家们甚至开始公开表达他们对主导范式的不满和不安。库恩（1970a，第84页）引用了沃尔夫冈·泡利（Wolfgang Pauli）对他在1924年左右看到的日益加深的物理学危机的回应。一个恼怒的泡利向一位朋友坦言，“目前，物理学又变得一团糟。无论如何，这对我来说太难了，我希望我当初是个电影喜剧演员之类的，从未听说过物理学。”一旦一个范式被削弱和动摇到其支持者对其失去信心的程度，革命的时机就成熟了。

当一个竞争范式出现时，危机的严重性就会加深。根据库恩（1970a，第91页）的说法，“新范式，或者一个足以允许后续阐述的足够线索，会突然出现，有时是在深夜，出现在一个深陷危机的人脑海中。”新范式将与旧范式截然不同且不兼容。这些根本性的差异将体现在多种方面。

每个范式都将世界视为由不同种类的东西组成。亚里士多德范式将宇宙分为两个截然不同的领域：不朽、不变的月上区，和可腐朽、变化的月下区。后来的范式则认为整个宇宙都是由相同种类的物质构成的。在拉瓦锡 之前的化学理论包含了一种被称为“燃素”的物质，该物质在物体燃烧时会离开。拉瓦锡的新范式则意味着燃素 并不存在，而氧气确实存在，并在燃烧中扮演着完全不同的角色。麦克斯韦的电磁理论涉及一种占据所有空间的“以太”，而爱因斯坦对其激进的重构则消除了以太。

对立的范式会将不同种类的问题视为合法或有意义的。关于燃素重量的问题 对 燃素理论家来说很重要，但对拉瓦锡 来说则是空洞的。关于行星质量的问题对牛顿派来说是基础性的，但对亚里士多德派 来说则是异端的。对爱因斯坦之前的物理学家来说，地球相对于以太的速度问题意义深远，而爱因斯坦则消除了这个问题。除了提出不同种类的问题之外，范式还将涉及不同且不兼容的标准。无解释的超距作用被牛顿派所允许，但被 笛卡尔派斥为形而上学甚至是神秘主义的。无因的运动对亚里士德来说是荒谬的，但对牛顿来说则是公理。元素的嬗变在现代核物理中占有重要地位（就像它在中世纪炼金术和17世纪机械论哲学中一样），但与道尔顿的原子论纲领完全背道而驰。在现代微观物理学中可以描述的许多种类的事件涉及不确定性，而这在牛顿纲领中是完全没有立足之地的。

科学家看待世界某个特定方面的方式，将受到他们所工作的范式的指导。库恩认为，在某种意义上，对立范式的支持者“生活在不同的世界中”。他引用了以下事实作为证据：在哥白尼理论提出后，西方天文学家才首次注意到、记录并讨论了天空中发生的变化。在此之前，亚里士多德范式规定月上区不可能有变化，因此，也没有观察到任何变化。那些被注意到的变化都被解释为高层大气中的扰动。

库恩将单个科学家从一个范式转向一个不兼容的替代范式，比喻为一种“格式塔转换”或“宗教皈依”。将不存在纯粹的逻辑论证来证明一个范式优于另一个，并因此迫使一个理性的科学家做出改变。无法进行这种证明的一个原因是，科学家判断一个科学理论的优劣，涉及到多种因素。一个科学家的个人决定将取决于他或她对各种因素的优先排序。这些因素将包括简洁性、与某个紧迫社会需求的关联、解决某种特定问题的能力等等。因此，一个科学家可能因为哥白尼理论中某些数学特征的简洁性而被其吸引。另一个人可能因为其中存在历法改革的可能性而被其吸引。第三个人可能因为他专注于地面力学，并意识到哥白尼理论给其带来的问题而放弃采纳。第四个人可能因为宗教原因而拒绝哥白尼主义。

另一个无法对一个范式优于另一个进行逻辑上强制性证明的原因是，对立范式的支持者会遵循不同的标准和形而上学原则。以范式A自身的标准来判断，它可能被认为优于范式B，而如果以范式B的标准作为前提，判断可能会反转。一个论证的结论只有在其前提被接受时才具有强制性。对立范式的支持者不会接受彼此的前提，因此不一定会信服彼此的论证。正是由于这个原因，库恩（1970a，第93-4页）将科学革命与政治革命相比较。正如“政治革命旨在以这些体制本身所禁止的方式改变政治体制”，因此“政治诉诸失败”一样，在“相互竞争的范式之间做出的选择，被证明是在不兼容的共同体生活方式之间做出的选择”，没有任何论证可以“在逻辑上或甚至在概率上具有强制性”。然而，这并不是说，各种论证不会成为影响科学家决定的重要因素。在库恩看来，哪些因素在促使科学家改变范式方面确实有效，是一个需要通过心理学和社会学调查来发现的问题。

因此，当一个范式与另一个范式竞争时，有许多相互关联的原因导致不存在强制一个理性科学家放弃一个而选择另一个的逻辑论证。没有一个单一的标准可以让科学家必须据此判断一个范式的优劣或前景，而且，相互竞争的纲领的支持者会遵循不同的标准，甚至以不同的方式看待世界，并用不同的语言来描述世界。对立范式的支持者之间的论证和讨论，其目的应该是说服，而不是强制。我建议，我在这段中总结的内容，正是库恩声称对立范式“不可通约（incommensurable）”背后的含义。

一场科学革命对应着一个范式的被放弃和一个新范式的被采纳，这不仅仅是单个科学家的行为，而是整个相关科学 共同体的行为。随着越来越多的单个科学家，出于各种原因，皈依新范式，就会出现“专业忠诚分布的日益转变”（库恩，1970a，第158页）。如果革命要成功，这种转变将扩展到包括相关科学 共同体的大多数成员，只留下少数持不同意见者。这些人将被排除在新的科学 共同体之外，并可能在哲学系寻求庇护。无论如何，他们最终都会老去或死亡。

**常规科学和革命的功能**

库恩的一些著作可能给人一种印象，即他对科学本质的描述是纯粹的记叙性，也就是说，他只想描述科学理论或范式以及科学家的活动。如果是这样的话，那么库恩的科学观作为一种科学理论就没有多大价值了。除非科学的描述性记述由某种理论塑造，否则无法提供指导，说明应该描述哪些活动和活动成果。特别是，黑客科学家的活动和成果也需要像爱因斯坦或伽利略的成就一样详细地记录下来。

然而，将库恩对科学的刻画仅仅看作是对科学家工作的一种描述，是错误的。库恩坚持认为，他的描述构成了一种科学理论，因为它解释了其各个组成部分的功能。根据库恩的观点，常规科学和革命承担了必要的功能，因此科学必须包含这些特征或一些其他能够执行相同功能的特征。让我们看看根据库恩的观点，这些功能是什么。

常规科学时期为科学家提供了发展理论深奥细节的机会。他们在一个他们认为理所当然的范式下工作，能够进行严谨的实验和理论工作，以在更大程度上改善范式与自然之间的匹配度。正是由于他们对范式充分性的信心，科学家们才能够将精力投入到解决范式内提出的详细谜题上，而不是去争论其基本假设和方法的合法性。常规科学家在很大程度上必须是不加批判的。如果所有科学家总是对他们工作的框架的所有部分都进行批判，那么任何详细的工作都将永远无法完成。

如果所有科学家都是 且保持常规科学家，那么一门特定的科学就会被困在单一范式中，永远无法超越它。从库恩的角度来看，这将是一个严重的缺陷。一个范式包含了观察和描述世界的特定概念框架，以及一套将范式与自然相匹配的特定实验和理论技术。但是，没有任何先验的理由期望任何一个范式是完美的，甚至是最好的。没有归纳程序可以得到一个完全充分的范式。因此，科学必须包含一种从一个范式突破到另一个更好的范式的方法。这就是革命的功能。就其与自然的匹配度而言，所有范式在某种程度上都会存在不足。当这种不匹配变得严重时，也就是说，当危机出现时，用另一个范式完全取代整个范式的革命性步骤，对于科学的有效 进步来说是必不可少的。

通过革命实现的进步，是库恩对归纳主义科学观中那种累积性进步特征的替代。根据后者的观点，随着进行更多、更广泛的观察，科学知识会持续增长，从而能够形成新概念，完善 旧概念，并发现它们之间新的合法关系。从库恩的特定观点来看，这是错误的，因为它忽视了范式在指导观察和实验方面所扮演的角色。正是因为范式对其内部实践的科学具有如此普遍的影响力，一个范式被另一个范式取代必须是一场革命性的变革。

库恩的描述中还包含的另一个功能值得一提。正如上面提到的，库恩的范式并不那么精确，以至于可以用一套明确的规则来取代。不同的科学家或科学家群体可能会以某种不同的方式来解释和应用范式。面对同样的情况，并非所有科学家都会做出同样的决定或采用同样的策略。这有一个好处，即尝试的策略数量会增加。风险因此在科学 共同体中被分散，而取得某种长期成功的机会也增加了。库恩（1970c，第241页）问道：“否则，整个群体如何对冲其赌注？”

**库恩科学观的优点**

库恩的观点，即科学工作是在一个基本上不被质疑的框架内解决问题，在描述上无疑是正确的。如果一个学科像波普尔的“猜想与反驳”方法所描述的那样，其基础不断受到质疑，那么它不太可能取得重大进展，原因很简单，因为基本原则没有足够长的时间不被挑战，以至于无法进行深奥的工作。将爱因斯坦描绘成一个英雄，他通过原创性和勇气挑战了物理学的一些基本原则，从而取得了重大进步，这固然不错，但我们不应忘记，正是在牛顿范式内进行了两百年的细致工作，以及在电磁学理论内进行了一百年的工作，才揭示出爱因斯坦后来用他的相对论所识别和解决的问题。与科学最接近的、可以被恰当地描述为对基本原理进行持续批判的，是哲学。

如果我们比较库恩和波普尔试图捕捉占星学与科学区别的方式，正如德博拉·梅奥（Deborah Mayo, 1996, 第二章）所 令人信服地论证的那样，库恩的观点更具说服力。从波普尔的角度来看，占星学可以被诊断为非科学，要么因为它不可证伪，要么因为它可证伪 但被证明是错误的。第一点是行不通的，因为正如库恩（1970b）指出的那样，即使在文艺复兴时期，当占星学被认真对待时，占星家们也确实做出了可证伪的预测，而且确实经常被证伪。但后者也不能作为排除占星学是科学的充分理由，否则物理学、化学和生物学也会因为类似的原因被排除，因为正如我们所见，所有科学都有其以问题性观察或实验结果形式存在的难题。库恩的回应是，天文学和占星学之间的区别在于，天文学家能够以占星家无法做到的方式从预测失败中学习。天文学家可以改进他们的仪器，测试可能的干扰，假定未被发现的行星或月球不是球形的，等等，然后进行详细的工作，看看这些改变是否能解决由失败的预测所带来的问题。相比之下，占星家没有资源以同样的方式从失败中学习。但天文学家拥有而占星家缺乏的“资源”可以被解释为一个可以维持常规科学传统的共享范式。因此，库恩的“常规科学”有助于识别科学的一个关键要素。

库恩观点的互补部分，“科学革命”，似乎也具有相当大的优点。库恩用“革命”这一概念来强调科学进步的非累积性。科学的长期进步不仅仅涉及已证实的事实和定律的积累，有时也涉及一个范式的推翻，并被一个不兼容的新范式所取代。库恩当然不是第一个提出这一点的人。正如我们所见，波普尔本人也强调，科学进步涉及对理论的批判性推翻，并被其他理论所取代。但是，对于波普尔来说，一个理论被另一个取代仅仅是一组主张被另一组主张取代，而从库恩的角度来看，一场科学革命则远不止于此。一场革命不仅涉及基本定律的改变，还涉及人们看待世界的方式的改变，以及在评估理论时所采用的标准的改变。正如我们所见，亚里士多德的理论假设了一个有限的宇宙，这个宇宙是一个系统，其中每个事物都有其自然的位置和功能，一个重要的细节是天体和地面之间的区别。在这种体系内，引用宇宙中各种事物的功能是一种合理的解释模式（例如，石头落到地面是为了到达它们的自然位置，并将宇宙恢复到其理想的秩序）。在17世纪的科学革命之后，宇宙是一个无限的，其中的事物通过受定律支配的力相互作用。所有的解释都通过诉诸于这些力和定律。就 经验 证据在亚里士多德和牛顿理论（或范式）中所扮演的角色而言，前者认为在最佳条件下运作的感官所获得的未经辅助的证据是基础性的，而后者则认为通过仪器和实验获得的证据是基础性的，并且通常优于感官的直接输出。

库恩无疑是正确的，作为一个描述性事实，他注意到确实存在科学革命这样的事情，它不仅涉及所做出的主张范围的改变，还涉及被假定构成世界的实体类型的改变，以及被认为合适的证据类型和解释模式的改变。更重要的是，一旦承认了这一点，那么任何充分的科学进步理论都必须包含对在革命过程中所做的改变如何被解释为进步的解释。事实上，我们可以借鉴库恩对科学的刻画，并以一种特别尖锐的方式提出这个问题。库恩坚持认为，什么算是一个问题可以从一个范式到另一个范式发生变化，并且用来评估所提出的问题解决方案的充分性标准也因范式而异。但如果标准确实因范式而异，那么可以援引什么标准来判断一个范式优于，并因此构成了对其所取代的范式的进步呢？科学究竟在何种意义上可以说通过革命进步了呢？

**库恩在“通过革命实现进步”上的矛盾**

库恩在他自己的著作所突显的这个基本问题上，表现出了出了名的模棱两可。在《科学革命的结构》出版后，库恩被指控提出了一种“相对主义”的科学进步观。我认为这意味着库恩提出了一种进步观，根据这种观点，一个范式是否比它所 挑战的范式更好，没有一个明确的、中性的答案，而是取决于做出判断的个人、群体或文化的价值观。库恩显然对这一指控感到不舒服，在他为第二版著作添加的《跋》中，他试图与相对主义划清界限。他写道（1970a，第206页），“后来的科学理论在解决谜题方面比早期的更好，即使是在它们所应用的常常完全不同的环境中。这不是一个相对主义者的立场，它显示了我是一个坚定的科学进步信徒的意义。”这个标准是有问题的，因为库恩本人强调，什么算是一个谜题以及它的解决方案都取决于范式；而且库恩（1970a，第154页）在其他地方也提出了不同的标准，如“简洁性、范围和与其他专业领域的兼容性”。但更有问题的是，他关于非相对主义进步的主张与他书中许多段落的冲突，这些段落 读起来明显是在倡导相对主义立场，甚至是在否认存在任何理性的科学进步标准。

库恩将科学革命比作格式塔转换、宗教皈依和政治革命。库恩使用这些比较来强调，一个科学家从一个范式转向另一个范式，其忠诚度的转变无法通过诉诸普遍接受标准的理性论证来实现。第六页的图表从俯视楼梯变为仰视楼梯，就是一个格式塔转换的温和例子，但这足以强调这种转换与经过推理的选择是多么的对立，而宗教皈依通常被认为是一种类似的转变。至于与政治革命的类比，库恩（1970a，第93-4页）坚持认为，那些革命“旨在以这些体制本身所禁止的方式改变政治体制”，因此“政治诉诸失败”。以此类推，“相互竞争的范式之间的选择被证明是在不兼容的共同体生活方式之间的选择”，因此没有任何论证可以“在逻辑上或甚至在概率上具有强制性”。库恩（1970a，第238页）坚持认为，我们发现科学本质的方式是“本质上社会学的”，并且要通过“审视科学群体的本质，发现其所珍视的、所容忍的和所鄙视的”来完成，如果结果是不同的群体珍视、容忍和鄙视不同的东西，这也将导致相对主义。事实上，这正是当前流行的科学社会学支持者普遍解读库恩的方式，他们将他的观点发展成一种明确的相对主义。

在我看来，库恩在他的书第二版，包括《跋》在内，所提出的科学进步观，包含了两种不兼容的观点，一种是相对主义的，另一种则不是。这给我们带来了两种可能性。第一种是遵循前一段中提到的社会学家的路径，拥抱并发展库恩思想中的相对主义观点，这其中包括进行库恩所暗示但从未实施的科学社会学调查。第二种选择是忽略相对主义，并以一种与科学进步的某种总体意义相兼容的方式重新诠释库恩。这个选择将需要回答一个问题：一个范式在何种意义上可以说比它所取代的范式构成了进步。我希望在本书的结尾，哪种选择最富有成效将变得清晰。

**客观知识**

“竞争性范式之间的过渡……必须一次性发生（尽管不一定是一瞬间）或根本不发生。” 我并非唯一发现库恩（1970a，第150页）这句话令人费解的人。范式转换如何能 “一次性发生” ，但又“不一定是一瞬间”呢？我认为不难找到这个自相矛盾的句子所体现的困惑来源。一方面，库恩意识到一场科学革命会延续相当长的一段时间，涉及大量的理论和实验工作。库恩自己对哥白尼革命的经典研究（1959年）就记录了其中所涉及的几个世纪的工作。另一方面，库恩将范式转换与格式塔转换或宗教皈依进行比较，这使得 “一次性发生” 这一想法立即变得有意义了。我认为，库恩实际上在这里混淆了两种知识，阐明这其中的区别是重要且有帮助的。

如果我说“我知道我写这段话的日期，而你不知道”，我指的是一种我所熟悉、存在于我头脑或大脑中的知识，而你并不熟悉，你的头脑或大脑中也没有这种知识。我知道牛顿第一运动定律，但我不知道如何对小龙虾进行生物学分类。这同样是一个关于存在于我头脑或大脑中的问题。麦克斯韦没有意识到他的电磁理论可以预测无线电波，以及爱因斯坦意识到了迈克尔逊-莫雷实验的结果，都涉及同样使用“知道”这个词，意为“意识到”。知识是一种**心智状态**。与这种用法紧密相关的，同样是与个体心智状态有关的，是关于个体是否以及在何种程度上接受或相信一个主张或一组主张的问题。我相信伽利略为他的望远镜使用的有效性提供了令人信服的论证，但费耶阿本德不相信。路德维希·玻尔兹曼接受了气体分子运动论，但他的同胞恩斯特·马赫不接受。所有这些关于知识和知识主张的说法，都是关于个体的心智状态或态度。这是一种常见且完全合法的说法。由于没有更好的术语，我将这里所说的称为**主观意义上的知识**。我将它与另一种用法区分开来，我将其称为**客观意义上的知识**。

句子“我的猫住在一所没有动物居住的房子里”具有矛盾的性质，而句子“我有一只猫”和“今天一只豚鼠死了”具有是“今天我的白猫杀死了某人的宠物豚鼠”这句话的推论的性质。在这些例子中，在某种常识上，这些句子具有我所赋予它们的性质是显而易见的，但情况不一定总是如此。例如，在一次谋杀案审判中，一名律师经过大量艰苦的分析，可能会发现一名证人的证词所产生的推论与第二名证人的推论相矛盾。如果情况确实如此，那么无论涉事证人是否意识到或相信这一点，情况都是如此。更重要的是，如果律师没有发现这个不一致之处，它可能就会一直未被发现，从而没有人意识到它。尽管如此，这些陈述不一致的事实仍然存在。命题可以拥有独立于个体所能意识到的属性。它们拥有**客观属性**。

在第一章中，我们已经遇到了主观 知识和客观知识之间的区别实例。我区分了个体的感知经验，以及他们可能因此产生的信念，与他们可能被认为支持的观察陈述。我指出，后者是可以被公开检验和辩论的，而前者则不能。

一个知识体系在其发展的某个阶段所涉及的命题迷宫，同样会拥有个体从事这项工作的人不必意识到的属性。现代物理学这个理论结构是如此复杂，以至于它显然不能等同于任何一位物理学家或一群物理学家的信念。许多科学家以各自不同的方式和个人技能为物理学的成长和阐明做出贡献，就像许多工人齐心协力建造一座大教堂一样。正如一个快乐的爬高工人可能完全没有意识到挖地基的劳工所做出的不祥发现的含义，一个高高在上的理论家也可能没有意识到某个实验发现对他或她正在研究的理论的相关性。在这两种情况下，结构各部分之间都存在客观关系，而与个体是否意识到这种关系无关。科学中说明这一点的历史例子很容易找到。通常情况下，一个理论的意外推论，例如一个实验预测或与另一个理论的冲突，是在随后的工作中才被发现的。因此，泊松能够发现并证明，菲涅尔的光理论有一个推论，即在一个被适当照明的不透明圆盘的阴影中心应该可以看到一个亮点，而菲涅尔对此一无所知。菲涅尔的理论与其所 挑战的牛顿粒子光理论之间的各种冲突也被发现了。例如，前者预测光在空气中传播得比在水中快，而后者则预测相反。

我通过讨论陈述的客观属性，特别是理论和观察主张的陈述，来阐明知识可以被解释为客观的一种意义。但并非只有这类陈述才是客观的。实验设置和程序、方法论规则和数学系统也是客观的，因为它们与存在于个体头脑中的事物类型是不同的。它们可以被个体面对，可以被利用、修改和批判。一个独立的科学家将面临一个客观的情境——一套理论、实验结果、仪器和技术、论证模式等等——而正是这些东西，这位科学家必须用以尝试修改和改进这个情境。

我使用“客观的”这个词并非旨在进行评价。根据我的用法，不一致或解释力弱的理论也会是客观的。事实上，这类理论客观上拥有不一致或解释力弱的属性。尽管我使用“客观的”一词 源自 并紧随卡尔·波普尔（特别是他的1979年著作，第三章和第四章），但我不想 像他一样卷入这些客观属性究竟以何种精确意义存在这一棘手问题。陈述不像物理物体那样拥有属性，而阐明这些语言对象以及方法论规则和数学系统等其他社会建构的存在模式，是一项棘手的哲学工作。我满足于在常识层面上阐述我的观点，使用我所用的这类例子。这足以满足我的目的。

库恩关于范式的大部分论述，很好地契合了我所引入的二分法的客观方面。他所说的范式内的解谜传统，范式所面临的异常，以及范式在涉及不同标准和不同形而上学假设方面的差异，都属于这种情况。接受这种论述方式，用库恩的术语来表述我们关于一个特定范式在何种意义上可以被认为是比其竞争对手有所改进的基本问题，是完全有意义的。这是一个关于范式之间**客观关系**的问题。

然而，在库恩的书中还有另一种论述模式，它位于我的二分法的主观方面。这包括他所说的格式塔转换等。像库恩那样，用格式塔转换来谈论从一个范式到另一个范式的转变，给人一种印象，即转换两侧的观点无法进行比较。从一个范式到另一个范式是与科学家在思想或大脑中改变忠诚度时的转变等同起来了。正是这种等同导致了本节开头引用的那句库恩句子所体现的困惑。如果我们的关注点是科学的本质以及科学在何种意义上可以说取得进步，正如库恩似乎所关注的那样，那么我的建议是，将所有关于格式塔转换和宗教皈依的论述从库恩的描述中移除，并且我们坚持对范式及其之间关系的客观刻画。在大多数时候，库恩正是这样做的，而他的历史研究是帮助阐明科学本质的重要材料宝库。

一个历史上存在的范式可以说比它所取代的竞争者更好的方式，与单个科学家改变他们对一个或另一个范式的忠诚度的方式或原因，是不同的。单个科学家在他们的科学工作中由于各种原因做出判断和选择，这些判断和选择常常受到主观因素的影响，这是一回事。而一个范式与另一个范式之间的关系，尤其是在事后回顾时看得最清楚，是另一回事。如果我们要识别科学取得进步的某种独特意义，那么后者这种考虑才能产生答案。这就是为什么我对他试图在他的1977年著作（第13章）中通过关注“价值判断和理论选择”来反驳相对主义指控感到不满的原因。

**延伸阅读**

* 当然，主要的资料来源是库恩的《科学革命的结构》（1970a）。
* 在《发现的逻辑还是研究的心理学》（1970b）中，库恩讨论了他的观点与波普尔观点的关系，并在《对我批评者的反思》（1970c）中回应了一些批评者。他的1977年文集也是一个有价值的合集。
* 对库恩科学哲学的详细讨论可参阅霍伊宁恩-休内（Hoyningen-Huene, 1993），其中包含了库恩著作的详细书目。
* 伯德（Bird, 2000）是一本较新的关于库恩科学哲学的介绍。拉卡托斯和马斯格雷夫（Lakatos and Musgrave, 1970）的著作中包含了库恩和他的批评者之间的多次交锋。
* 关于社会学家们如何借鉴库恩的思想，例如可参阅布卢尔（Bloor, 1971）和巴恩斯（Barnes, 1982）的著作。
* 关于科学中意义建构的论述，可参阅内塞西恩（Nersessian, 1984），该书的立场与本章第一节概述的立场相似。

**第九章**

**作为结构的理论二：研究纲领**

**简介伊姆雷·拉卡托斯**

伊姆雷·拉卡托斯是一位匈牙利人，于20世纪50年代末移居英国，并受到卡尔·波普尔的影响。用拉卡托斯自己的话来说，波普尔“改变了[他]的生活”（Worrall and Currie, 1978a, p. 139）。尽管是波普尔科学方法的狂热支持者，拉卡托斯逐渐意识到波普尔证伪主义所面临的一些困难，这些困难正是我们在第七章中考虑过的。到20世纪60年代中期，拉卡托斯开始接触到库恩的《科学革命的结构》一书中所包含的另一种科学观。尽管波普尔和库恩提出了对立的科学观，但他们的观点确实有很多共同之处。特别是，他们都反对实证主义的归纳主义科学观。他们都将理论（或范式）置于观察之上，并坚持认为，观察和实验结果的寻找、解释、接受或拒绝都是在理论或范式背景下进行的。拉卡托斯延续了这一传统，并试图通过借鉴库恩的一些见解，同时完全拒绝后者的相对主义方面，来修改波普尔的证伪主义并消除其困难。像库恩一样，拉卡托斯看到了将科学活动描绘为在一个框架内进行的优点，并创造了“研究纲领”（research program）这个词，从某种意义上说，它成为了拉卡托斯对库恩“范式”的替代。拉卡托斯方法论的主要资料来源是他的1970年著作。

**拉卡托斯的研究纲领**

我们在第七章看到，波普尔证伪主义的一个主要困难在于，对于一个明显的证伪，没有明确的指导来决定理论迷宫的哪一部分应该受到责备。如果将责任的归属完全留给个别科学家的个人意愿，那么成熟的科学就很难以其似乎所做的那种协调和连贯的方式取得进步。拉卡托斯的回应是，不是所有的科学部分都处于同等地位。一些定律或原则比其他更基础。事实上，有些是如此基础，以至于它们几乎成为一门科学的定义特征。因此，它们不应为任何明显的失败负责。相反，责任应该归咎于那些不那么基础的组成部分。这样一来，一门科学就可以被看作是基本原则的纲领性发展。科学家可以通过修改那些更外围的假设来解决问题，只要他们认为合适。只要他们的努力是成功的，他们就会为同一个研究纲领的发展做出贡献，无论他们对那些外围假设的修补尝试可能有多么不同。

拉卡托斯将基本原则称为一个研究纲领的硬核（hard core）。硬核，比任何其他东西都更能定义一个纲领。它以一些非常普遍的假设形式出现，这些假设构成了纲领发展的基础。以下是一些例子。哥白尼天文学纲领的硬核是地球和行星围绕一个静止的太阳运行，以及地球每天自转一次的假设。牛顿物理学的硬核由牛顿的三大运动定律和他的万有引力定律组成。马克思历史唯物主义的硬核将类似于以下假设：重大的社会变革可以用阶级斗争来解释，阶级的性质和斗争的细节最终由经济基础决定。

一个纲领的基础需要一系列补充假设来充实，以达到可以做出明确预测的程度。它不仅将包含明确的假设和补充硬核的定律，还将包含用于指定特定情况的初始条件，以及在陈述观察和实验结果时所预设的理论。例如，哥白尼纲领的硬核需要通过在最初的圆形轨道上添加许多本轮来补充，并且也有必要改变之前对恒星与地球之间距离的估计。最初，这个纲领还包含一个假设，即肉眼可以揭示关于恒星和行星位置、大小和亮度的准确信息。纲领与观察之间的任何不匹配，都应归因于补充假设，而不是硬核。拉卡托斯将补充硬核的所有额外假设称为保护带（protective belt），以强调其保护硬核免受证伪的作用。根据拉卡托斯（1970，第133页）的说法，硬核因其“倡导者的方法论决定”而变得不可证伪。相比之下，保护带中的假设则可以被修改，以试图改善纲领的预测与观察和实验结果之间的匹配度。例如，哥白尼纲领内的保护 带 通过用椭圆轨道取代哥白尼的本轮集合，以及用望远镜数据取代肉眼数据而得到修改。初始条件最终也得到了修改，包括对恒星与地球之间距离估计的改变，以及新行星的加入。

拉卡托斯在描述研究纲领时，自由地使用了“启发法（heuristic）”这个词。启发法是一套帮助发现或发明的规则或提示。例如，解决填字游戏的启发法的一部分可能是“从需要短单词答案的线索开始，然后转向那些需要长单词答案的线索”。拉卡托斯将研究纲领内的工作指南分为消极启发法（negative heuristic）和积极启发法（positive heuristic）。

消极启发法规定了科学家不应该做什么。正如我们已经看到的，科学家被建议不要修改他们所工作的纲领的硬核。如果一个科学家修改了硬核，那么他或她实际上已经退出了这个纲领。第谷·布拉赫就退出了哥白尼纲领，当时他提出只有行星而不是地球围绕太阳运行，而太阳则围绕地球运行。

一个纲领的积极启发法，即规定科学家应该做什么而不是不应该做什么，比消极启发法更难具体描述。积极启发法提供了指导，说明如何补充硬核以及如何修改由此产生的保护带，以便一个纲领能够对可观察现象进行解释和预测。用拉卡托斯自己的话来说（1970，第135页），“积极启发法由一组部分阐明的建议或提示组成，说明如何改变、发展研究纲领的‘可反驳变体’，如何修改、深化‘可反驳的’保护带。”纲领的发展不仅将涉及添加适当的辅助假设，还将涉及发展适当的实验和数学技术。例如，从哥白尼纲领诞生之初就很清楚，需要用于组合和操纵本轮的数学技术，以及用于观察行星位置的改进技术。拉卡托斯用牛顿早期发展他的引力理论的故事来说明积极启发法的概念。在这里，积极启发法包含了一个想法，即应该从简单的、理想化的案例开始，然后，在掌握了它们之后，应该继续处理更复杂、更现实的案例。牛顿首先通过考虑一个点行星围绕一个静止点太阳的椭圆运动，得出了平方反比引力定律。很明显，如果要将这个纲领实际应用于行星运动，就需要从这种理想化的形式发展到更现实的形式。但这种发展涉及到理论问题的解决，并且需要大量的理论劳动才能实现。牛顿本人，面对一个明确的纲领，即在他的积极启发法指导下，取得了可观的进步。他首先考虑了太阳和行星都在相互引力影响下运动的事实。然后他考虑了行星的有限大小，并将它们视为球体。在解决了这个举动所带来的数学问题后，牛顿继续考虑其他复杂性，例如由行星可以自转的可能性所引入的复杂性，以及各个行星之间以及每个行星与太阳之间都存在引力作用的事实。一旦牛顿在纲领中发展到这一步，沿着一条从一开始就显得或多或少必然的路径，他开始关注他的理论与观察之间的匹配。当发现匹配不足时，他能够继续研究非球形行星等等。除了理论纲领之外，积极启发法还包含一个实验纲领。该纲领包括开发更精确的望远镜，以及使用它们进行天文学研究所必需的辅助理论，例如那些提供了适当方法来解释光在大气中的折射的理论。牛顿纲领的最初表述已经表明了构建足够灵敏的仪器以在实验室规模上探测引力作用（卡文迪什实验）的必要性。

以牛顿运动定律和他的万有引力定律为核心的纲领，提供了强有力的启发式指导。也就是说，一个相当明确的纲领从一开始就被规划了出来。拉卡托斯（1970，第140-55页）将玻尔原子理论的发展作为另一个积极启发法在起作用的例子。拉卡托斯强调，这些发展中的研究纲领的例子有一个重要特征，即观察检验变得相关的阶段相对较晚。这与第八章第一节中关于伽利略构建其力学的评论相吻合。一个研究纲领的早期工作被描绘成在不顾或尽管有明显的观察证伪的情况下进行的。一个研究纲领必须有机会发挥其全部潜力。必须构建一个适当复杂和充分的保护带。在我们哥白尼纲领的例子中，这包括发展一种能够容纳地球运动的充分力学，以及一种有助于解释望远镜数据的充分光学。当一个纲领发展到适合对其进行实验检验的阶段时，根据拉卡托斯的观点，证实比证伪具有更重要的意义。一个研究纲领的价值，体现在它所能导致的新颖预测被证实的程度上。当加勒第一次观察到海王星和哈雷彗星如预测般返回时，牛顿纲领经历了戏剧性的证实。失败的预测，例如牛顿早期对月球轨道的计算，仅仅是表明需要对保护带进行更多的工作来补充或修改。

衡量一个研究纲领优劣的主要标志是它能在多大程度上导致新颖的、被证实的预测。第二个标志，在我们的上述讨论中是隐含的，是一个研究纲领确实应该提供一个研究纲领。积极启发法应该足够连贯，能够通过规划出一个纲领来指导未来的研究。拉卡托斯提出，马克思主义和弗洛伊德心理学是达到了第二个优劣指标但没有达到第一个的纲领，而当代社会学则是在某种程度上达到了第一个但没有达到第二个的纲领（尽管他没有对这些评论提供任何细节支持）。无论如何，一个进步的研究纲领将是那些保持其连贯性并且至少间歇性地导致新颖的、被证实的预测的纲领，而一个退化的纲领将是那些失去其连贯性或未能导致新颖的、被证实的预测的纲领。用一个进步的纲领取代一个退化的纲领，构成了拉卡托斯版本的科学革命。

**纲领内的方法论与纲领间的比较**

我们需要在两个背景下来讨论拉卡托斯科学研究纲领的方法论：一是在纲领内部工作的背景下，二是在一个研究纲领与另一个研究纲领冲突的背景下。

在单一研究纲领内的工作，涉及通过添加和阐明各种假设来扩展和修改其保护带。只要这种举动不是像第六章中讨论的那种特设性（ad hoc）的，就是允许的。对研究纲领保护带的修改或添加必须是独立可检验的。单个科学家或科学家群体可以以他们选择的任何方式修改或增加保护带，只要这些举动为新的检验提供了机会，从而也为新颖的发现提供了可能性。

举例来说，让我们从我们之前多次使用的牛顿纲领发展中选取一个例子，并考虑勒维耶（Leverrier）和亚当斯（Adams）面对困扰天王星轨道的难题时的情景。这些科学家选择通过提出初始条件不充分，并暗示存在一颗尚未被发现的、靠近天王星并扰乱其轨道的新行星来修改纲领的保护带。他们的举动符合拉卡托斯的方法论，因为它是可检验的。可以通过将望远镜对准天空的适当区域来寻找这颗假想的行星。但是，根据拉卡托斯的立场，其他可能的反应也是合法的。例如，可以将有问题的轨道归咎于某种新型的望远镜像差，前提是这种说法能够被检验，以确定这种像差的真实性。在某种意义上，为了解决像这样的问题，进行的可检验的举动越多越好，因为这增加了成功的机会（这里的成功意味着由一个举动所导致的新颖预测得到证实）。拉卡托斯的方法论排除了特设性的举动。因此，在我们的例子中，试图通过简单地将天王星的复杂轨道标记为天王星的自然运动来适应它，这种做法将被排除。它没有开启任何新的检验，因此也没有带来新颖发现的前景。

拉卡托斯的方法论排出的第二种举动是涉及脱离硬核的举动。进行这样的举动会破坏纲领的连贯性，等同于退出该纲领。例如，一个科学家试图通过暗示天王星和太阳之间的引力不是平方反比定律来应对天王星的轨道，这将等同于退出牛顿 研究纲领。

一个复杂的理论迷宫中的任何部分都可能导致一个明显的证伪，这给依赖不加限定的“猜想与反驳”方法的证伪主义者带来了严重的问题。对那个人来说，无法找到麻烦的根源会导致无方法论的混乱。拉卡托斯的方法论旨在避免这种后果。通过纲领硬核的不可侵犯性及其所伴随的积极启发法来维持秩序。只要由这些猜想产生的一些预测偶尔被证明是成功的，那么在这个框架内巧妙猜想的增殖就会带来进步。保留或拒绝一个假设的决定，由实验检验的结果相当直接地确定。在研究纲领内部，观察对一个正在检验的假设的影响相对来说没有问题，因为硬核和积极启发法有助于定义一个相当稳定的背景。

如上所述，拉卡托斯版本的库恩式 革命涉及一个研究纲领被另一个所取代。我们已经看到，库恩（1970，第94页）无法就一个范式在何种意义上可以优于它所取代的范式给出明确的答案，因此他别无选择，只能诉诸于科学 共同体的权威。后来的范式之所以优于它们的前任，是因为科学 共同体认为它们是这样，而且“没有比相关共同体的认同更高的标准”。拉卡托斯对库恩理论的相对主义含义感到不满。他寻求一个存在于特定范式之外的标准，或者在拉卡托斯的情况下，存在于研究纲领之外的标准，这个标准可以用来识别科学进步的某种非相对主义意义。就他拥有这样一个标准而言，它存在于他对进步和退化研究纲领的概念中。进步涉及用一个进步的纲领取代一个退化的纲领，后者在以下意义上比前者有所改进：它被证明是新颖现象更有效的预测者。

**新颖预测**

拉卡托斯提出的非相对主义进步衡量标准，在很大程度上依赖于新颖预测的概念。一个纲领之所以优于另一个，是因为它能更成功地预测新颖现象。正如拉卡托斯后来意识到的那样，新颖预测的概念并非如初看起来那般简单，需要谨慎地将这个概念塑造成一个在拉卡托斯方法论，或者任何旨在大量使用它的方法论中，能发挥其所需作用的形式。

我们已经在波普尔的方法论背景下遇到过新颖预测。在那一背景下，我曾提出，波普尔立场的本质是，在一个特定时间点，一个预测之所以新颖，是因为它在当时熟悉且普遍接受的知识中没有出现，或者可能与当时的知识相冲突。对波普尔来说，通过一个理论的新颖预测来检验它，构成了对该理论的严峻考验，正是因为这个预测与普遍的预期相冲突。拉卡托斯以波普尔式的意义来使用新颖预测，以帮助他刻画研究纲领的进步性，这是行不通的，正如他自己后来意识到的那样。这一点可以通过相当直接的反例来证实，这些例子恰恰来自拉卡托斯自由地用来阐述其立场的那些纲领。这些反例涉及一些情况：一个研究纲领的价值，体现在它能够解释那些在当时已经确立且为人们所熟知的现象，因此这些现象在波普尔意义上并不新颖。

行星运动有一些特征自古以来就广为人知，但直到哥白尼理论出现后才得到充分解释。这些特征包括行星的逆行运动，以及行星在逆行时显得最亮的事实，还有金星和水星从未离太阳太远的事实。这些现象的定性特征，一旦假设地球和行星一起绕太阳运行，并且水星和金星的轨道在地球内部，就会很容易地得到解释。而在托勒密理论中，它们只能通过专门为此目的设计的本轮来解释。拉卡托斯和哥白尼，以及我想我们大多数人一样，都认为这是哥白尼体系优于托勒密体系的一个重要标志。然而，哥白尼对行星运动一般特征的预测，在我们定义的意义上并不算新颖，原因很简单，这些现象自古以来就已广为人知。恒星视差的观测，可能是我们正在讨论的意义上对哥白尼理论的第一次新颖预测的证实，但这根本不符合拉卡托斯的目的，因为它直到19世纪才发生，而那时科学界早已接受了哥白尼优于托勒密。

很容易找到其他例子。能够被用来支持爱因斯坦广义相对论的少数几个观测之一，是水星近日点的进动，这个现象在爱因斯坦的理论解释它之前早已广为人知 并被接受。量子力学最令人印象深刻的特征之一，是它能够解释气体发出的光谱，这种现象在量子力学解释出现之前，实验家们已经熟悉了半个多世纪。这些成功可以被描述为涉及现象的新颖预测，而不是新颖的现象的预测。

拉卡托斯在埃米尔·扎哈尔（E. Zahar, 1973）提出的一些观点启发下，意识到他最初阐述的科学研究纲领方法论中关于新颖预测的论述需要修改。毕竟，当评估某些可观察现象在多大程度上支持一个理论或纲领时，究竟是理论先出现还是关于现象的知识先出现，这肯定是一个偶然的历史事实，在哲学上没有相关性。爱因斯坦的相对论既可以解释水星的轨道，也可以解释引力场中光线的弯曲。这两者都是支持该理论的巨大成就。碰巧的是，水星近日点的进动在爱因斯坦形成理论之前就已经为人所知，而光线的弯曲则是在之后才被发现。但是，如果情况反过来，或者如果两个现象在之前就已经为人所知，或者两个都在之后才被发现，这会对我们对爱因斯坦理论的评估产生任何影响吗？对于这些思考的适当回应的细微之处仍在争论中，例如艾伦·马斯格雷夫（Alan Musgrave, 1974b）和约翰·沃勒尔（John Worrall, 1985 and 1989a）的争论，但需要抓住的直觉，以及在比较哥白尼和托勒密时所起作用的直觉，似乎是相当直接的。托勒密对逆行运动的解释并没有构成对该纲领的重大支持，因为它为了适应可观察数据而被人为地修补，专门为此目的添加了本轮。相比之下，可观察现象从哥白尼理论的基本原理中以一种自然的方式得出，没有任何人为的调整。一个理论或纲领中算数的预测是那些自然的而非人为的。也许这种直觉背后的想法是：如果证据中包含了没有理论就无法解释的巧合，那么该证据就支持这个理论。如果哥白尼理论不是本质上正确的，它怎么能成功地预测行星运动的所有可观察的一般特征呢？同样的论证在托勒密解释相同现象的情况下行不通。即使托勒密理论是完全错误的，它能够解释这些现象也绝非巧合，因为添加本轮的方式就是为了确保它能做到这一点。这就是沃勒尔（1985, 1989）处理这个问题的方式。

鉴于此，我们应该重新表述拉卡托斯的方法论，使一个纲领的进步性体现在它能够做出自然的，而非新颖的，且被证实的预测上，这里的“自然”与“人为”或“特设”相对。（我们将在第十三章中从一个不同且可能更优越的角度重新审视这个问题。）

**针对历史检验方法论**

拉卡托斯和库恩一样，都关注科学史。他认为任何科学理论都应该能够理解科学史。也就是说，在某种意义上，一种科学方法论或哲学是要经受科学史的检验的。然而，正如拉卡托斯自己清楚地意识到的那样，这其中的确切方式需要仔细阐明。如果对科学哲学必须与科学史相匹配的需求被不加区别地解释，那么一个好的科学哲学将无非是对科学的精确描述。因此，它将无法捕捉科学的本质特征，也无法区分好的科学和坏的科学。波普尔和拉卡托斯倾向于从这个意义上将库恩的描述视为“仅仅”是描述性的，从而认为它是有缺陷的。波普尔对这个问题非常警惕，以至于他不像拉卡托斯那样，否认将科学哲学与科学史进行比较是为科学哲学辩护的合法方式。

我建议，拉卡托斯在1978年著作中描述的立场精髓是：科学史上有一些毋庸置疑的进步性事件，这些事件可以在任何复杂的科学哲学出现之前就被识别出来。如果有人想否认伽利略的物理学比亚里士多德的有所进步，或者爱因斯坦的物理学比牛顿的有所进步，那么他或她只是没有像我们其他人那样使用“科学”这个词。为了关注如何最好地对科学进行分类的问题，我们必须有一个关于科学是什么的预先理论概念，以便提出这个问题，而这个预先理论的概念将包括识别诸如伽利略和爱因斯坦等重大科学成就的经典例子的能力。以这些预设为背景，我们现在可以要求任何科学哲学或方法论都必须与它们兼容。也就是说，任何科学哲学都应该能够理解伽利略在天文学和物理学上的成就大体上是重大的进步。因此，如果科学史揭示了伽利略在他的天文学中改造了被认为是可观察的事实，而在他的力学中主要依赖思想实验而不是真实的实验，那么这对那些将科学进步描绘为累积性的，通过积累可靠的观察事实和从中得出谨慎概括的哲学构成了挑战。拉卡托斯自己早期版本的他的研究纲领方法论，可以因为以一种使得无法理解哥白尼天文学进步的方式利用新颖预测的概念而受到批评，正如我在上一节所做的那样。

拉卡托斯通过这种论证模式，批评实证主义和证伪主义方法论，理由是它们未能理解科学进步中的经典事件，并论证说，相比之下，他自己的描述没有同样的缺陷。然后，转向科学史中更小的事件，拉卡托斯或其支持者可以挑选出让历史学家和哲学家感到困惑的事件，并展示它们如何从科学研究纲领方法论的角度来看是完全有意义的。例如，许多人对以下事实感到困惑：当托马斯·杨在19世纪初提出光的波动理论时，它几乎没有得到支持者，而菲涅尔在二十年后提出的版本却获得了广泛接受。约翰·沃勒尔（John Worrall, 1976）为拉卡托斯的立场提供了历史支持，他表明，作为一个历史事实，杨的理论并没有以一种自然的（而非人为的）方式得到强有力的实验证实，而菲涅尔的理论则得到了证实，并且菲涅尔版本的波动理论凭借他能够引入的数学工具，拥有了一个远为优越的积极启发法。拉卡托斯的一些学生或前学生进行了研究，发表在豪森（Howson, 1976）的著作中，旨在以这种方式支持拉卡托斯的方法论。

拉卡托斯后来将他的方法论的主要优点看作是它对撰写科学史所提供的帮助。历史学家必须尝试识别研究纲领，刻画它们的硬核和保护带，并记录它们进步或退化的方式。通过这种方式，可以阐明科学通过纲领之间的竞争而进步的方式。我认为必须承认，拉卡托斯和他的追随者确实通过以这种方式进行的研究，成功地为物理科学史上的一些经典事件投下了有用的光芒，正如豪森（1976）的论文集所揭示的那样。

尽管拉卡托斯的方法论可以为科学史家提供建议，但拉卡托斯并不打算将其作为科学家的建议来源。鉴于他发现有必要修改证伪主义以克服其所面临的问题，这成为了拉卡托斯一个必然的结论。面对明显的证伪，理论不应该被拒绝，因为责任可能最终被指向理论之外的另一个来源，而单一的成功当然也不能永远地确立一个理论的优点。这就是为什么拉卡托斯引入了研究纲领，它们被给予时间发展，并且可能在经历一个退化期后重新进步，或者在早期的成功后退化。（在此需要回想一下，哥白尼理论在早期的成功之后，退化了大约一个世纪，直到伽利略和开普勒等人再次使其焕发生机。）但一旦采取了这一举措，就很清楚，拉卡托斯的方法论不可能提供即时建议，告诉科学家们必须放弃一个研究纲领，或者偏爱某个特定的研究纲领而不是其竞争对手。如果一位科学家认为有办法使一个正在退化的纲领重新焕发活力，那么他或她继续研究这个纲领并不是不理性或必然是错误的。只有从长远来看（即从历史的角度来看），拉卡托斯的方法论才能用于有意义地比较研究纲领。在这方面，拉卡托斯后来对研究纲领的评估和对科学家的建议做出了区分，他否认他的方法论旨在提供后者。“科学中没有即时理性” 成为了拉卡托斯的一句口号，这捕捉了他认为实证主义和证伪主义，就其可以被解释为提供可用于接受和拒绝理论的标准的意义而言，是要求太多的。

**拉卡托斯方法论的问题**

正如我们所见，拉卡托斯认为用科学史来检验方法论是恰当的。因此，即使按照他自己的说法，提出他的方法论在描述上是否充分的问题也是合理的。有理由怀疑它并非如此。例如，科学史上是否存在像“硬核”这样用来识别研究纲领的东西？反驳的证据来自这样一个事实：科学家有时确实会试图通过调整他们所工作的理论或纲领的基本原理来解决问题。例如，哥白尼本人就将太阳稍微移到了行星轨道中心的旁边，让月球绕地球而非太阳运行，并使用各种装置来调整本轮运动的细节，以至于这些运动不再是匀速的。那么，哥白尼纲领的硬核到底是什么？在19世纪，人们曾认真尝试通过修改平方反比引力定律来应对水星运动等问题。因此，在历史上可以找到违反拉卡托斯自己的一些核心硬核范例的情况。

一个更深层次的问题是，在拉卡托斯科学观中扮演如此重要角色的方法论决定是否真实存在。例如，正如我们所见，根据拉卡托斯（1970，第133页）的说法，一个纲领的硬核是因其“倡导者的方法论决定”而变得不可证伪的。这些决定是历史的真实，还是拉卡托斯想象的产物？拉卡托斯并没有真正提供他所需要的答案的任何证据，而且也不完全清楚什么样的研究能提供这种证据。这个问题对拉卡托斯来说至关重要，因为方法论决定是他自己的立场与库恩立场之间区别的所在。库恩和拉卡托斯都同意，科学家们在一个框架内以协调的方式工作。对库恩来说，至少在他的一种心境下，他们如何以及为何这样做的问题，可以通过社会学分析来揭示。对拉卡托斯来说，这会导致不可接受的相对主义。因此，对他而言，这种凝聚力是由理性的方法论决定所带来的。拉卡托斯没有回答这些决定没有历史（或当代）真实性的指控，他也没有对这些决定应该在何种意义上被视为理性给出明确的答案。

对拉卡托斯的另一个根本性批评与本书的中心主题直接相关，即什么（如果存在的话）是科学知识的特征。拉卡托斯的言辞，至少表明他的方法论旨在对这个问题给出一个明确的答案。他声称“科学哲学的核心问题是——陈述一个理论是科学的普遍条件的问题”，这是一个“与科学的理性问题紧密相连”的问题，其解决方案“应该为我们提供指导，告诉我们何时接受一个科学理论是理性的，何时不是”（Worrall and Currie, 1978a, pp. 168–9，原文斜体）。拉卡托斯（1970，第176页）将他的方法论描绘为这些问题的解决方案，它将“帮助我们制定法律来阻止——智力污染”。“我[拉卡托斯]为纲领内的进步和停滞提供了标准，也为 ‘淘汰’整个研究纲领提供了规则” （Worrall and Currie, 1978a, p. 112）。从拉卡托斯立场的细节以及他本人对这些细节的评论中可以清楚地看出，拉卡托斯的方法论无法实现这些期望。他没有提供淘汰整个研究纲领的规则，因为坚持一个正在退化的纲领，希望它能卷土重来是理性的。如果坚持哥白尼理论一个世纪是科学的，直到该理论结出重要果实，那么为什么当代的马克思主义者（拉卡托斯的主要打击目标之一）在试图发展历史唯物主义以使其结出重要果实时就不是科学的呢？一旦拉卡托斯意识到并承认，在他的方法论只能在物理科学的背景下，凭借历史事后诸葛亮的优势进行判断时，他的方法论实际上就无法将任何当代理论诊断为非科学的 “智力污染” 。如果没有 “即时理性” ，那么就不可能当场拒绝马克思主义、社会学或任何其他拉卡托斯所讨厌的东西。

拉卡托斯方法论的另一个基本问题源于他认为有必要通过科学史研究来支持它。拉卡托斯和他的追随者通过过去三百年的物理科学案例研究来建立必要的论证。但是，如果以这种方式得到支持的方法论随后被用来判断其他领域，例如马克思主义或占星学，那么实际上是在没有论证的情况下假设所有研究领域，如果它们要被视为“科学的”，就必须拥有物理学的基本特征。保罗·费耶阿本德（Paul Feyerabend, 1967）就是以这种方式批评拉卡托斯的。拉卡托斯的程序无疑是在乞求一个重要的基本问题，只要明确说出来，问题就显而易见。至少有许多初步的理由可以让人预期，判断物理学的方法论和一套标准可能不适用于其他领域。物理学可以，而且通常确实是通过在受控实验的人为环境中，分离单个机制来前进的——引力、电磁力、基本粒子碰撞时的机制等等。人们和社会通常不能以这种方式被对待，否则会破坏正在被研究的对象。生命系统要发挥其功能，需要大量的复杂性，因此即使是生物学，也预计会与物理学表现出一些重要的差异。在社会科学中，所产生的知识本身构成了被研究系统的重要组成部分。因此，例如，经济理论可以影响个体在市场中的运作方式，因此理论的改变可以带来被研究的经济系统的改变。这是一个在物理科学中不适用的复杂性。行星不会根据我们关于其运动的理论而改变其运动。无论从这些思考中可以发展出怎样的论证力量，事实仍然是，拉卡托斯在没有论证的情况下预设，所有科学知识在某种基本意义上都应该像过去三百年的物理学一样。

当我们考虑拉卡托斯死后出版的一篇关于“牛顿对科学标准的影响”的研究（1976a）时，另一个基本问题就暴露出来了。在那项研究中，拉卡托斯论证了牛顿在实践中带来了科学标准的改变，这种改变拉卡托斯显然认为是进步的。但是，拉卡托斯能够建立这样一个论证的事实，与他在其他地方反复做出的假设——即对科学的评估必须参照某种“普遍”标准进行——并不相符。如果牛顿将科学标准改变得更好，那么人们可以问，“这个改变是相对于什么标准而言是进步的？”我们面临着一个与库恩所面临的类似的问题。这是一个我们将在本书后面需要面对，或者可能需要驱散的问题。

**延伸阅读**

* 拉卡托斯方法论的核心文本是他的1970年著作《证伪主义与科学研究纲领方法论》。
* 大多数其他重要论文都被收录在沃勒尔和柯里（Worrall and Currie, 1978a and 1978b）的文集中。
* 同样重要的还有拉卡托斯（1968）的《归纳逻辑问题》和（1971）的《对批评者的回应》。
* 拉卡托斯将其思想应用于数学的精彩论述是他的《证明与反驳》（1976b）。
* 豪森（Howson, 1976）的著作中包含了旨在支持拉卡托斯立场的历史案例研究。
* 另一个类似的研究是拉卡托斯和扎哈尔（Lakatos and Zahar, 1975）的著作。
* 科恩、费耶阿本德和瓦托夫斯基（Cohen, Feyerabend and Wartofsky, 1976）的著作是一本纪念拉卡托斯的文集。
* 费耶阿本德（Feyerabend, 1976）对拉卡托斯的方法论进行了重要的批判。
* 关于新颖预测的概念，可以参阅马斯格雷夫（Musgrave, 1974b）、沃勒尔（Worrall, 1985）、沃勒尔（Worrall, 1989a）和梅奥（Mayo, 1996）的著作。
* 对拉卡托斯作品的有用概述是B. 拉沃尔（B. Larvor, 1998）的《拉卡托斯：导论》。

**第十章**

**费耶阿本德的无政府主义科学理论**

**故事讲到这里**

我们似乎在寻找一种能够区分科学与其他类型知识的特性的过程中遇到了麻烦。我们开始时 秉持 着20世纪早期极具影响力的实证主义者所采纳的观点，即科学之所以特殊，是因为它源于事实。但这种尝试失败了，因为事实本身不够直接，无法支撑这一观点，因为它们是“依赖于理论”且可能出错的，而且找不到关于理论如何能“源于”事实的清晰解释。证伪主义也未能取得多大进展，主要是因为在任何现实的科学情境中，都无法定位错误预测的根源，因此，关于理论如何被证伪的清晰概念，变得几乎和如何被证实一样难以捉摸。库恩和拉卡托斯都试图通过将注意力集中在科学家工作的理论框架上来解决这个问题。然而，库恩强调了在竞争范式中工作的科学家们“生活在不同世界”的程度，以至于他缺乏足够的资源来阐明在科学革命过程中从一个范式到另一个范式是一种进步的意义。拉卡托斯试图避免这个陷阱，但是，除了他随意引用的方法论决定是否真实存在的问题之外，他最终得出的科学特性标准是如此宽松，以至于很少有智力追求会被排除在外。保罗·费耶阿本德（Paul Feyerabend）对这些失败并不感到惊讶，并且试图阐明他所认为的这些失败的全部含义。本章将描述和评估他那富有争议但 nevertheless 很有影响力的“无政府主义”科学观。

**费耶阿本德对方法的反驳**

保罗·费耶阿本德是一位奥地利人，其大部分学术生涯都在加利福尼亚州的伯克利度过，但也曾与波普尔和拉卡托斯在伦敦共事（并与他们作对）。他在1975年出版了一本名为《**反对方法：无政府主义知识理论纲要**》（Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge）的书。在书中，他挑战了所有试图通过解释科学方法来捕捉其特殊地位的尝试，他认为根本没有这样一种方法，而且科学并不必然拥有使其优于其他知识形式的特征。如果有一个单一的、永恒不变的科学方法原则，费耶阿本德最终宣称，那就是“**怎么都行**”（anything goes）。在费耶阿本德的早期和晚期著作中，都有一些段落可以用来严重限制《反对方法》中包含的这种极端的无政府主义科学观。然而，为了我们的目的，坚持这种不加限定的无政府主义科学理论将是最有启发性的，看看我们能从中汲取什么。无论如何，正是费耶阿本德立场的极端形式在文献中留下了印记，并让科学哲学家们在应对时遇到了不小的困难。

费耶阿本德的主要论证试图通过在对手自己的地盘上挑战他们来削弱哲学家们对科学方法和进步的描述。他的做法是：他选取了那些被他的对手（包括绝大多数哲学家）认为是科学进步经典实例的科学变革例子，并展示出，作为历史事实，这些变革并不符合那些哲学家所提出的科学理论。（费耶阿本德本人不必同意这些事件是进步的，他的论证也能成立。）费耶阿本德所引用的主要例子涉及伽利略在物理学和天文学上所取得的进步。费耶阿本德的观点是，如果一个关于科学方法和进步的描述甚至无法理解伽利略的创新，那么它就称不上一个好的科学描述。在这篇对费耶阿本德立场的概述中，我将主要坚持伽利略的例子，这主要是因为这个例子足以说明费耶阿本德的立场，而且这个例子很容易理解，不需要借助深奥的技术细节。

费耶阿本德的一些观点会让你感到熟悉，因为我在这本书的前面已经为了各种目的引用过它们。

本书第一章中引用的引文阐述了实证主义或归纳主义的观点，即伽利略的创新可以用他认真对待可观察事实并构建理论来与之匹配来解释。但以下来自伽利略的《关于两大世界体系的对话》（1967年）的一段话，被费耶阿本德（1975年，第100-1页）引用，表明伽利略的想法并非如此。

*您对毕达哥拉斯学派（认为地球在运动）的追随者如此之少感到惊讶，而我却惊讶于直到今天还有人接受并追随它。我永远无法充分钦佩那些掌握并接受这一观点为真理的人的杰出才智：他们凭借纯粹的智力力量，对自己的感官施加了如此大的影响，以至于他们宁愿相信理性告诉他们的东西，而非感官经验清楚地向他们展示的相反事实。因为我们已经研究过的那些反对地球自转的论证是非常合理的，正如我们所见：托勒密学派、亚里士多德学派以及他们所有的门徒都认为这些论证是决定性的，这确实是它们有效性的一个有力证明。但是，那些公然与年度运动相矛盾的经验，其明显的力量确实要大得多，我再说一次，当我想到阿里斯塔克和哥白尼能够让理性如此征服感官，以至于后者违抗前者，成为他们信念的主宰时，我的惊讶是无限的。*

远非接受他的同代人认为感官所证实的事实，伽利略（1967，第328页）需要用理性征服感官，甚至用“一种更优越、更好的感官”，即望远镜来取代感官。让我们考虑两个伽利略需要“征服”感官证据的例子——他拒绝接受地球是静止的主张，以及他拒绝接受金星和火星的视大小在一年中没有明显变化的主张。

如果一块石头从塔顶落下，它会落到塔基。这个以及其他类似的经验可以被看作是地球静止的证据。因为如果地球在运动，比如在自转（伽利略在引用的段落中提到的“地球的旋转”），那么它在石头下落的过程中不就应该从石头下面移动开吗，结果是石头应该落在离塔基有一段距离的地方？伽利略是靠诉诸事实来反驳这个论证的吗？正如费耶阿本德所指出的，伽利略在《对话》中绝对不是这样做的。伽利略（1967，第125页及以后）通过“揣摩”读者的心思来达到预期的结果。他论证如下。一个球在一个无摩擦的斜坡上滚下，它的速度会增加，因为它在一定程度上是“向着”地心下落。反之，一个球在一个无摩擦的斜坡上滚上，它的速度会减小，因为它在远离地心上升。在说服读者接受这个显而易见的事实后，他或她现在被问到，如果斜坡是完全水平的，球的速度会发生什么变化。答案似乎是速度既不会增加也不会减小，因为 球 既没有上升也没有下落。球的水平运动会持续并保持恒定。尽管这还没有达到牛顿的惯性定律，但它是一个没有原因就持续的匀速运动的例子，这足以让伽利略反驳一系列反对地球自转的论证。伽利略得出了一个推论：当石头从塔上落下时，它与塔 一起共享的水平运动，在地球自转时保持不变。这就是为什么它会一直与塔在一起，落在塔脚下。因此，塔的论证并不能以许多人所认为的方式证明地球是静止的。据伽利略自己承认，他的论证成功之处并没有涉及诉诸观察和实验的结果。（我在这里指出，在伽利略时代，要获得无摩擦的斜坡比现在更难，而且在斜坡上不同位置测量球的速度，超出了当时的可行范围。）

我们在第一章中看到，金星和火星的 视 大小之所以重要，是因为哥白尼理论预测它们应该有明显变化，而这个预测没有得到肉眼观测的证实。一旦接受了望远镜数据而不是肉眼数据，这个问题就解决了。但是，如何为望远镜数据的优先地位进行辩护呢？费耶阿本德对这一情况和伽利略的回应的描述如下。在天文学背景下接受望远镜所揭示的内容绝非易事。伽利略没有一个充分或详细的望远镜理论，所以他不能通过援引一个理论来为望远镜数据辩护。诚然，在地面背景下，有通过反复试验来证实望远镜观察的方法。例如，对远处建筑物上肉眼无法辨认的铭文的阅读，可以通过走近建筑物来检查；而对远处船只货物的辨认，可以在船只抵达港口后得到证实。但是，对望远镜在地面使用上的证实，不能直接用于证明它在天文学使用上的合理性。望远镜在地面上的使用，得益于一系列在天文学案例中不存在的视觉线索。真正的图像可以与望远镜的许多假象区分开来，因为我们熟悉被观察事物的类型。因此，例如，如果望远镜显示一艘远方船只的桅杆是波浪形的，一边是红色的，另一边是蓝色的，并且上面漂浮着黑点，那么这些失真、颜色和斑点可以被视为假象而忽略。然而，当看向天空时，我们处于不熟悉的领域，缺乏明确的指导，不知道什么是真实存在的，什么是假象。此外，借助熟悉的物体来判断大小，以及使用视差和重叠来判断什么是远 什么是近，这些在天文学中通常是一种奢侈品，而且伽利略肯定不能通过走近行星，用肉眼来检查望远镜对行星的观察。甚至有直接证据表明望远镜数据是不稳定的，因为它放大月球的程度与放大行星和恒星的程度不同。

根据费耶阿本德（1975，第141页）的说法，这些困难是如此之大，以至于诉诸论证不足以说服那些希望同时否定哥白尼理论和与天空有关的望远镜数据的反对者。因此，伽利略需要，并且确实诉诸了宣传和诡计。

*另一方面，有一些望远镜现象显然是支持哥白尼学说的。伽利略将这些现象作为支持哥白尼学说的独立证据，然而实际情况是，一个被证伪的观点——哥白尼学说——与从另一个被证伪的观点——望远镜现象忠实地反映了天空的观点——中出现的现象，具有某种相似性。伽利略之所以能获胜，是因为他的风格和巧妙的说服技巧，因为他用意大利语而不是拉丁语写作，以及因为他吸引了那些在性情上反对旧思想和与之相关的学术标准的人。*

显然，如果费耶阿本德对伽利略方法论的解读是正确且具有科学典型性的，那么标准的实证主义、归纳主义和证伪主义的科学观在容纳它时会遇到严重的问题。根据费耶阿本德的说法，它可以被纳入拉卡托斯的方法论，但这仅仅是因为该方法论太过宽松，几乎可以容纳任何事物。费耶阿本德嘲笑拉卡托斯，称他为“同道中人，无政府主义者”，只是“乔装打扮”，并开玩笑地将《反对方法》一书献给拉卡托斯，称他为“朋友和无政府主义同道”。费耶阿本德将两个框架——以肉眼数据为支撑的亚里士多德静止地球框架和以望远镜数据为支持的哥白尼运动地球理论——解读为相互排斥的思想圈，这让人想起库恩将范式描绘为相互排斥的看世界的方式。事实上，这两位哲学家都独立地创造了“不可通约”（incommensurable）一词，来描述两个理论或范式之间的关系，因为缺乏可用于比较的理论中性事实，它们无法进行逻辑上的比较。库恩通过诉诸社会共识来恢复秩序和规则，从而基本上避免了费耶阿本德的无政府主义结论。费耶阿本德（1970）拒绝了库恩对科学 共同体社会共识的诉求，部分原因是他认为库恩没有区分达成共识的合法和非法方式（例如通过杀死所有反对者），也因为他认为诉诸 共识无法区分科学与神学和有组织犯罪等其他活动。

鉴于费耶阿本德认为他已经证明了试图捕捉科学知识特殊特征的努力已经失败，而正是这些特征使科学优于其他形式的知识，他得出了一个结论：科学在我们社会中所享有的崇高地位，以及它被假定不仅优于马克思主义，也优于黑魔法和巫毒等事物，是没有道理的。根据费耶阿本德的观点，对科学的崇高敬意是一种危险的教条，扮演着类似于他所描绘的基督教在17世纪所扮演的压制性角色，他想到了伽利略与教会的斗争等事件。

**费耶阿本德对自由的倡导**

费耶阿本德的科学理论植根于一个高度重视个人自由的伦理框架中，这是一种他称之为“人道主义态度”（humanitarian attitude）的立场。根据这种态度，个人应该拥有自由，享有类似于19世纪哲学家约翰·斯图尔特·密尔（John Stuart Mill, 1975）在他的文章《论自由》（'On Liberty'）中所捍卫的那种自由。费耶阿本德（1975，第20页）宣称他支持“增加自由，过上充实而有回报的生活”的尝试，并支持密尔倡导的“培养个性，唯有个性才能产生或可以产生全面发展的人”。从这种人道主义的立场出发，费耶阿本德支持他的无政府主义科学观，理由是它通过解除对科学家的方法论束缚，增加了他们的自由，并且更普遍地，让个人有自由在科学和其他形式的知识之间做出选择。

在费耶阿本德看来，科学在我们社会中的制度化与人道主义态度不符。例如，在学校里，科学被理所当然地作为一门课程来教授。“因此，虽然现在一个美国人可以选择他喜欢的宗教，但他仍然不被允许要求他的孩子在学校学习魔法而不是科学。国家与教会之间是分离的，但国家与科学之间却没有分离” （1975，第299页）。费耶阿本德（1975，第307页）写道，鉴于此，我们需要做的是 “将社会从一种意识形态上石化的科学的扼杀性控制中解放出来，就像我们的祖先将我们从独一真理宗教的扼杀性控制中解放出来一样！” 在费耶阿本德对自由社会的设想中，科学不会比其他形式的知识或传统得到优先对待。一个自由社会中的成熟公民是“一个学会自己做主并决定他认为最适合自己的事物的人”。科学将被作为一种历史现象来研究，“与其他童话故事，例如‘原始’社会的那些神话”一起，这样每个人“都拥有做出自由决定所需的信息”（1975，第308页，原文斜体）。在费耶阿本德的理想社会中，国家在意识形态上是中立的，以确保个人保持选择的自由，并且不会有意识形态违背他们的意愿强加给他们。

费耶阿本德对方法的反驳，连同他对个人特定自由的倡导，最终形成了他的无政府主义知识理论（1975，第284-5页）。

*“卡尔纳普、亨普尔、内格尔[三位著名的实证主义者]、波普尔，甚至是拉卡托斯，他们想用来使科学变革合理化的方法，没有一个能够应用；而唯一可以应用的 ‘反驳’，其力量也大大减弱了。剩下的只有审美判断、品味判断、形而上学偏见、宗教愿望，简而言之，剩下的就是我们的主观愿望：科学在其最先进和最普遍的部分，将个人似乎在其更寻常的部分所失去的自由，归还给了他们。”*

那么，不存在科学方法。科学家们应该遵循他们的主观愿望。怎么都行。

**对费耶阿本德个人主义的批判**

对费耶阿本德对人类自由的理解进行批判，将作为评估他对方法论批判的一个有用的前奏。费耶阿本德自由观的一个核心问题源于它完全是**负面的**，从这个意义上说，自由被理解为**免于**约束的自由。个人应该在不受约束的范围内，可以遵循自己的主观意愿，做自己喜欢做的事情。这忽略了问题的**积极**方面，即个人**拥有**实现其愿望的手段的程度。例如，言论自由可以，而且通常被从免于约束的角度来讨论，其形式是免于国家压制、诽谤法等等。因此，例如，如果学生通过干扰一位表达同情法西斯主义观点的学者的校园讲座，他们很可能会被指责剥夺了这位演讲者的言论自由。他们被指责阻碍了演讲者的自然权利。然而，从积极的角度来看，言论自由可以被视为个人拥有的资源，以使他们的观点被他人听到。例如，一个特定的人对媒体有多大的接触？这个观点使我们的例子有了不同的光。干扰讲座也许可以被正当化，理由是这位演讲者获得了大学演讲厅、麦克风、媒体宣传等资源，而那些倡导其他观点的人却没有。18世纪的哲学家大卫·休谟在批判约翰·洛克的社会契约思想时，很好地说明了我所要表达的观点。洛克将社会契约解释为由民主社会的成员自由采纳，并认为任何不愿遵守契约的人都可以自由移民。休谟的回应如下：

*我们真的能说一个贫穷的农民或工匠有自由选择离开自己的国家吗？当他不懂外语或异国风俗，并且靠着微薄的工资勉强度日时。我们同样也可以说，一个人留在船上是自由地同意了船主的统治；即使他是睡着时被带上船的，而且一旦他离开船，就必须跳进大海里并死去。*

个人出生于一个先于他们存在的社会，从这个意义上说，这个社会拥有他们未曾选择、也无法选择的特征。他们可行的行动路线，以及由此而来的，他们所拥有的自由的确切意义，将由他们在实践中获取各种行动路线所需资源的便利程度来决定。

在科学领域也是如此，一个希望对科学做出贡献的个体，将面对既定的现状：各种理论、数学技术、仪器和实验技术。摆在所有科学家面前的行动路径将由这个客观存在的情形所限定，而摆在某个特定科学家面前的路径，则将由该个体所能获取的现有资源的子集来决定。科学家们只有在他们有权从有限的选项中进行选择时，才能自由地追随他们的“主观愿望”。此外，要理解这种情况，一个先决条件就是描述个体所面对的、无论他们是否喜欢的情形。无论是科学还是整个社会发生变化，主要的理论工作都涉及理解个体所面临的处境，而不是泛泛地诉诸于不受约束的自由。

具有讽刺意味的是，费耶阿本德在他的科学研究中竭力否认存在“理论中立的事实”，但在他的社会理论中却诉诸于一个更为宏大的概念，即“意识形态中立的国家”。这样的国家究竟是如何产生的？它将如何运作？又是什么来维持它？鉴于在认真研究“国家”的起源和性质问题上所做出的努力，费耶阿本德关于一个乌托邦的奇特猜想——在这个乌托邦中，所有个体都可以不受限制地自由追随他们的倾向——显得幼稚可笑。

批评费耶阿本德将他的科学观置于一个包含天真自由概念的个人主义框架中是一回事。而深入探究他提出的“反对方法论”的具体论点则是另一回事。在下一章中，我们将看到可以从费耶阿本德对方法论的攻击中建设性地拯救出什么。

**延伸阅读**

* 费耶阿本德在《自由社会中的科学》（1978）一书中进一步阐述了他在《反对方法论：一种无政府主义知识论纲要》（1975）中的部分思想。
* 《实在论、理性主义与科学方法》（费耶阿本德，1981a）和《经验主义问题》（费耶阿本德，1981b）是他的一些文章合集，其中许多文章早于他的“无政府主义”阶段。他分别在《给专家的慰藉》（1970）和《论对科学理性的批判》（1976）中批判了库恩和拉卡托斯。
* 我曾对费耶阿本德对伽利略科学的描述提出异议，详见《伽利略对金星和火星的望远镜观测》（查尔默斯，1985）和《费耶阿本德所忽视的伽利略》（查尔默斯，1986）。
* 关于费耶阿本德科学哲学的著作包括库瓦利斯（Couvalis, 1989）、法雷尔（Farrell, 2003）和奥伯海姆（Oberheim, 2006）。

**第11章**

**方法论中的方法论变革**

**反对普适方法论**

我们在前一章中看到，费耶阿本德对哲学家们为捕捉科学知识独特特征而提出的各种科学方法论进行了反驳。他所采用的一个关键策略是论证这些方法论与伽利略在物理学和天文学上的进步是互不相容的。我在其他地方（查尔默斯，1985年和1986年）对费耶阿本德对伽利略这一历史事件的描述提出了异议，我的一些分歧细节将在下一节介绍和利用。我相信，即使修正了这段历史，修正后的历史仍然对标准的科学观和科学方法论构成了挑战。

也就是说，我认为，在某种意义上，费耶阿本德反对方法论的论点是可以成立的，前提是我们清楚地认识到他所反驳的“方法论”概念。费耶阿本德的论点反对这样一种主张：存在一种普适的、非历史性的科学方法论，它包含所有科学（无论是物理学、心理学、创世科学还是其他什么）都必须遵守的标准，否则就不配被称为“科学”。这里的“普适”一词指的是所提出的方法论适用于所有科学或自称是科学的学科，而“非历史性”则表明该方法论具有永恒的特征。它既可以用来评价亚里士多德的物理学，也可以用来评价爱因斯坦的物理学；既可以用来评价德谟克利特的原子论，也可以用来评价现代原子物理学。

我很乐意与费耶阿本德一同认为普适和非历史性的方法论思想是极不可信的，甚至是荒谬的。正如费耶阿本德（1975年，第295页）所说，“认为科学能够、也应该按照固定和普适的规则运行，这种想法既不现实又有害”，它“对科学有害，因为它忽视了影响科学变革的复杂物理和历史条件”，并且“使科学的适应性变差，变得更加教条”。如果真的存在一种能够评判过去、现在和未来所有科学的科学方法论，人们大可质疑哲学家们如何能获得如此强大的工具，强大到可以提前告诉我们评判未来科学的恰当标准是什么。如果我们把科学看作是一个旨在改善我们知识的开放式探索，那么为什么不能给我们留下改进方法、根据我们所学到的东西调整和完善我们的标准的空间呢？

**望远镜数据取代肉眼数据：一场标准的变革**

伽利略的一位亚里士多德派反对者（引自伽利略，1967年，第248页）将“感官和经验应成为我们哲学探索的向导”这一思想称为“科学本身的准则”。许多研究亚里士多德传统的评论家都指出，该传统的一个核心原则是，知识主张在适当条件下、经过足够细致的使用后，必须与感官证据相符。

伽利略的传记作者卢多维科·盖蒙纳特（Ludovico Geymonat, 1965, p. 45）提到，“在[伽利略创新]的时代，大多数学者都相信”，“只有直接视觉才有能力掌握真实的实在”。莫里斯·克拉维林（Maurice Clavelin, 1974, p. 384）在比较伽利略和亚里士多德科学的背景下指出，“逍遥派物理学的首要准则就是绝不与感官证据相悖”。斯蒂芬·高克罗格（Stephen Gaukroger, 1978, p. 92）也在类似背景下写道，亚里士多德的著作中“对感官知觉有着一种根本性的、排他性的依赖”。

对这一根本标准的目的是为了进行辩护。感官的作用被理解为向我们提供关于世界的信息。因此，尽管在异常情况下，例如在雾中，或者当观察者生病或醉酒时，感官可能会产生误导，但如果感官正在履行其预定的任务，那么假设它们会系统性地产生误导就是没有意义的。欧文·布洛克（Irving Block, 1961, p. 9）在一篇阐述亚里士多德感觉知觉理论的富有启发性的文章中，对亚里士多德的观点做了如下概括：

*大自然创造万物皆有其目的，而人类的目的则是通过科学来理解大自然。因此，如果大自然以一种方式塑造了人类及其器官，使得所有知识和科学从一开始就注定是虚假的，那将是一个矛盾。*

布洛克（1961年，第7页）提到，几个世纪后，托马斯·阿奎那也呼应了亚里士多德的观点：

*感官知觉对其固有对象而言总是真实的，因为自然能力通常不会在其固有的活动中失效；如果它们确实失效了，那也是由于某种功能障碍。因此，只有在极少数情况下，感官才会对其固有对象做出不准确的判断，而这仅仅是由于某些器官缺陷，例如发烧的人因为舌头不适，会觉得甜的东西尝起来是苦的。*

伽利略所面临的局面是，对感官（包括肉眼数据）的依赖是“科学本身的准则”。为了引入望远镜，并让望远镜数据取代并凌驾于某些肉眼数据之上，他必须公然违抗这一准则。当他做到这一点时，他已经促成了一场科学标准的变革。正如我们所见，费耶阿本德不认为伽利略能够提出一个令人信服的论点，并认为他不得不诉诸于宣传和诡计。然而，历史事实却并非如此。

在第20至23页，我已经讨论了伽利略为他观测到的木星卫星的真实性所做的论证。在这里，我将重点关注伽利略如何为接受望远镜所揭示的金星和火星视尺寸的变化而提出的论证。我们在前一章已经描述了该问题的紧迫性，并且也认同费耶阿本德关于接受望远镜对天体的观测所面临的困难的论述。

伽利略诉诸于“**光芒现象**”（irradiation）来帮助否定肉眼对行星的观测，并以此为由支持望远镜观测。伽利略的假设（1967年，第333页）是，当眼睛在黑暗背景下观察微小、明亮、遥远的光源时，会“引入其自身的障碍”。因此，这些物体显得“被附带和外来的光线装饰着”。伽利略（1957年，第46页）在其他地方解释道，如果用肉眼观察恒星，“它们呈现给我们的并不是其简单的（可以称之为，其物理的）尺寸，而是被某种光芒所照亮，边缘带有闪烁的光线”。在行星的情况下，望远镜消除了这种光芒现象。

由于伽利略的假设涉及“光芒现象”是光源的亮度、微小和距离的后果，因此可以通过不使用望远镜而以多种方式改变这些因素来对其进行测试。伽利略（1957年，第46-47页）明确提到了几种方法。通过云、黑纱、有色玻璃、管子、指缝或卡片上的针孔来观察恒星和行星，可以降低它们的亮度。在行星的情况下，这些技术消除了光芒现象，使得它们“显示出它们的球体完美地呈圆形且边界清晰”，而在恒星的情况下，光芒现象从未被完全消除，因此它们“从未被看作是被一个圆形边界所包围，而是更像光芒，其光线在它们周围震动并大量闪烁”。

至于光芒现象对被观测光源视尺寸的依赖性，伽利略的假设得到了月亮和太阳不受光芒现象影响这一事实的证实。伽利略的这个假设，以及相关的光芒现象对光源距离的依赖性，可以通过一个直接的地面实验进行测试。可以在白天或夜晚、近处或远处观察一个点燃的火把。当在晚上从远处观察时，由于它相对于周围环境显得明亮，所以看起来比它的真实尺寸要大。因此，伽利略（1967年，第361页）评论说，包括第谷和克拉维斯在内的他的前辈们在估计恒星大小时应该更加谨慎。

*我不相信他们会认为火把真正的盘状大小就如同在漆黑中看到的那样，而不是在有光的环境中看到的那样：因为我们的灯火在晚上从远处看显得很大，但从近处看，它们真正的火焰却很小，而且有明确的界限。*

星星在黄昏时看起来比夜晚小得多，这也进一步证实了光芒现象对光源相对于其周围环境亮度的依赖性。金星在白天被观察到时也是如此，它看起来“非常小，需要敏锐的视力才能看到，尽管在接下来的晚上，它看起来就像一个巨大的火炬”。后一种效应提供了一种粗略的方法来测试金星预测的尺寸变化，而无需诉诸于望远镜的证据。只要将观察限制在白天或黄昏，就可以用肉眼进行测试。至少根据伽利略的说法，这些尺寸变化“用肉眼是相当明显的”，尽管只有用望远镜才能精确观察到（德雷克，1957年，第131页）。

通过相当直接的实际演示，伽利略能够证明，当在地面和天体领域观察相对于其周围环境明亮的小光源时，肉眼会产生不一致的信息。伽利略提供了多种证据来证明光芒现象，以及用灯进行的更直接的演示，这些都表明对微小、明亮光源的肉眼观察是不可靠的。这意味着，对白天金星的肉眼观察要比在晚上（金星相对于周围环境更亮）进行的观察更可靠。前者与后者不同，它显示了金星的视尺寸在一年中是变化的。所有这一切都可以在不提及望远镜的情况下进行说明。当我们现在注意到望远镜在观察行星时消除了光芒现象，并且更重要的是，望远镜观察到的视尺寸变化与白天用肉眼可观察到的变化是兼容的，那么支持望远镜数据的强有力论据就开始出现了。

为金星和火星尺寸的望远镜数据真实性提供的最后一个论据是，它们与当时所有重要的天文学理论的预测都精确吻合。这与费耶阿本德以及伽利略本人呈现情况的方式相矛盾，他们暗示这些数据支持哥白尼理论优于其竞争对手。哥白尼理论的竞争对手是托勒密和第谷·布拉赫的理论。这两个理论都精确地预测了与哥白尼理论相同的尺寸变化。在托勒密体系中，由于行星在叠加于均轮上的本轮上运行时，它们会时而靠近、时而远离地球（而均轮与地球等距），从而导致了与地球距离的变化，进而预测出视尺寸的变化。在第谷·布拉赫的体系中，除了地球以外的行星都绕太阳运行，而太阳本身则绕着静止的地球运行。这个体系中出现同样的变化原因与哥白尼理论相同，因为这两种理论在几何上是等效的。德里克·J·德·S·普莱斯（Derek J. de S. Price, 1969）已经相当普遍地证明了，一旦这些体系被调整以适应行星和太阳的观测角位置，情况必然如此。奥西德在哥白尼《天体运行论》的引言中承认，行星的视尺寸问题自古以来就对主要的天文学理论构成了挑战。

我们回顾了伽利略为接受一些重要的望远镜发现而进行的论证方式。我认为这些论证是令人信服的，这一观点得到了历史事实的证实：它们在短时间内说服了伽利略所有重要的竞争对手。但在建立他的论证过程中，伽利略迈出了第一步，开启了科学中一个普遍的趋势：通过仪器获得的数据取代肉眼数据，并且在这样做时，他违反了“科学本身的准则”，并促成了它的改变。他取得的这一成就在支持或反对方法论的论点上有什么意义呢？

**理论、方法和标准的渐进式变革**

伽利略是如何在约翰·沃拉尔等人的论点面前，通过提出一个理性的论证而成功改变标准的呢？沃拉尔等人认为这是不可能的。伽利略之所以能够做到这一点，是因为他和他的对手之间存在着许多共识。他们的目标有很大的重叠。在许多其他方面，他们都共同致力于对天体运动进行描述，并让这种描述得到经验证据的支持。毕竟，托勒密的《天文学大成》（Almagest）中充满了行星位置的记录，而第谷·布拉赫则以建造大型象限仪等工具而闻名，这大大提高了此类记录的准确性。伽利略指出了一些低层次的观察现象，他的对手们别无选择，只能接受，比如在晚上从远处看一盏灯时，它显得比实际要大；以及金星在白天看起来比在黑夜里要小。正是这些共同的观察，在共同的目标背景下，足以让伽利略能够说服他的对手们，利用“巧妙的说服技巧”——这些技巧除了直接的论证之外别无其他——至少在某种情况下，他们应该愿意放弃“科学本身的准则”，接受一些望远镜数据，而不是他们的肉眼数据。

在科学发展的任何阶段，它都将包含一些具体的目标（以获取某种特定知识）、实现这些目标的方法和判断其实现程度的标准，以及代表当前事实和理论现状的特定内容。这个由各种实体构成的网络中的每个单独 项目都会随着研究的进展而进行修订。我们已经讨论了理论和事实是如何可能出错的（例如，过冷液体推翻了液体不能上坡流动的说法），并且在上一节中，我们展示了方法和标准的变革。科学目标的具体形式也可以改变。让我举一个例子。

罗伯特·波义耳的实验工作被理所当然地视为对17世纪科学革命的重大贡献。在波义耳的工作中，可以辨别出两个有些矛盾的方面，这在某种意义上代表了新旧两种科学方法。在他更具哲学性的著作中，波义耳提倡“机械哲学”。根据这种哲学，物质世界被看作是由物质碎片组成的。它被认为是显而易见的，即只存在这一种物质。可观察到的物体是由微观的物质微粒排列而成的，而变化则应被理解为微粒的重新排列。物质微粒仅有的属性是其各自的大小、形状和运动，以及将物质与空虚空间区分开来的不可穿透性。一个微粒的运动在与另一个微粒碰撞时会发生改变，这种机制是自然界所有活动和变化的根源。对某个物理过程的解释将涉及追溯该过程至所涉及微粒的运动、碰撞和重新排列。在表达这一观点的一个版本时，波义耳赞同了当时被认为是取代亚里士多德世界观的“新机械世界观”。在这种世界观中，充分的解释就是最终的解释。它们诉诸于微粒的形状、大小、运动和碰撞，而这些概念本身并不被认为需要解释。因此，从这个角度看，科学的目标就是提供最终的解释。

除了倡导机械哲学外，波义耳还进行了实验，特别是他在气体力学和化学方面的实验。正如波义耳自己的一些言论所暗示的，他的实验成功并没有产生机械哲学所要求的科学知识。波义耳 关于空气物理学的实验，特别是使用气泵将大部分空气从玻璃室中抽出的实验，使他能够用空气的重量和弹性来解释一系列现象，例如抽空室内外气压计的行为。他甚至能够提出一个以他的名字命名的、将固定质量气体的压力和体积联系起来的定律版本。但从机械哲学的角度来看，他的解释并非“科学解释”，因为它们不是最终的。诉诸于重量和弹性是不可接受的，除非这些属性本身已经用微粒机制进行了解释。不言而喻，波义耳 未能满足这一要求。最终，人们开始认识到波义耳的实验科学所寻求的解释既有用又可实现。相比之下，严格意义上的机械解释则被认为是无法实现的。实际上，到了17世纪末，物理学放弃了对最终解释的追求。那个目标被视为乌托邦式的，尤其是在与实验科学的成就进行对比时。

因此，总的来说，构成特定时期科学的目标、方法、标准、理论和观察事实网络中的任何部分都可以逐步改变，而网络的其余部分将提供一个背景，以此为基础来为改变进行论证。然而，试图一次性改变网络中的所有内容当然是不可能的，因为那样就没有立足之地来做出这样的论证了。因此，如果科学的典型特征是竞争的科学家们从各自的范式角度看待一切都不同，并且生活在完全不同的世界以至于没有任何共同点，那么确实不可能以客观的方式捕捉到科学进步的意义。但无论是在科学及其历史中，还是在其他任何地方，都没有符合这种漫画式描述的情况。我们不需要一个普适的、非历史性的科学方法论来对科学进步进行客观的描述，而且，对方法如何变得更好的客观描述是可能的。

**轻松一下**

我可以想象约翰·沃拉尔和那些反对相对主义、捍卫普适方法论的志同道合者，会如何回应我之前提出的观点。他们会以我举的伽利略例子为例，说虽然它确实说明了标准的改变，但其中隐含着对更高、更普遍标准的诉求。例如，伽利略和他的对手们都要求他们对行星轨道做出的解释必须有适当的经验证据支持。我的批评者可能会说，一旦我们明确了这些普遍假设，那么正是这些假设构成了普适方法论，而正是它们构成了评判伽利略所带来的变革是否进步的背景。我能听到他们说，如果没有这个背景，你就无法论证这种改变是进步的。

我在这里做一个让步。假设我们确实尝试制定一些普遍原则，这些原则可以被任何从亚里士多德到史蒂芬·霍金的科学支持者所遵守。假设结果是类似“认真对待论证和现有证据，不要追求超出现有方法能力范围的知识或证实水平”这样的东西。我们姑且称之为常识版 科学方法论。我承认，在常识层面存在一个普适方法论。

但请允许我立即试图消除约翰·沃拉尔及其盟友可能因我这一让步而产生的任何得意感。首先，我要指出，常识版 普适方法论如果正确且足够，那么它会让包括他们在内以及我自己都无事可做，因为它根本不是需要专业哲学家来制定、理解或捍卫的东西。更严肃地说，我要指出，一旦我们进一步深入探讨这个问题，并要求提供更多细节，例如什么算作证据和证实，以及究竟哪种主张可以被捍卫以及如何捍卫，那么这些细节就会因科学而异，并因历史背景而异。

制定常识方法论可能不足以让科学哲学家们维持生计。然而，我确实认为，对它的理解足以抵制一些当代科学研究中的趋势。我指的是那些轻视或否认科学知识应享有特殊地位的社会学家和后现代主义者（我们姑且称他们为“拉平派”）。他们认为，建立科学知识的信誉必然涉及科学家和科学家群体的利益，比如财务或社会地位、职业利益等等，这与其他社会任务没什么两样。对此，我提出一个常识性的区别：例如，提高对化学品如何结合的知识的目标，与提高专业化学家社会地位的目标是不同的。我甚至可以走得更远，如果有些学术运动公然违背这种常识，那么拥有这种常识的人就应该要求停止资助这些运动。

值得注意的是，传统的科学哲学家们自己也促成了一种局面，为“拉平派”的出现打开了空间。正是他们曾假设，只有借助某种经过哲学阐述的普适方法论，才能区分科学与其他类型的知识。因此，当这些尝试失败时（正如本书前几章所展示的那样），“拉平派”似乎就有机可乘了。迈克尔·马尔凯（Michael Mulkay, 1979）——可以肯定，他是一个最谦虚的“拉平派”之一——只是许多可能例子中的一个，他得出的结论是，由于他所称的“标准观点”的失败，对科学进行社会学分类 变得必要了。

这就把我们带到了大约十五年前科学哲学界争论的焦点。我们不能就此打住，因为从那时起，有两个重要的运动发展起来，值得关注。其中一个运动试图通过改编一种概率论来发展一个普适方法论。我们将在下一章探讨它。第二个运动试图通过仔细审视实验及其所涉及的内容，来对抗它所认为的、长期以来占据主导地位的“理论主导型”科学观的过度之处。这种方法将在第13章中讨论。

**拓展阅读**

* 我在《科学及其建构》（Chalmers, 1990年，第2章）中更详细地阐述了反对普适方法论的观点。而《伽利略对金星和火星的望远镜观测》（Chalmers, 1985年）和《费耶阿本德所忽视的伽利略》（Chalmers, 1986年）则包含了对费耶阿本德关于伽利略案例研究的批判与改进。
* 劳丹（Laudan, 1977年和1984年）试图寻找一种介于普适方法论和无政府主义之间的中间道路，这与我的观点有所不同。
* 关于我与波义耳 工作相关的论证，更多细节可以在《波义耳机械哲学的非卓越性》（Chalmers, 1993年）和《科学中的最终解释》（Chalmers, 1995年）中找到。

**第12章**

**贝叶斯方法**

**引言**

我们中的许多人对哈雷彗星最近一次回归的预测充满信心，以至于提前很长时间预订了远离城市灯光的乡村周末，以便观察它。事实证明，我们的信心并非空穴来风。科学家们对他们理论的可靠性也足够自信，敢于将载人航天器送入太空。当其中一艘飞船出现问题时，我们对科学家们在计算机的帮助下，能够迅速计算出如何利用剩余的火箭燃料，以恰到好处的方式点火，让飞船进入能够返回地球的轨道，感到印象深刻，但可能并不惊讶。

这些事例表明，从波普尔到费耶阿本德，我们故事中迄今为止的哲学家们所强调的“理论是可错的”这一观点，也许 是放错了地方或被夸大了。波普尔“所有科学理论的概率为零”的主张能与这些事例相协调吗？在这方面值得强调的是，在我的两个故事中，科学家们所使用的理论都是牛顿理论。而根据波普尔（以及大多数其他理论）的观点，牛顿理论在20世纪初就已经在多个方面被证伪了。这无疑表明，某些地方出了严重的问题。

有一群哲学家确实认为出了根本性的问题，他们试图纠正这一问题的方法在过去几十年里变得很受欢迎，这就是贝叶斯派。他们之所以被称为贝叶斯派，是因为他们的观点基于18世纪数学家托马斯·贝叶斯证明的一个概率论定理。贝叶斯派认为，将一个被充分证实的理论的概率归零是不恰当的，他们寻求一种归纳推理，能够为这些理论得出 非0 的概率，同时避免第4章中描述的那类困难。例如，他们希望能够解释如何以及为何在计算哈雷彗星或航天器轨道时，可以赋予牛顿理论一个高概率。本章将对他们的观点进行概述和批判性评估。

**贝叶斯定理**

贝叶斯定理是关于条件概率的，即那些依赖于（因此以之为条件）作用于命题上的证据的概率。例如，一个赌马者为赛马中的每匹马设定的概率，将取决于他对每匹马 过去表现的了解。此外，当他到达赛马场时，发现其中一匹马严重出汗，看起来病恹恹的，他就会根据这个新证据来改变那些概率。贝叶斯定理是一个规定了在有新证据时，如何改变概率的定理。

在科学的背景下，问题是在证据面前如何为理论或假说赋予概率。令P(h|e)表示在证据e下的假说h的概率，P(e|h)表示在假说h正确的前提下证据e的概率，P(h)表示在不知道e的情况下赋予h的概率，而P(e)表示在不假设h为真的情况下赋予e的概率。那么，贝叶斯定理可以写成：

P(h)被称为先验概率（prior probability），因为它是在考虑证据e之前赋予假说的概率，而P(h|e) 被称为后验概率（posterior probability），即在考虑证据e之后所得的概率。因此，这个公式告诉我们，在有特定证据的情况下，如何将一个假说的概率改变为一个新的、修正后的概率。

该公式表明，在有证据e的情况下，先验概率P(h)需要通过一个缩放因子P(e|h)/P(e)来进行改变。这很容易看出是如何与我们的直觉相符的。因子P(e|h)是衡量在h成立的情况下，e有多大可能性的一个量度。如果e可以从h推导出来，它的值将为最大值1；如果e的否定可以从h推导出来，它的值将为最小值0。（概率的值总是在1和0之间，1代表确定性，0代表不可能性。）某些证据支持一个假说的程度，与该假说预测该证据的程度成正比，这看起来是相当合理的。

缩放因子的分母项P(e)，是衡量在不假设假说h为真的情况下，证据e被认为是多大可能性的一个量度。因此，如果某个证据无论我们是否假设某个假说都极有可能出现，那么当这个证据被证实后，该假说并不会得到显著的支持。反之，如果除非假设该假说成立，否则这个证据被认为极不可能出现，那么当该证据被证实后，该假说将得到高度证实。例如，如果某个新的万有引力理论预测重物会落到地面，那么通过观察一块石头下落并不会显著证实这个理论，因为无论如何我们都预期石头会下落。另一方面，如果这个新理论预测重力会随温度发生微小变化，那么如果这个效应被发现，该理论将得到高度证实，因为在没有这个新理论的情况下，这个效应被认为是最不可能的。

贝叶斯科学理论的一个重要方面是，先验和后验概率的计算总是在一系列被视为理所当然的背景假设下进行的，也就是波普尔所称的背景知识。因此，例如，在上一段中，当提到如果e可以从h推导出来，P(e|h)取值为1时，我们理所当然地认为h是与现有的背景知识结合在一起的。我们在前几章中已经看到，理论需要通过适当的辅助假设来增强，然后才能得出可检验的预测。贝叶斯派也考虑到了这些。在整个讨论中，我们都假设概率是在一个假设知识的背景下 计算的。

澄清贝叶斯定理在何种意义上确实是一个定理是很重要的。虽然我们在此不讨论细节，但我们注意到，关于概率本质的一些基本假设，共同构成了所谓的概率演算。这些假设被贝叶斯派和非贝叶斯派所共同接受。可以证明，否定它们会导致一系列不良后果。例如，可以证明，一个违反概率演算的赌博系统是“不理性的”，因为它使得在游戏、比赛或其他任何结果上押注的方式，总是让赌注交易中的某一方无论结果如何都会赢。（允许这种可能性的赔率系统被称为“荷兰赌局”（Dutch Books）。它们违反了概率演算。）贝叶斯定理可以从构成概率演算的前提中推导出来。从这个意义上说，定理本身是无可争议的。

到目前为止，我们已经介绍了贝叶斯定理，并试图说明它规定了在有证据的情况下如何改变假说概率的方式，这捕捉了关于证据对理论影响的一些直接直觉。现在我们必须更深入地探讨所涉及的概率的解释问题。

**主观贝叶斯主义**

贝叶斯派在所涉及的概率本质这一根本问题上存在分歧。其中一方是“客观”贝叶斯派。在他们看来，概率代表了理性主体在客观情况下应该认同的概率。让我通过一个赛马的例子来阐明他们立场的要旨。假设我们面对一份赛马选手的名单，并且对这些马一无所知。那么，有人可能会争辩说，基于某种“无差别原则”（principle of indifference），唯一理性的为每匹马获胜可能性分配概率的方式，就是将概率在所有选手中平均分配。一旦我们有了这些“客观”的先验概率作为起点，贝叶斯定理就会规定如何根据任何证据来修改概率，因此所得到的后验概率也是理性主体应该接受的。

这种方法存在一个主要且臭名昭著的问题，至少在科学领域是这样：如何为假说分配客观的先验概率。似乎有必要列出某个领域内所有可能的假说，然后在它们之间分配概率，也许可以利用无差别原则为每个假说分配相同的概率。但是，这个列表从何而来？人们很可能会认为，任何领域中可能的假说数量是无限的，这将导致每个假说的概率为零，贝叶斯派的游戏就无法开始了。所有理论的概率都为零，波普尔取得了胜利。如何才能得到一个包含有限假说，从而能够进行 客观 非0 先验概率分配的列表呢？我个人的观点是，这个问题是无法克服的，而且我从当前的文献中也得到了这样的印象，即大多数贝叶斯派自己也开始认同这个观点。因此，让我们转向“主观”贝叶斯主义。

对于主观贝叶斯派来说，贝叶斯定理所处理的概率代表了主观的信念程度。他们认为，可以以此为基础发展出一种对概率论的自洽解释，并且，这种解释可以完全公平地对待科学。他们理论的部分基本原理可以通过我在此章开篇段落中引用的例子来理解。主观贝叶斯派认为，无论将所有假说和理论的概率归零的论点有多么强有力，一个显而易见的事实是，无论是普通大众还是特别是科学家，都不会将那些被充分证实的理论的概率归零。至少在我预订去山区观察哈雷彗星的旅行这件事上，他们说的是对的。在他们的工作中，科学家们将许多定律视为理所当然。天文学家毫无疑问地使用光的折射定律，以及航天项目相关人员使用牛顿定律，都表明他们赋予这些定律的概率即便不等于1，也接近于1。主观贝叶斯派 简单地将科学家们实际拥有的对假说的信念程度，作为他们贝叶斯 计算中先验概率的基础。通过这种方式，他们避免了波普尔关于所有普遍假说的概率必须为零的严格限制。

贝叶斯主义在赌博领域中非常说得通。我们已经注意到，遵循概率演算（贝叶斯定理可以从中 被证明）是避免荷兰赌局（Dutch Books）的一个充分条件。贝叶斯派将科学与赌博系统进行紧密类比，从而利用了这一点。科学家对某个假说的信念程度，类似于一个赌徒认为某匹马赢得比赛的公平赔率。这里可能存在一个需要解决的歧义来源。如果我们坚持与赛马的类比，那么赌徒认为公平的赔率可以指他们的私人主观信念程度，或者指他们在投注行为中实际表达的信念。这两者不一定相同。赌徒可能会因为在赛马场上感到慌乱 或在他们所信奉的赔率系统需要下大注时失去勇气，而偏离他们所相信的赔率。并非所有贝叶斯派在将贝叶斯演算应用于科学时都做出同样的选择。例如，乔恩·多林（Jon Dorling, 1979）认为概率衡量的是科学实践中反映出的内容，而豪森和乌尔巴赫（Howson and Urbach, 1993）则认为它们衡量的是主观信念程度。前者的难点在于，我们不知道科学实践中的什么内容对应于投注行为。而像豪森和乌尔巴赫那样，将概率等同于主观信念程度，至少有一个好处，就是能清楚地说明概率所指代的对象。

对于那些寻求科学客观解释的人来说，试图用科学家的主观信念来理解科学和科学推理，似乎是一个令人失望的偏离。豪森和乌尔巴赫对此指控有自己的答案。他们坚持认为，贝叶斯理论构成了科学推理的客观理论。也就是说，给定一组先验概率和一些新证据，贝叶斯定理以一种客观的方式规定了在这些证据下新的后验概率必须是什么。在这方面，贝叶斯主义和演绎逻辑（deductive logic）没有区别，因为逻辑也对构成演绎前提的命题来源没有任何看法。它只是规定了一旦这些命题被给定，会得出什么结论。

贝叶斯派的辩护可以更进一步。他们可以争辩说，个体科学家的信念，无论一开始有多么不同，在有了适当的证据输入后，都可以趋于一致。我们可以用一种非正式的方式来理解这是如何发生的。假设两位科学家一开始对假说h的可能真实性存在巨大分歧，而这个假说h预测了一个否则意料之外的实验结果e。那位对h赋予高概率的科学家会认为e的可能性比那位赋予 低概率的科学家要高。因此，前者P(e)会很高，而后者P(e)会很低。现在假设e在实验中得到了证实。每位科学家都必须用因子P(e|h)/P(e)来调整h的概率。然而，由于我们假设e可以从h推导出来，P(e|h)为1，因此缩放因子就是1/P(e)。结果，那位一开始对h赋予 低概率的科学家将以一个比那位一开始对h赋予高概率的科学家更大的因子来放大该概率。随着更多积极证据的出现，最初的怀疑者被迫以一种方式放大概率，使其最终接近于那位已经信服的科学家的概率。贝叶斯派认为，通过这种方式，尽管主观观点大相径庭，但它们可以以一种客观的方式在证据面前达成一致。

**贝叶斯公式的应用**

前一段已经强烈地预示了贝叶斯派希望如何捕捉和认可科学中典型的推理模式。在本节中，我们将更多地了解贝叶斯主义在实践中的一些例子。

在前面的章节中，曾指出在用实验检验理论时存在边际效益递减规律。一个理论在第一次实验中得到证实后，科学家们不会认为在相同环境下重复相同的实验能像第一次那样高度地证实该理论。这在贝叶斯派 看来是很容易解释的。如果理论 T 预测了实验结果 E，那么概率 P(E|T) 为1，因此理论 T 的概率在获得阳性结果 E 后，增加的倍数为1/P(E)。每一次实验成功，科学家对下一次实验成功的期望就会更高。也就是说，P(E) 将会增加。因此，理论正确的概率在每一次重复时增加的幅度都会更小。

结合历史案例，贝叶斯方法还有其他一些优点。事实上，我认为 贝士 派与科学历史案例的结合，是近年来其方法论日益受欢迎的一个关键原因，这一趋势始于乔恩·多林（Jon Dorling, 1979）。在我们讨论拉卡托斯方法论时，我们注意到根据该方法论，重要的是对一个研究纲领的证实，而不是明显的证伪，因为证伪可以归咎于“保护带”中的假设，而不是“硬核”。贝叶斯派声称能够捕捉到这一策略的内在原理。让我们看看他们是如何做到的，通过一个由豪森和乌尔巴赫（Howson and Urbach, 1993, pp. 136-42）使用的历史案例。

这个例子与威廉·普劳特在1815年提出的一个假说有关。普劳特受以下事实的影响：相对于氢原子的原子量，化学元素的原子量通常接近整数，他推测元素的原子是由整数个氢原子组成的。也就是说，普劳特将氢原子视为基本的构成单元。这里的问题是，当发现氯的原子量相对于氢（根据1815年的测量）是35.83，即不是一个整数时，普劳特和他的追随者们的理性反应是什么。贝叶斯派的策略是，分配反映普劳特及其追随者可能赋予其理论以及相关背景知识的先验概率，然后使用贝叶斯定理来计算当发现有问题的证据，即 氯原子量的非整数值时，这些概率如何变化。豪森和乌尔巴赫试图证明，当这样做时，普劳特假说的概率只会略微下降，而相关测量准确性的概率则会急剧下降。鉴于此，普劳特保留他的假说（硬核）并将问题归咎于测量过程的某个方面（保护带），似乎是相当合理的。这似乎为拉卡托斯方法论中那些缺乏任何基础的“方法论决策”提供了一个清晰的理论依据。更重要的是，豪森和乌尔巴赫（他们在此遵循了多林的思路）似乎为所谓的“迪昂-蒯因问题”（Duhem-Quine problem）提供了一个普遍的解决方案。面对一个由假设构成的网络因明显证伪而需要归咎于哪一部分的问题，贝叶斯派的答案是：输入适当的先验概率并计算后验概率。这将显示哪些假设的概率急剧下降，从而决定为了最大化未来成功的机会，应该放弃哪些假设。

我不会详细介绍普劳特案例中或其他贝叶斯派给出的例子中的计算细节，但我会给出足够多的内容，至少让你了解他们进行的方式。普劳特的假说 h 以及证据 e（氯的非整数原子量）对它的概率的影响，需要在现有的背景知识 a 的背景下进行判断。背景知识中最相关的方面是对现有原子量测量技术和所涉及化学品纯度的高度信任。需要对 h、a 和 e 的先验概率进行估算。豪森和乌尔巴赫认为 P(h) 的值为0.9，他们是根据历史证据来估算的，因为普劳特的追随者们对他们的假说非常信服。他们将 P(a) 设得稍低，为0.6，理由是化学家们意识到杂质问题，而且不同测量方法对特定元素原子量的结果存在差异。P(e) 的概率是基于h的替代方案是原子量的随机分布的假设来评估的。因此，例如，P(e|非 h & a) 被赋予0.01的概率，理由是，如果氯的原子量在一个单位区间内随机分布，那么它是35.83而不是35.82、35.61或35.00到36. 00之间任何一百种可能性之一的概率只有百分之一。将这些概率估算以及一些其他类似的估算输入贝叶斯定理，可以得出 h 和 a 的后验概率 P(h|e) 和 P(a|e) 。结果分别是前者的0.878和后者的0. 073。请注意，h（普劳特的假说）的概率只从最初的0.9略微下降，而 a（测量可靠性）的概率则从0.6急剧下降到0. 073。豪森和乌尔巴赫总结道，普劳特派的合理反应是保留他们的假说并怀疑测量结果。他们指出，只要这些数值的量级能够反映历史文献中普劳特派的态度，那么它们的绝对值对计算结果并没有太大影响。

贝叶斯方法可以用来批判一些关于特设假说（ad hoc hypotheses）不受欢迎的标准解释以及相关问题。在本书的早些时候，我遵循波普尔的观点，提出特设假说之所以不受欢迎，是因为它们不能独立于导致其形成的证据进行检验。一个相关的观点是，用于构建理论的证据不能再次用作支持该理论的证据。从贝叶斯派的角度看，尽管这些观念有时会就证据对理论的证实程度给出恰当的答案，但它们也会出错，而且，它们背后的基本原理是错误的。贝叶斯派试图通过以下方式做得更好。

贝叶斯派 同意一个广为接受的观点，即一个理论由多种不同类型的证据证实要好于由特定类型的证据证实。有一个直接的贝叶斯原理可以解释为什么会这样。关键在于，用单一类型的证据来证实一个理论的努力会产生边际效益递减。这是因为，每一次该理论被那种类型的证据证实后，表达未来它也会被证实这一信念程度的概率就会逐渐增加。相比之下，一个理论被某种新类型证据证实的先验概率可能相当低。在这种情况下，一旦这种证实发生，将其结果输入贝叶斯公式就会导致赋予该理论的概率显著增加。因此，独立证据的重要性是不容置疑的。

然而，豪森和乌尔巴赫主张，从贝叶斯派的角度看，如果假说被当作特设假说而予以否定，缺乏独立可检验性并不是正确的理由。此外，他们否认用于构建理论的数据不能用于证实它。

试图通过要求独立可检验性来排除特设假说的主要困难在于它过于薄弱，并且以一种至少与我们的直觉相冲突的方式接纳了某些假说。例如，让我们考虑伽利略的对手试图保留他关于月球是球形的假设，即使面对伽利略对其卫星和环形山的观测，他提出了一个透明、晶体物质包裹可观测月球的假说。这个调整不能被独立可检验性标准排除，因为它确实是可独立检验的，这可以通过以下事实得到证明：在各种登月过程中，没有遇到任何这种晶体球体的干扰，这一假说已经被驳斥。格雷格·班福德（Greg Bamford, 1993）对波普尔传统中哲学家们试图定义“特设性”概念的各种尝试提出了这一问题以及一系列其他困难，并认为他们试图为一个实际上不过是常识性概念的东西定义一个技术性概念。尽管班福德的批判并非来自贝叶斯派的观点，但豪森和乌尔巴赫的回应是类似的，他们的观点是，特设假说被拒绝仅仅是因为它们被认为不可信，并因此被赋予了较低的概率。假设一个理论t遇到了问题，并被一些有问题的证据所困扰，然后通过添加一个假设a进行修改，从而 新理论t'是（t & a）。那么根据概率论的一个直接结果，P(t & a)不可能大于 P(a)。因此，从贝士派的角度看，修改后的理论被赋予 低概率仅仅是因为P(a)不太可能。伽利略对手的理论之所以被拒绝，是因为他的建议是不可信的。仅此而已，没有其他需要了。

现在让我们转向用数据来构建理论，以及否认该数据可以被视为支持它的情况。豪森和乌尔巴赫（1993年，第154-157页）提出了反例。考虑一个装有筹码的瓮，并想象我们最初假设所有筹码都是白色的，没有彩色的。现在我们进行1000次抽取，每次抽取后放回筹码并摇动瓮，结果是495个筹码是白色的。我们现在调整我们的假说，认为瓮中白色和彩色筹码的数量相等。这个经过调整的假说是否得到了用于得出这个修正的、数量相等的假说的证据的支持？豪森和乌尔巴赫认为这是合理的，并从贝叶斯派的角度解释了原因。导致“数量相等假说”的概率因该实验结果（抽到495个白色筹码）而增加的关键因素，是如果“数量相等假说”是错误的，抽到这个数字的概率有多小。一旦大家同意这个概率很小，那么该实验证实“数量相等假说”的结果就直接从贝叶斯演算中得出了，即使这些数据被用于构建假说。

对贝叶斯方法论有一个标准的批判，它确实打击了其中一些版本，但我认为豪森和乌尔巴赫所捍卫的版本可以反驳它。要使用贝叶斯定理，必须能够评估 P(e)，即正在考虑的某个证据的先验概率。在考虑假说h的背景下，将 P(e) 写成 P(e|h) \* P(h) + P(e|非 h) \* P(非 h) 是很方便的，这是一个概率论中的直接恒等式。贝叶斯派 需要能够估算在假说为真的情况下证据的概率（如果证据可以从假说推导出来，这个概率可能是1），但也要估算在假说为假的情况下证据的概率。正是后一个因素是问题所在。似乎有必要根据h之外的所有假说来估算证据的可能性。这被认为是一个主要的障碍，因为没有哪个特定的科学家能够知道h的所有可能替代方案，特别是如果像一些人所建议的那样，这必须包括所有尚未被发明的假说。

豪森和乌尔巴赫的反驳是坚持认为，他们贝叶斯演算中的概率代表的是个人概率（personal probabilities），即个体实际赋予各种命题的概率。在h的替代方案下，某个证据为真的概率值将由科学家根据他碰巧所知道的来决定（这当然会排除尚未被发明的假说）。因此，例如，在处理普劳特案例时，豪森和乌尔巴赫将普劳特假说的唯一替代方案视为原子量是随机分布的假说，这是基于普劳特派相信这是替代方案的历史证据。正是他们对主观概率的彻底转向，使得豪森和乌尔巴赫能够避免这里提出的特定问题。

在我对贝叶斯科学分析元素的描绘中，我主要集中在豪森和乌尔巴赫概述的立场上，因为在我看来，这是最没有不一致之处的版本。由于他们将概率解释为科学家们实际持有的信念程度，他们的系统能够为理论和假说赋予 非0概率，它精确地解释了如何在证据面前修改概率，并且它能够为许多人认为是科学方法关键特征的东西提供理论依据。豪森和乌尔巴赫用历史案例研究来充实他们的系统。

**对主观贝叶斯主义的批判**

正如我们所看到的，主观贝叶斯主义（即将概率始终理解为科学家实际持有的信念程度）的优势在于它能够避开困扰其他寻求某种客观概率的贝叶斯观点的许多问题。然而，对许多人来说，拥抱主观概率的代价太高，以至于无法享受为理论赋予概率的奢侈。一旦我们将概率视为像豪森和乌尔巴赫等人所主张的那样，是主观信念的程度，那么就会出现一系列不幸的后果。

贝叶斯演算被描绘成一种客观的推理模式，用于在给定证据的情况下，将先验概率转化为后验概率。一旦我们这样看待事物，那么科学中任何分歧（无论是在竞争的研究纲领、范式或其他什么之间）——这反映在科学家的（后验）信念中——其根源必然在于科学家们所持有的先验概率，因为证据被认为是给定的，而推理被认为是客观的。但是，先验概率本身完全是主观的，不受批判性分析的影响。它们仅仅反映了每个个体科学家碰巧所拥有的不同信念程度。因此，我们这些对竞争理论的相对优点以及科学可以说进步的意义提出问题的人，将无法从主观 贝叶斯派那里得到答案，除非我们满足于一个仅仅提及个体科学家碰巧 一开始就拥有的信念的答案。

如果主观贝叶斯主义是理解科学及其历史的关键，那么为了获得这种理解，我们需要获取的最重要的信息来源之一就是科学家们实际持有或曾经持有的信念程度。（另一个信息来源是证据，我们将在后面讨论。）因此，例如，要理解光学的波动理论为何优于粒子理论，就需要了解弗雷内尔和泊松等人在19世纪30年代初参与辩论时所持有的信念程度。这里存在两个问题。一个是如何获取对这些私人信念的知识。（请记住，豪森和乌尔巴赫区分了私人信念和行为，并坚持他们的理论只处理前者，所以我们不能从科学家的行为甚至著作中推断出他们的信念。）第二个问题是，认为我们需要获取这些私人信念才能理解光学的波动理论比其前身有所改进的意义，这种想法是站不住脚的。

当我们关注现代科学的复杂性以及它所涉及的合作程度时，这个问题变得更加严重。（回想一下我在第8章中将它与建造大教堂的工人进行的比较。）彼得·加利森（Peter Galison, 1997）对当前基础粒子物理学工作 性质的描述提供了一个极端而有说服力的例子。在这个领域，非常深奥的数学理论通过涉及复杂计算机技术和仪器的实验工作来应用于现实世界，并且需要最先进的工程技术来操作。在这种情况下，没有一个人能掌握这项复杂工作的所有方面。理论物理学家、计算机程序员、机械工程师和实验物理学家都有各自独立的技能，这些技能被应用于一个协作性的事业。如果这项事业的进步性要通过关注信念程度来理解，那么我们应该选择谁的信念程度，以及为什么？

在豪森和乌尔巴赫的分析中，信念程度对先验概率的依赖程度是另一个问题的根源。似乎只要一个科学家一开始就对自己的理论有足够强烈的信念（在主观贝叶斯主义中，没有什么可以阻止信念达到你想要的强度），那么这种信念就无法被任何相反的证据所动摇，无论证据多么强烈或广泛。

这一点实际上在普劳特的研究中得到了印证，而这正是豪森和乌尔巴赫用来支持他们立场的案例。回想一下，在那项研究中，我们假设普劳特派一开始对他们的理论——原子量是氢原子量的整数倍——的先验概率为0.9，而对原子量测量结果是实际原子量合理反映的假设的先验概率为0.6。根据氯的35.83值计算出的后验概率是：普劳特理论为0.878，而实验可靠性的假设为0.073。所以普劳特派坚持他们的理论并拒绝证据是正确的。我在这里指出，普劳特假说最初的动机是，除了氯之外的一系列原子量都是接近整数的，而这些测量所使用的技术，正是普劳特派后来认为不可靠到值得赋予0.073的低概率！这难道不表明，如果科学家们一开始就足够教条，他们就可以抵消任何不利的证据吗？如果确实如此，那么主观贝叶斯派就没有办法将这种行为认定为糟糕的科学实践。先验概率无法被评判。它们必须被简单地视为给定的。正如豪森和乌尔巴赫（1993年，第418页）所观察到的，“先验分布是如何确定的，这根本不在[他们的]理论范围之内”。

贝叶斯派似乎对波普尔“所有理论的概率必须为零”的主张有所反击，因为他们将概率等同于科学家们实际碰巧拥有的信念程度。然而，贝叶斯派的立场并没有那么简单。因为贝叶斯派有必要赋予 反 事实 的概率，因此这些概率不能简单地等同于实际持有的信念程度。让我们以过去的证据如何算作一个理论的证据这一问题为例。鉴于对水星轨道的观测比爱因斯坦的广义相对论早了几十年，那么这些观测如何能够被视为对爱因斯坦理论的证实呢？为了根据这些证据计算爱因斯坦理论的概率，主观 贝叶斯派 被要求，除其他事项外，提供一个衡量标准，即一个爱因斯坦的支持者在不知道爱因斯坦理论的情况下，会赋予水星轨道以其方式进动的概率。这个概率不是衡量科学家实际拥有的信念程度，而是衡量他们如果不知道他们实际上知道的东西，本应拥有的信念程度。这些信念程度的地位，以及如何评估它们的问题，毫不夸张地说，构成了严重的问题。

现在让我们转向主观贝叶斯主义中“证据”的性质。我们一直将证据视为给定的东西，它被输入贝叶斯定理以将先验概率转换为后验概率。然而，正如本书前面章节的讨论应该已经明确的那样，科学中的证据远非那么直接地被给定。豪森和乌尔巴赫（1993年，第406-407页）的立场是明确的，并且与他们的整体方法完全一致。

我们提出的贝叶斯理论是从数据进行推理的理论；我们没有说接受数据是否正确，甚至没有说你对数据的承诺是绝对的。它可能不是，而你将你实际拥有的信心寄托于其中可能是愚蠢的。贝叶斯支持理论是关于接受某个证据性陈述为真，如何影响你对某个假说的信念的理论。你如何接受证据为真，以及你接受它为真 是否正确，从理论的角度来看，这些都是无关紧要的。

对于那些声称在写一本关于科学推理的书的人来说，这难道不是一个完全不可接受的立场吗？因为我们难道不是在寻求一个关于在科学中什么才算是恰当证据的解释吗？当然，一个科学家在回应某个证据主张时，不会问 提出主张的科学家他或她对此有多大的信念，而是会寻求关于产生该证据的实验性质、采取了什么预防措施、如何估算误差等信息。一个好的科学方法论理论肯定需要解释在什么情况下证据可以被认为是充分的，并且能够精确指出科学中的实证工作应该达到什么标准。当然，实验科学家有许多方法来拒绝粗制滥造的工作，而且他们并不是通过诉诸主观信念的程度。

特别是当他们回应批评时，豪森和乌尔巴赫强调，需要输入贝叶斯定理的先验概率和证据都是主观信念的程度，而主观 贝叶斯派 对此无话可说。但是，他们剩下的立场在多大程度上还能被称为科学方法论理论呢？剩下的仅仅是概率演算的一个定理。假设我们向豪森和乌尔巴赫承认，这个定理，按照他们的解释，确实是一个具有类似演绎逻辑地位的定理。那么这个慷慨的让步反而凸显了他们立场的局限性。他们的科学方法论理论对科学的解释，就像“科学遵守演绎逻辑的规定”这个观察对科学的解释一样，并没有提供更多信息。绝大多数科学哲学家，至少是绝大多数，都会毫不犹豫地接受科学将演绎逻辑视为理所当然，但他们更希望被告知更多。

**拓展阅读**

* 多林的论文（Dorling, 1979）是一篇极具影响力的文章，它将主观贝叶斯主义推向了现代趋势，而豪森和乌尔巴赫的著作（Howson and Urbach, 1993）则是对此毫不掩饰且有力的支持。
* 霍维奇（Horwich, 1982）也试图用主观概率来理解科学。
* 罗森克兰茨（Rosenkrantz, 1977）则尝试发展一种涉及客观概率的贝叶斯科学观。
* 厄曼（Earman, 1992）对贝叶斯研究纲领进行了批判性 但技术性很强的辩护。
* 梅奥（Mayo, 1996）的书中则包含了对贝叶斯主义的持续性批判。

**第13章**

**新实验主义**

**引言**

如果我们认为对科学推理的贝叶斯解释是失败的，那么我们仍然没有提供多少关于科学知识独特性的特征描述。波普尔通过强调观察的理论依赖性以及理论总是超越证据（因此永远无法从证据中推导出来）的程度，对实证主义和归纳主义提出了挑战。波普尔的科学观基于一个理念：最好的理论是那些经受住最严峻考验的理论。然而，他的观点无法明确指导我们，当一次检验失败时，应该归咎于理论本身还是背景知识的某个元素，也无法对那些碰巧经受住了考验的理论给出足够积极的评价。

我们随后讨论的尝试都将理论依赖性的思想推得比波普尔更远。拉卡托斯引入了研究纲领，并认为它们的保留或放弃是根据约定俗成的决定，例如，决定将明显的证伪归咎于辅助假设而不是硬核原则。然而，他无法为这些决定提供依据，而且无论如何，这些依据都太弱，无法明确何时应该放弃一个研究纲领而转向另一个。库恩引入了范式，而不是研究纲领，从而在科学中引入了一种比波普尔的理论依赖性更深远的范式依赖性，以至于库恩在回答“一个范式在何种意义上可以被说成是比它所取代的范式有所改进”这个问题时，比拉卡托斯处境更糟。费耶阿本德则可以被视为将理论依赖性运动推向了极端，完全放弃了科学特殊方法和标准的理念，并与库恩一同将相互竞争的理论描绘为不可通约的。贝叶斯派也可以被视为我所称的理论依赖性传统的一部分。对他们来说，那些影响对科学理论优劣判断的背景理论假设，是通过先验概率引入的。

对于一群哲学家来说，困扰当代科学哲学的一系列问题，可以通过从根源上解决激进的理论依赖性来应对。尽管他们不想回到实证主义者“感官为科学提供了无问题的基础”的观念，但他们确实在寻求一个相对安全的科学基础，这个基础不是观察，而是实验。我将追随罗伯特·阿克曼（Robert Ackermann, 1989）的观点，将这一新近趋势称为“新实验主义”（the new experimentalism）。

根据其支持者的说法，用伊恩·哈金（Ian Hacking, 1983, p. vii）的话来说，实验可以拥有一个独立于宏大理论的“自身生命”。他们认为，实验主义者有一系列实用的策略来建立实验效应的实在性，而无需借助宏大理论。此外，如果科学进步被看作是实验知识存量的稳步积累，那么科学中累积性进步的观念就可以被重新确立，并且不会受到涉及宏大理论变革的科学革命论断的威胁。

**有自己生命的实验**

本节我们将以一个历史故事开篇，主要借鉴古丁（Gooding, 1990）的研究。1820年夏末，有关奥斯特发现 “载流导线的磁效应以某种方式在导线周围循环” 的报道传到了英国。法拉第为此展开了实验工作，以阐明这一论断的含义并进一步发展它。在几个月内，他制造出了一个原始的电动机。

一个圆柱形玻璃管用软木塞上下密封。一根穿过顶部软木塞中心的电线伸入圆筒，末端有一个钩子，另一根电线从钩子上垂直悬挂下来。这根电线的下端可以绕着一个从底部软木塞伸入圆筒底部的软铁圆柱的尖端自由旋转。通过底部软木塞上的一池水银，保持着悬挂电线下端与铁芯之间的电接触。要启动这个“电动机”，需要将一根条形磁铁的一极放在从底部软木塞伸出的铁芯末端旁边，同时一根导线通过一个电池将铁芯与从顶部软木塞伸出的电线连接起来。由此产生的电流使得悬挂电线的下端绕着被磁化的铁芯旋转，同时与水银保持接触。法拉第迅速将这个装置的样品连同使用说明一起寄给了他在欧洲的对手们。他向他们指出，可以通过调换电池的连接方向或者调换磁铁的方向来反转旋转方向。

将法拉第的这一成就视为理论依赖和可错的，这有用或恰当吗？

它可以被说成是在一个非常弱的意义上具有理论依赖性。如果法拉第在欧洲大陆的对手们不知道什么是磁铁、水银和电池，他们将无法遵循他的指示。但这仅仅驳斥了极端经验主义的观点，即事实必须通过感官数据直接进入一个除此以外一无所知的大脑来确立。没有人需要否认，一个无法区分磁铁和胡萝卜的人，没有能力理解在电磁学中什么才算是既定事实。但将“理论”这个词用在如此宽泛的意义上，以至于“胡萝卜不是磁铁”也成为一个理论，这无疑是不明智的。

更重要的是，将所有言论都解释为“理论依赖”并不能帮助我们理解像法拉第和安培 之间存在的真正差异。众所周知，法拉第试图用从带电体和磁铁中发出并充满周围空间的“力线”来理解电和磁现象，而欧洲大陆的理论家则认为“电液”存在于绝缘体中并流经导体，流体的元素之间在远处相互作用。这些才是当时有争议的理论，而对法拉第电动机效应的理解并非在需要接受或熟悉某个竞争理论版本的前提下才能完成的“理论依赖”。在当时的电磁学领域，法拉第的电动机构成了一个经实验确立的、与理论无关的效应，所有电磁学理论都必须将其纳入考量。

将法拉第的电动机效应视为 可错 的也无助于理解。诚然，法拉第的电动机有时确实不起作用，可能是因为磁铁太弱，或者电线浸入水银太深，导致水银对旋转产生过大的阻力，或者其他什么原因。因此，“所有符合法拉第描述的实验装置中的电线都会旋转”这句话是错误的。但这仅仅表明，试图用这种普遍性陈述来捕捉法拉第发现的本质是不恰当的。

法拉第发现了一个新的实验效应，并通过制造一个确实能工作的装置来证明了它，并向他的对手们提供了说明，使他们也能制造出能工作的装置。偶尔的失败 既不令人惊讶，也不重要。今天被接受的对法拉第电动机的理论解释与法拉第和安培所提供的解释有显著不同。但事实仍然是，法拉第的电动机通常都能工作。很难理解未来的理论进步如何能得出“电动机不起作用”的结论（尽管它们很可能因 未来发现的其他实验效应而过时）。从这个角度来看，以可控方式产生的实验效应 不是 可错的，它们是永久存在的。更重要的是，如果我们从此类效应的积累来理解科学的进步，那么我们就对科学的增长有了一种独立于理论的理解。

第二个例子进一步支持了这种看待事物的方式。杰德·布赫瓦尔德（Jed Buchwald, 1989）对海因里希·赫兹实验生涯的详细研究表明，赫兹在多大程度上致力于产生新颖的实验效应。他的一些声称并未得到普遍接受。不难理解原因。赫兹是通过赫尔姆霍兹学习电磁学的，并用赫尔姆霍兹的理论框架来看待事物，而这只是当时电磁学的几种理论方法之一（主要替代方案是韦伯和麦克斯韦的理论）。赫兹的实验发现是否构成新颖效应，只有在赫兹 对他的实验所带来的理论解释的精细细节得到理解和捍卫的情况下，才能被理解和捍卫。这些结果是高度理论依赖的，而这，新实验主义者可能会说，正是它们没有被普遍接受为构成新颖效应的原因。

然而，一旦赫兹产生了电磁波，情况就完全不同了。电磁波的存在可以通过一种独立于所信奉的任何宏大理论的方式来证明。赫兹能够以一种可控的方式展示这一新效应。他建立了驻波，并证明小的火花检测器在波的波腹处显示出最大火花，而在波节处没有火花。这绝非易事，结果也不容易重现，正如布赫瓦尔德在尝试时所发现的那样。但我并不是说实验很容易。我只是说，实验证明了一个新实验现象的存在，这一事实可以用一种不依赖于求助于任何一个相互竞争的电磁理论的方式来理解，这一主张得到了所有阵营迅速接受赫兹波这一事实的证实。

因此，可控的实验效应的产生和理解可以独立于高层次理论来完成。同样，新实验主义者可以指出，实验者有一系列策略来确立他们的主张，而这些策略并不涉及诉诸高层次理论。例如，让我们考虑一个实验者如何论证通过一个仪器进行的特定观察是代表了真实事物而不是假象。伊恩·哈金（Ian Hacking, 1983, pp. 186-209）关于显微镜使用的故事很好地说明了这一点。

一个带有标记方格的微型网格被刻在一块玻璃上，然后通过摄影技术缩小到肉眼看不见。通过显微镜观察这个缩小的网格，可以看到完整的、带有标记方格的网格。这已经强烈表明显微镜能够放大，并且放大是可靠的——顺便说一句，这个论证不依赖于显微镜如何工作的理论。现在我们设想一个生物学家正在使用电子显微镜来观察放置在我们网格上的红血小板。（这里哈金正在报道一位科学家向他讲述的真实事件。）细胞内可以观察到一些致密的物体。这位科学家怀疑这些物体是血液中原本存在的，还是仪器造成的假象。（他怀疑是后者。）他记录下网格上哪些有标记的方格包含了这些致密的物体。接着，他通过荧光显微镜观察他的样本。同样的物体再次出现，并且在网格上的位置完全相同。 还有什么可以怀疑所观察到的物体代表的是血液中的实体而不是假象呢？要使这个论证具有说服力，所需要的全部知识就是，这两种显微镜的工作原理完全不同，因此两者都产生相同假象的几率被认为是极不可能的。这个论证不需要对任何一种仪器的工作原理有详细的理论知识。

**黛博拉·梅奥论严苛的实验检验**

黛博拉·梅奥（Deborah Mayo, 1996）是一位科学哲学家，她试图以一种哲学上严谨的方式捕捉新实验主义的内涵。梅奥关注的是通过实验验证主张的详细方式，并致力于确定究竟哪些主张得到了证实，以及是如何证实的。她的核心思想是，一个主张只有在所有可能导致其错误的途径都被调查并排除之后，才能被认为得到了实验的支持。一个主张只有在经过了严苛的实验检验后，才能被认为是得到了证实，而一个对主张的严苛检验，用梅奥的话来说，必须是如果该主张是错误的，它就不太可能通过这项检验。

她的想法可以通过一些简单的例子来解释。假设用一些非常粗糙的实验来检验光的折射定律（斯内尔定律），在这些实验中，入射角和折射角的测量被赋予了非常大的误差范围，并且结果被证明在这些误差范围内与该定律相符。那么，这个定律是否得到了经过严苛检验的实验的支持呢？

从梅奥的角度来看，答案是“不”，因为由于测量的粗糙性，即使折射定律是错误的，而另一个与斯内尔定律相差不大的定律是正确的，它也很有可能通过这项检验。我在教学生涯中进行的一个练习很好地说明了这一点。我的学生们进行了一些不够严谨的实验来检验斯内尔定律。然后，我向他们展示了在斯内尔定律被发现之前，古代和中世纪曾提出的一些替代性折射定律，并邀请学生们用他们用来检验斯内尔定律的测量数据来检验这些定律。由于他们给测量结果赋予了很大的误差范围，所有这些替代性定律都通过了检验。这清楚地表明，这些实验并没有构成对斯内尔定律的严苛检验。即使那个定律是错误的，而其中一个历史上的替代方案是正确的，它也会通过这项检验。

第二个例子进一步阐明了梅奥立场背后的原理。我今天早上喝了两杯咖啡，下午头疼。这是否证实了“我早上的咖啡导致我头痛”这个说法？梅奥的观点解释了为什么答案是“不”。在某个说法被认为经过了严苛检验并得到证实之前，我们必须排除所有可能导致该说法错误的途径。也许我的头痛是由于我昨晚喝了特别烈的越南啤酒，或者我起得太早，或者我发现本节特别难写等等。如果要确立咖啡饮用和头痛之间的因果关系，那么就必须进行对照实验，以排除其他可能的病因。我们必须努力确立那些除非咖啡确实导致头痛，否则极不可能发生的结果。一个实验只有在排除了可能的错误来源后，才构成对一个说法的支持，这样该说法除非是真的，否则就不太可能通过这项检验。这个简单的思想以一种简洁的方式捕捉了关于实验推理的一些共同直觉，并被梅奥进一步扩展，以提供一些新的见解。

让我们考虑所谓的“搭便车悖论”（tacking paradox），我用一个例子来说明它。假设牛顿理论T通过对一颗彗星运动的仔细观察得到了证实，我们采取了措施来排除附近行星引力、地球大气折射等造成的误差。现在，我们通过在牛顿理论上“搭上”一个诸如“绿宝石是绿色的”这样的陈述，来构建一个新理论T'。T'是否也因对彗星的观察而得到证实呢？如果我们认为一个预测p可以证实一个理论，只要p可以从理论中推导出来并被实验证实，那么T'（以及大量类似构建的理论）都将因对彗星的观察而得到证实，这与我们的直觉相悖。因此产生了 “搭便车悖论” 。

然而，从梅奥的角度看，T'并没有被证实，因此“悖论”也随之消解了。鉴于我们关于排除可能错误来源的假设，我们可以说，除非牛顿理论是真的，否则彗星的轨道不太可能符合牛顿的预测。但对于T'来说，情况并非如此，因为如果一些绿宝石是蓝色的（即T'是假的），彗星符合牛顿预测的可能性将完全不受影响。T'没有被相关实验证实，因为那个实验没有探究 “绿宝石是绿色的” 可能为假的各种方式。对彗星的观察可以严苛地检验T，但不能检验T'。

梅奥将这种推理扩展到不那么琐碎的案例。她热衷于通过识别那些超出实验证据所能支持范围的理论结论来控制理论推测。她对爱丁顿检验爱因斯坦关于光在引力场中弯曲的预测的分析说明了这一点。

爱丁顿利用一次日食来观察星星的相对位置，当时来自它们的星光在前往地球的途中经过了太阳附近。他将这些相对位置与今年晚些时候（当星星不再与太阳紧密对齐时）观察到的位置进行了比较。他发现了一个可测量的差异。通过研究日食实验的细节，梅奥能够论证，爱因斯坦的引力定律（它是广义相对论的一个结果）得到了这些实验的证实，但广义相对论本身并没有。让我们看看她是如何做到的。

如果日食实验的结果被认为可以证实广义相对论，那么就必须能够论证，如果广义相对论是错误的，这些结果极不可能发生。我们必须能够排除广义理论与结果之间的错误联系。但在所讨论的案例中无法做到这一点，因为事实上，存在一整类时空理论，爱因斯坦的理论只是其中之一，而所有这些理论都预测了爱因斯坦的引力定律，因此也预测了日食实验的结果。如果这一类理论中除了爱因斯坦理论之外的某个 理论是正确的，而爱因斯坦的理论是错误的，日食实验的结果也会完全相同。因此，这些实验没有构成对爱因斯坦广义理论的严苛检验。它们没有能够区分它与已知的替代方案。声称日食实验支持了爱因斯坦的广义相对论，就是超出实验证据所能支持的范围。

当我们考虑更受限的说法，即日食实验证实了爱因斯坦的引力定律时，情况就不同了。观察结果确实与该定律相符，但在将其作为该定律的证据是合法的之前，我们必须排除这种相符的其他可能原因。只有这样我们才能说，除非爱因斯坦的定律是真的，否则观察到的位移就不会发生。梅奥详细地展示了如何考虑并排除爱因斯坦定律的替代方案，包括源于太阳和被假定有质量的光子之间的平方反比引力定律的牛顿式替代方案。因此，日食实验严苛地检验了爱因斯坦的引力定律，而广义相对论则没有。

新实验主义者普遍关注的是，如何捕捉一个可以独立于高层次理论可靠确立的实验知识领域。梅奥的立场与这一愿望完美契合。从她的角度来看，实验定律可以通过如上所述的严苛检验来得到证实。科学知识的增长则应被理解为此类定律的积累和扩展。

**从错误中学习并触发革命**

实验结果在可以被论证为没有错误，并且如果主张是错误的，结果就不太可能发生的情况下，能够证实一个主张。然而，梅奥对实验错误重要性的关注不止于此。她关注的是精心设计的实验如何使我们能够从错误中学习。从这个角度看，一个能够检测到先前被接受的断言中错误的实验，不仅具有否定功能，也具有肯定功能。也就是说，它不仅证伪了该断言，而且积极地识别出了一种以前未知的效应。梅奥对库恩“常规科学”（normal science）概念的重新阐述，很好地说明了错误检测在科学中扮演的积极角色。

让我们回顾第8章中，波普尔和库恩对“为什么占星术不能被视为科学”这一问题的冲突回答。根据波普尔的说法，占星术不是科学，因为它不可证伪。库恩指出，这个说法是不充分的，因为占星术曾经是（而且现在也是）可证伪的。在16和17世纪，当占星术“受人尊重”时，占星家们确实做出了可检验的预测，其中许多都被证明是错误的。科学理论也做出了被证明是错误的预测。根据库恩的说法，区别在于科学能够建设性地从“证伪”中学习，而占星术不能。对于库恩来说，常规科学中存在着一种解谜传统，这是占星术所缺乏的。科学不仅仅是证伪理论。它还包括如何建设性地克服证伪。从这个角度来看，具有讽刺意味的是，波普尔有时用“我们从错误中学习”这个口号来描述自己的方法，但他的失败恰恰在于，他的负面、证伪主义的解释未能充分、积极地捕捉到科学如何从错误（证伪）中学习的过程。

梅奥在这里支持库恩，并将常规科学等同于实验。让我们看一些错误检测所扮演的积极角色的例子。对天王星轨道问题特征的观察，给牛顿理论结合当时的背景知识带来了难题。但这个问题的积极一面是，错误的根源可以在多大程度上被追溯，最终导致了我们已经描述过的海王星的发现。我们之前提到的另一个事件是赫兹 关于阴极射线的实验，这使他得出结论，阴极射线不会被电场偏转。J. J. 汤姆逊能够证明他错了，部分原因是汤姆逊意识到射线在放电管中电离残余气体，导致电极上带电离子积聚并形成电场。通过在他的管子中实现更低的压力并更恰当地布置电极，汤姆逊探测到了赫兹所遗漏的电场对阴极射线的影响。但他同时也学到了关于电离和空间电荷积聚的新效应。在偏转实验的背景下，这些构成了需要消除的障碍。然而，它们本身也变得很重要。例如，带电粒子穿过气体时产生的电离，对于在云室中研究带电粒子至关重要。实验家对设备中起作用的效应的详细了解，使他们能够从错误中学习。

梅奥所做的不仅仅是简单地将库恩的常规科学概念转化为实验实践。她指出，实验能够检测和适应错误的能力足以触发或促成一场科学革命，这是一个明显非库恩主义的论点。梅奥的最佳例子是让·佩兰在上世纪第一个十年末进行的布朗运动实验。佩兰对布朗粒子的运动进行了详细、巧妙、脚踏实地的观察，无可置疑地证实了它们的运动是随机的。这一点，再加上对粒子分布密度随高度变化规律的观察，使佩兰能够以尽可能令人信服的方式表明，粒子的运动既违反了热力学第二定律，又符合了动力学理论的详细预测。这可以说是最具有革命性的了。一个类似的故事也可以用来描述20世纪初，对黑体辐射、放射性衰变和光电效应的实验研究如何迫使人们放弃经典物理学，并构成了新量子理论的重要组成部分。

新实验主义者的方法中隐含着一个否定，即实验结果并非总是“理论”或“范式”依赖到无法用它们来裁决理论的程度。这一观点的合理性源于对实验实践的关注：如何使用仪器，如何消除误差，如何设计交叉验证，以及如何操作样本。正是这种在独立于推测性理论的方式下得以维持的实验生活，使得它的产物能够成为对理论的主要约束。科学革命在某种程度上是“理性的”，因为它是由实验结果强加给我们的。那些极端以理论或范式为主导的科学观，已经脱离了科学最独特的组成部分之一——实验，也无法理解它。

**新实验主义的视角**

新实验主义者们展示了如何通过一系列涉及实际干预、交叉验证、错误控制和消除的策略，以一种可以且通常独立于高层理论的方式来确立实验结果和产生实验效应。因此，他们能够提供一种将科学进步解释为实验知识积累的解释。

他们采纳了“最好的理论是那些经受住最严苛检验的理论”这一思想，并将对一个主张的严苛实验检验理解为“如果该主张是错误的，它就不太可能通过”的检验。通过这种方式，新实验主义者可以展示实验如何能够用于比较截然不同的理论，以及实验如何能够触发科学革命。仔细 关注实验的细节以及它们到底确立了什么，有助于约束理论化，并帮助区分已被实验证实的部分和推测性的部分。

毫无疑问，新实验主义以一种有价值的方式将科学哲学带回了现实，它对一些以理论为主导的方法的过度行为起到了有益的纠正作用。然而，我认为将其视为我们关于科学特征问题的完整答案是错误的。实验并不像本章前面部分所强调的那样独立于理论。对实验生命的健康和有益的关注，不应让我们忽视理论也有其重要的生命这一事实。

新实验主义者坚持认为，将每一个实验都看作是试图回答理论提出的问题是错误的，这低估了实验可以拥有其自身生命的程度。当伽利略将他的望远镜对准天空时，他并没有一个关于木星卫星的理论需要检验，从那时起，许多新现象都是通过利用新仪器或新技术所带来的机会而被发现的。

另一方面，理论确实常常指导实验工作并为新现象的发现指明了道路。毕竟，正是爱因斯坦广义相对论的一个预测激发了爱丁顿的日食远征队，也正是气体动力学理论的启示促使佩兰以他那样的方式研究布朗运动。同样地，正是关于介质中电荷的极化率变化是否会像传导电流一样产生磁效应这一根本性理论问题，使得赫兹走上了最终产生无线电波的实验道路，而阿拉戈发现圆盘阴影中心的光斑，则是对菲涅耳光波 理论的直接检验结果。

无论理论是否能有时将实验者引导到正确的方向，新实验主义者都渴望捕捉实验知识可以以一种独立于高层理论的方式被证明其合理性的感觉。诚然，黛博拉·梅奥已经详细且令人信服地解释了如何使用一系列错误消除技术和错误统计来可靠地建立实验结果。然而，一旦需要赋予实验结果超出其产生条件的意义时，就必须引用理论。

梅奥致力于展示如何将错误统计应用于精心控制的实验，以得出“这类实验以（指定的）高度概率产生指定结果”的结论。记录的实验结果被视为这类实验可能获得的所有可能结果的一个样本，并且错误统计可以根据样本来为总体归因概率。这里的一个基本问题是，什么才算是同一类型的实验。所有实验在某些方面都会有所不同，例如，它们是在不同的时间、在不同的实验室、使用不同的仪器等等进行的。对此的一般回答是，实验必须在相关方面相似。然而，关于什么算是相关的判断是根据现有知识做出的，因此当知识得到改进时，这些判断也会随之改变。

例如，想象伽利略进行了一系列实验，从这些结果中他得出结论，重力加速度是一个常数（让我们反 事实 地允许伽利略使用现代错误统计，并想象他能够给未来可能出现的反对他的实验赋予一个低概率）。从现代角度来看，如果伽利略在未来的某个时候在海平面以上很高的地方工作，他对自己加速度值的依赖就可能让他失望。在伽利略所处的那个时代，人们普遍认为下落的趋势是重物所固有的性质，仅仅因为它们是物质物体而拥有，因此海平面以上的高度是否相关并不明显，伽利略的样本是否不具代表性也就不明显。关于什么算是相似类型实验的判断，是在理论背景下做出的。

撇开这类问题不谈，一旦实验结果被认为具有超出其产生的特定条件的意义，理论考量就变得至关重要。例如，这在黛博拉·梅奥本人如何论证日食实验证实了爱因斯坦引力定律的方式中是显而易见的。正如梅奥所解释的，这涉及证明结果与对该现象的最佳牛顿式估算以及任何其他可以想到的替代方案（例如奥利弗·洛奇诉诸以太机制）都是不兼容的。这些替代方案一个接一个地被发现是有缺陷的。梅奥（1996年，第291页）引用戴森和克罗米林在《自然》杂志上发表的一篇文章，并表示赞同：“因此，我们似乎被排除法推向爱因斯坦定律，作为唯一的令人满意的解释。” 我并不想质疑，这表明在当时的情况下，接受爱因斯坦的引力理论是合理的。但论证的一个关键部分是基于一个假设：事实上没有可接受的替代方案。梅奥无法排除存在某种尚未被 想到的牛顿理论或以太理论的修改版本，能够解释日食实验的结果的可能性。这就是为什么她明智地没有试图将概率归因于假说。因此，她对科学定律和理论的论证归结为：它们比任何可用的竞争对手更好地经受住了严苛的检验。梅奥和波普尔主义者之间的唯一区别在于，她对什么算是严苛检验有更优越的版本。理论考量扮演了关键角色。

新实验主义者坚持认为，实验者掌握了强大的技术，能够以一种稳健可靠且可以相对独立于深奥理论的方式建立实验知识。如果这些主张能够得到保证，那么 可错 论的过度行为似乎可以得到遏制，并且可以捍卫一种将科学进步理解为可靠实验知识增长的累积观。然而，一旦像我在本节中讨论的理论考量被承认扮演了关键角色，那么也必须承认相应程度的 可错性。

新实验主义并未展示如何将理论（有时是高层理论）从科学中消除。在这方面，值得注意的是，在航天飞行背景下，关于牛顿力学可靠性的一个重要因素是，考虑到预期的速度，根据相对论，它与牛顿力学的偏差可以被证明是可忽略不计的。毫无疑问，科学中存在着一个重要的“理论生命”。例如，在电子显微镜的改进中所使用的量子力学原理，或者在整个科学中使用的能量守恒定律，都不仅仅是特定实验的概括。它们在科学中拥有什么样的生命，以及这种生命与实验有何关系？

一些新实验主义者似乎希望在一方面已经确立的实验知识和另一方面高层理论之间划清界限。（黛博拉·梅奥似乎正朝着这个方向发展，当时她将广义相对论和爱丁顿实验所支持的更受限制的引力理论区分开来。）有些人甚至将这种观点推向极端，认为只有实验定律才对世界是什么样做出了可检验的主张。高层理论被视为扮演某种组织或启发性的角色，而不是对世界是什么样做出主张。这些考量将我们引向了最后两章中讨论的问题。

**附录：理论与实验的“幸福相遇”**

许多人同意，一个理论的价值体现在它经受严苛检验的程度上。然而，科学中有一大类证实案例，它们并不能轻易地纳入这个框架，除非我们非常仔细地界定检验的“严苛性”。我所指的案例是理论与观察在某种情况下取得了显著的一致，而这种情况下，即使不一致也不会反驳该理论。通过一些例子可以最好地说明这个观点。

科学中有一种常见的情况是，从一个理论出发，结合一些复杂且可能有疑问的辅助假设，做出一个新颖的预测。当这个预测得到证实后，我们有理由认为该理论获得了显著的支持。另一方面，如果预测没有得到证实，问题可能出在辅助假说上，也可能出在理论上。因此，这看起来似乎对理论而言，该检验并不严苛。然而，当预测得到证实后，理论仍然获得了显著的支持。尼尔·托马森（Neil Thomason, 1994 and 1998）对此进行了详细阐述。一个很好的例子如下：

哥白尼理论预测，金星应该像月亮一样表现出相位变化，并且这种变化与金星的视在大小以一种特定的方式相关联，前提是假设金星是不透明的。从历史的角度来看，正如哥白尼和伽利略都非常明确地指出的那样，我加了斜体的这个说法是一个悬而未决的问题。当伽利略用他的望远镜观察到金星的相位变化时，这种变化与地球、太阳和金星的相对位置以及金星的视在大小精确地符合哥白尼理论结合金星不透明这一假设的预测，这被合理地视为对该理论（和辅助假设）提供了强有力支持的证据。如果当时没有观察到相位变化，这既可以归咎于辅助假设，也可以归咎于理论，所以在某种意义上，这次行动对哥白尼体系而言并不构成特别严苛的检验。

一个相关且相当常见的情况是，在一种混乱不清的情况下探索一个理论，其中观察的意义远不明确。在这种情况下，理论预测与观察的细致匹配可以同时证实理论和对观察的解释，而未能匹配则仅仅表明还有更多工作要做。

一个例子是使用电子显微镜观察晶体中的位错。这些位错是晶体固体中通常规则的原子排列中的不完美之处，在20世纪30年代中期，它们在理论上被预测出来，以解释固体的强度、延展性和可塑性。如果晶体结构完全规则，那么晶格之间的力将太强，无法解释已知的固体强度和可塑性。在20世纪50年代初，电子显微镜发展到了一个阶段，使得一些人相信可以借此观察到晶格和位错，尽管当时关于电子与样本相互作用的理论还未发展到足以给出明确预测的程度。1956年，吉姆·门特（Jim Menter, 1956）和彼得·赫希等人（Peter Hirsch et al., 1956）制作了他们认为是位错的电子显微镜图像。他们为这种复杂图像的解释辩护的一些方法，与新实验主义者所强调的技术非常一致。例如，他们观察到实际干预（如弯曲晶体）的效果与 “图像确实是晶格” 这一假设相符，而不同物理过程（如X射线和电子衍射）的效果也被证明彼此支持。

然而，更重要的是我在这里要强调的一点：理论与观察之间的匹配在多大程度上同时证实了两者。例如，门特将阿贝的显微镜理论应用于晶体形成电子图像的过程，并认为他的预测与观察到的模式之间的显著匹配证实了他的理论以及“图像是晶格”的解释。赫希观察到位错的移动方式与当时的位错理论预测的完全一致，并认为这既证实了该理论，也证实了他的图像确实代表了位错。在这些案例中，理论与观察之间的“幸福匹配”构成了对理论的显著支持。另一方面，实验情况足够混乱和不明确，可以允许除了归咎于被检验的位错理论之外的许多其他失败解释。我认为，我在这里描述的这种情况在实验科学中是普遍存在的。

黛博拉·梅奥对严苛性的描述能够容纳这些例子。她会问，如果理论是错误的，这些证实是否还会发生。无论是在我的哥白尼例子中，还是在位错的例子中，答案都是它们极不可能发生。因此，在每个案例中，相关的理论都从理论预测与观察之间的巧合中获得了显著的支持。梅奥对严苛性的概念是与科学实践相符的。

**拓展阅读**

* 哈金（Hacking, 1983）是新实验主义的开创性著作。
* 该领域的其他作品包括富兰克林（Franklin, 1986, 1990）、加利森（Galison, 1987, 1997）和古丁（Gooding, 1990）。
* 阿克曼（Ackermann, 1989）对这一立场进行了总结。
* 该 立场最复杂的哲学辩护则来自梅奥（Mayo, 1996）。

**第14章**

**世界为何要遵守定律？**

**引言**

在前面的章节中，我们关注的是认识论问题，即如何通过诉诸证据来证明科学知识的合理性，以及该证据的性质。在本章和下一章中，我们将转向本体论问题，即世界上存在哪些事物。现代科学假定或显示世界上存在哪一类实体？本书到目前为止已经理所当然地接受了部分答案：即世界上存在定律，它们支配着世界的行为，而科学的任务就是去发现这些定律。本章关注的是这些定律是哪一类实体。

“世界由定律支配，而科学的任务是去发现它们” 这个想法司空见惯。然而，这个想法的真正含义远非没有问题。17世纪，罗伯特·玻意耳（Robert Boyle）就突出了一个根本性问题。定律的概念源于社会领域，在那里它有直接的意义。社会的法律由个体遵守或不遵守，因为他们能够理解法律以及违反法律的后果。但是，一旦以这种自然的方式理解法律，我们又怎么能说自然界的物质系统遵守定律呢？因为它们很难说处于能够理解它们本应遵守的定律的位置，而且，无论如何，科学中的基本定律被认为是没有例外的，所以没有与个体违反社会法律并承担后果相对应的东西。是什么让物质符合定律？ 这是一个看似合理且直接的问题，但它并不容易回答。我认为，玻意耳的答案——即上帝让物质按照他所指定的定律行事——从现代角度来看，还有很多不足之处。让我们看看我们是否能做得更好。

**作为规律性的定律**

对于“是什么让物质按照定律行事？”这个问题，一个常见的回答是否认其合法性。这种推理方式由哲学家大卫·休谟（David Hume）有力地表达出来，并自此产生了深远的影响。从休谟主义的观点来看，假设类定律行为是由任何事物引起的，这本身就是一个错误。事实上，自然界中的因果关系这一整个概念都受到了质疑。其推理过程是这样的：例如，当两个台球相撞时，我们可以观察到它们在碰撞前后的运动，并且我们可能能够辨别出碰撞后的速度与碰撞前的速度之间存在一种规律性的联系，但我们从未看到除此以外的任何东西，也就是无法辨识出一个球对另一个球的因果效应。从这个角度来看，因果关系不过是规律性的联系，而定律则采取“A类事件总是伴随或紧随B类事件”的形式。例如，伽利略的自由落体定律将采取“每当一个重物在地球表面附近被释放时，它都会以匀加速落向地面”的形式。这就是所谓的定律的规律性观点。没有什么东西使物质按照定律行事，因为定律不过是事件之间事实上的规律性。

对定律的规律性观点的一系列标准且有力的反对意见是，它没有区分偶然的规律性和类定律的规律性。波普尔给出了一个例子：“没有摩亚鸟能活过五十岁” 。作为一种现已灭绝的物种，可能确实没有摩亚鸟活过五十岁，但如果环境条件更有利，有些很可能活得更久，因此我们倾向于不把这个概括看作一条自然定律。然而，它却作为一条没有例外的规律性而符合定律的资格。在曼彻斯特，工作日结束时工厂汽笛响起，伦敦的工人们就放下工具，这种情况可能确实没有例外，但即使这个概括没有例外，它也很难被看作一条自然定律。诸如此类的例子比比皆是，它们表明自然定律不仅仅是单纯的规律性。规律性观点的另一个困难在于，它未能识别出因果依赖的方向。吸烟和肺癌的例子之间存在规律性的联系，但这是因为吸烟导致了肺癌，而不是反过来。这就是为什么我们可以希望通过戒烟来减少癌症的发生，但不能指望通过找到治疗癌症的方法来对抗吸烟。一个事件所表现出的规律性并不是该规律性构成定律的充分条件，因为类定律行为不仅仅是单纯的规律性。

除了“规律性是定律的充分条件”这一观点存在困难之外，关于定律在科学中如何发挥作用的直接考量也强烈表明，规律性甚至不是一个必要条件。如果“定律描述事件之间没有例外的规律性联系”这一观点被认真对待，那么通常被认为是科学定律的主张，没有一个能符合资格。上面提到的伽利略的自由落体定律就是一个例子。秋天的落叶很少以匀加速落向地面。在一个不加限定的规律性观点下，这会使该定律成为假的。同样，阿基米德原理（它部分声称密度大于水的物体会下沉）也会被漂浮的针所推翻。如果定律被认为是无例外的规律性，那么由于缺乏相应的规律性，很难找到一个严肃的定律候选者。更重要的是，科学中被认为是定律的大多数（如果不是全部）普遍性概括都不能符合资格。

从科学实践和常识的角度来看，对这些观察有一个现成的回应。毕竟，我们很清楚为什么秋天的落叶不会以规律的方式落向地面。它们受到气流和空气阻力的影响，这些影响起到了干扰作用，就像针的下沉会被表面张力抑制一样。正是因为物理过程受到干扰因素的阻碍，表征这些过程的物理定律才需要在精心设计的实验环境中进行检验，在这些环境中，阻碍被消除或控制。与科学相关的、指示类定律行为的规律性，通常是精心实验的来之不易的结果。例如，想想亨利·卡文迪什为了让吸引球体表现出引力平方反比定律付出了多大的努力，以及J. J. 汤姆逊最终是如何在赫兹失败的地方成功地展示了移动电子在电场中的规律性偏转。

定律的规律性观点的捍卫者可以对这些观察做出一个显而易见的回应：以条件形式重新陈述该观点。定律可以被表述为“在不存在干扰因素的情况下，A类事件会规律性地紧随或伴随B类事件”。因此，伽利略的自由落体定律就变成了“只要重物不遇到可变的阻力或不受风或其他干扰因素的偏转，它就会以匀加速落向地面”。

“其他干扰因素” 这个短语表明了一个普遍问题：如何精确地表述定律适用的条件。但我会把这个困难放在一边，因为我认为这里存在一个更根本的问题。如果我们接受将定律描述为以条件形式陈述的规律性，那么我们就必须接受定律只有在这些条件得到满足时才适用。由于这些条件的满足通常只在特殊的实验装置中才能获得，我们被迫得出结论：科学定律通常只适用于实验情境，而不适用于实验情境之外。根据这种经修订的规律性观点，伽利略的自由落体定律只在重物被扔到空气阻力等因素已被移除的环境中才适用。那么秋天的落叶就不受伽利略自由落体定律的支配了。这难道不与我们的直觉相冲突吗？我们难道不想说，一片秋叶既受自由落体定律的支配，也受支配空气阻力和空气动力学的定律的支配，因此其下落的结果是各种定律协同作用的复杂结果吗？因为规律性观点以其条件形式将定律的适用性限制在满足适当条件的实验情境中，所以它无法说明在这些条件之外会发生什么。根据这种观点，科学无法解释为什么秋天的落叶最终会落到地面！

这里的困难与新实验主义所带来的一个问题相呼应，即如果新实验主义被视为可以对科学知识所能说的全部，那么就会出现问题。正如我们在上一章中所看到的，尽管新实验主义可能很好地捕捉到了科学进步可以被理解为实验知识稳步积累的强烈意义，但如果就此止步，我们就无法解释在实验情境中获得的知识如何能够被转移到这些情境之外并用于其他地方。我们如何解释工程师对物理学的运用、历史地质学中对放射性测年的运用，或者牛顿理论在彗星运动上的应用？如果科学定律被假定在实验情境之外和之内都适用，那么定律就不能等同于在实验情境中可以实现的规律性。定律的规律性观点是行不通的。

**作为能力或倾向的表征的定律**

我们有一个直接的办法来解决我们到目前为止讨论过的关于定律概念的问题。它涉及认真对待在许多常识和科学中隐含的东西，即物质世界是活跃的。事物是主动发生的，它们之所以发生，是因为世界中的实体拥有以其方式行动或表现的能力、力量、倾向或趋势。球之所以能弹起来是因为它们有弹性。容器上的“有毒”、“易燃”或“易爆”警告告诉我们其中的内容物有能力做什么或倾向于如何行动。指定一个电子的质量和电荷，就表明了它将如何响应电场和磁场。一个事物是什么，其重要组成部分在于它有能力做什么或成为什么。正如亚里士多德正确地观察到的那样，我们需要用事物的潜能以及它们的现实存在来表征它们。就像长成一棵橡树的能力是成为一颗橡子的重要组成部分一样，吸引异性电荷、排斥同性电荷以及在加速时辐射的能力，也是成为一个电子的重要组成部分。我们对系统进行实验，就是为了找出它们倾向于如何表现。

一旦我们将倾向、趋势、能力和力量等事物纳入我们对物质系统的表征中，那么自然定律就可以被视为表征这些倾向、趋势、能力或力量。伽利略的自由落体定律描述了重物倾向于以匀加速落向地面的倾向，而牛顿的万有引力定律描述了有质量的物体之间互相吸引的力量。一旦我们以这种方式解释定律，我们就不再需要期望定律描述世界上发生的事件序列，因为这些事件通常是多种倾向、趋势、力量或能力以复杂方式协同作用的结果。一片树叶的下落倾向符合伽利略定律，但这种倾向被风的影响所淹没，但这本身并不能构成怀疑该倾向继续根据定律作用于树叶的理由。从这个角度来看，我们可以很容易地理解为什么实验对于获取识别定律所需的信息是必要的。与所研究的定律相对应的倾向需要与其他倾向分离开来，而这种分离需要适当的实际干预才能实现。考虑到海洋床的不规则性以及太阳和行星以及月球的引力，我们不能指望从牛顿理论加上初始条件得出对潮汐的精确解释。然而，引力是潮汐的主要原因，并且存在用于识别引力定律的适当实验。

从我所倡导的观点来看，原因和定律是紧密相连的。事件是通过拥有充当原因的力量的特定实体的行动而引起的。月球的引力是潮汐的主要原因，带电粒子导致了在云室中留下轨迹的电离，而振荡电荷导致了从发射器中发出的无线电波。对这些案例中活跃力量的作用模式的描述构成了自然定律。引力平方反比定律定量地描述了有质量的物体所拥有的吸引力，而经典电磁理论的定律则描述了（除其他事项外）带电物体吸引和辐射的能力。正是自然界中起作用的活跃力量使得定律在它们为真时为真。因此，我们对玻意耳的问题有了一个现成的答案。正是特定实体所拥有的、并在它们相互作用时起作用的力量和能力，迫使这些特定实体按照定律行事。类定律行为是由因果关系所促成的。玻意耳之所以面临关于定律的问题并需要援引上帝，正是因为他拒绝将倾向性属性归因于物质。

大多数哲学家似乎不愿接受一种将倾向或力量作为原始实体的本体论。我不理解他们的不情愿。也许部分原因是历史性的。在文艺复兴时期的神秘主义和魔法传统中，力量被以一种晦涩的方式使用，这给它带来了坏名声，据称亚里士多德主义者以“形式”的名义以一种傲慢的方式利用了它们。玻意耳在他的机械哲学中拒绝活跃属性，可以被看作是对这些传统过度的反应，也许是过度反应，也可能是出于神学方面的考虑。然而，援引力量、倾向等事物不一定神秘或在认识论上可疑。有关它们的说法可以像任何其他类型的说法一样，经受严格的经验检验。更重要的是，无论哲学家们多么厌恶倾向性属性，科学家们系统地援引它们，没有它们，他们的工作将无法进行。在这方面，值得注意的是，玻意耳在他的实验科学中（与他的机械哲学相反），自由地使用了诸如酸度和空气的弹性等倾向性属性。各种形式的弹性是17世纪机械论哲学家的尴尬之处。霍布斯抱怨说，玻意耳 将弹性归因于空气，等同于承认空气可以自行移动。玻意耳和其他17世纪的科学家继续使用弹性的概念，并且从未成功地通过非倾向性属性来解释它。从那以后也没有人成功过。我不明白哲学家们有什么理由质疑，或觉得需要解释，这种科学家对倾向性属性的普遍、甚至是无处不在的使用。

“定律表征事物的倾向、力量、能力或趋势” 的观点具有以下优点：它从一开始就承认了所有科学实践中隐含的东西，即自然是活跃的。它清楚地说明了是什么使系统按照定律行事，并以一种自然的方式将定律与因果关系联系起来。它还为我们在上一章中遇到的问题提供了一个现成的解决方案，即在实验情境中获得的知识如何能够被转移到这些情境之外。一旦我们做出这样的假设——世界中的实体因其所拥有的力量和能力而成为它们所是——而我声称这个假设在科学实践和日常生活中都是隐含的——那么，在实验情境中被识别出的描述这些力量和能力的定律，就可以被假定在这些情境之外也适用。然而，我无法问心无愧地就此止步，因为有一些重要的科学定律很难纳入这个方案。

**热力学和守恒定律**

让我们把我上面一段概述和捍卫的观点——它将定律理解为表征因果力量——称为定律的因果观。在物理学中，有一些重要的定律不太符合这个方案。热力学第一定律和第二定律不符合，基本粒子物理学中的一系列守恒定律也不符合。

热力学第一定律断言一个孤立系统的能量是恒定的。第二定律断言一个孤立系统的熵不能减少，其结果是确保热量从热的物体流向冷的物体，而不是反过来，并排除了从海洋中提取热能并将其用于有益工作的可能性，而为此付出的唯一代价是海洋温度的降低。成功做到这一点的机器将是第二类永动机，与导致能量净增加的第一类永动机不同。热力学第一定律排除了第一类永动机，而第二定律排除了第二类永动机。这些相当普遍的定律对物理系统的行为产生了影响，并且可以在完全独立于底层因果过程的细节的情况下，被用来预测它们的行为。这就是为什么不可能将这些定律解释为因果定律。

让我举一个例子来说明我的观点。如果冰 受到高于正常大气压的压力，它的熔点会降低。这就是为什么一根悬挂着重物的钢丝会切开一块冰。在分子层面解释这一点远非简单，精确详细的解释可能也无法获得。由于压力倾向于将分子推得更近，人们可能会期望它们之间的引力在这种情况下增加，导致分离它们所需的热能增加，从而导致熔点升高。这正是在熔点附近的典型固体中发生的事情。但冰 不是典型的固体。冰中的水分子排列得相当松散，比它们在液态时更松散，这就是为什么冰的密度比水低。（这很好，否则湖泊和河流会从底部开始结冰，并在长时间的寒冷期中完全冻结，从而消除鱼类和任何从鱼类进化而来的可行生命形式。）如果冰中的分子被迫比正常情况下更靠近，它们之间的力会减小，因此分离它们所需的热能会减少，熔点也会下降。力如何精确地依赖于分子位置是复杂的，取决于涉及交换力和库仑力的精细量子力学细节，并且无法精确得知。

考虑到上述复杂性，令人惊讶的是，詹姆斯·汤姆逊（James Thomson）在1849年能够预测 水冰的熔点会随 压力而降低，从而预见了这一现象的经验发现。他所需要的只是热力学定律加上水比冰密度大这个经验已知事实。汤姆逊在思想中设计了一个循环过程，涉及从0°C的水中提取热量并将其转化为0°C的冰。这似乎提供了一种从水中提取热量并将其全部转化为膨胀所做的功的方法，从而构成了一台被热力学第二定律排除的第二类永动机。汤姆逊意识到，可以通过假设冰点会因压力的增加而降低来阻止这个不可接受的结论。

我想强调这个案例的特点是，汤姆逊的预测是在不知道分子层面因果过程的细节的情况下做出的。热力学的一个特点，也是一个主要优势，是它在宏观层面适用，无论底层因果过程的细节是什么。正是热力学定律的这个特点阻止了它们被解释为因果定律。

因果观的困难不止于此。一个机械系统的行为可以通过指定系统每个组成部分的力并使用牛顿定律来追踪系统的发展来理解和预测。在这种方法中，牛顿定律可以很容易地被解释为描述物体施加和响应指定力的倾向的因果定律。然而，这并不是处理机械系统的唯一方法。力学定律也可以以能量而不是力为起点来编写。在哈密顿和拉格朗日力学的表述中，当采用这种方法时，所需的是将系统的势能和动能表示为固定它们所需的任何坐标的函数。然后，通过将这些表达式输入哈密顿或拉格朗日运动方程，可以完全指定系统的演化。这可以在不需要详细了解起作用的因果过程的情况下完成。

詹姆斯·克拉克·麦克斯韦（James Clerk Maxwell, 1965, vol. 2, pp. 783–4）曾试图以拉格朗日形式来构建他的电磁理论，他以一种极具启发性的方式阐明了这一点。我们想象一个钟楼，里面有一台复杂的机器，由下到撞钟人房间的钟绳驱动。我们假设绳索的数量等于系统的自由度。通过对绳索进行的实验，可以确定系统的势能和动能是绳索位置和速度的函数。一旦我们有了这些函数，我们就可以写下系统的拉格朗日方程。然后，给定绳索在任何一瞬间的位置和速度，就可以推导出它们在任何其他瞬间的位置和速度。我们可以在不需要知道钟楼里正在发生什么的因果故事细节的情况下做到这一点。拉格朗日方程不陈述因果定律。

有人可能会反驳说，这些关于拉格朗日力学表述的观察不构成对定律因果观的严重反例。他们可能会指出，例如，虽然对钟楼中的机制进行拉格朗日处理可以通过忽略钟楼中详细的因果故事而运作得很好，但一旦获得适当的经验访问权，仍然可以有一个可以用牛顿式，因此是因果的术语来表述的故事。毕竟，他们可能会说，拉格朗日方程可以从牛顿方程中推导出来。

这个最后的说法已经不再是真的了（如果它曾经是真的话）。在现代物理学中，拉格朗日方程被以一种比可以从牛顿定律中推导出来的版本更一般的方式来解释。所涉及的能量被以一种通用的方式来解释，它包括各种能量，而不仅仅是由于物体在力作用下的运动而产生的能量。例如，拉格朗日表述可以容纳电磁能，它包括与速度相关的势能，并需要诸如 场的电磁动量之类的东西，这是一种与质量乘以速度相对应的动量不同的动量。当在现代物理学中被推向极限时，这些拉格朗日（或相关的哈密顿）表述不能被其底层的因果解释所取代。例如，各种守恒原理，如电荷守恒和宇称守恒，与拉格朗日能量函数中的对称性紧密相连，无法通过诉诸某种底层过程来解释。

所有这一切的结果可以总结如下。物理学中的一大批定律可以被理解为因果定律。当这种情况可能时，对于玻意耳关于“是什么迫使物理系统按照定律行事”的问题，就有一个现成的答案。是由定律表征的因果力量和能力的运作使得系统遵守它们。然而，我们已经看到，在物理学中存在一些无法被解释为因果定律的基本定律。在这些情况下，对玻意耳的问题没有现成的答案。是什么使得系统按照能量守恒定律行事？我不知道。它们就是那样做的。我对这种情况并不完全感到舒服，但我看不出如何避免它。

**拓展阅读**

* 对于与这里所描述的不同的定律观点，以及对规律性观点的详细批判，请参阅阿姆斯特朗（Armstrong, 1983）。
* 巴斯卡尔（Bhaskar, 1978）展示了实验如何指向定律的因果观。
* 卡特赖特（Cartwright, 1983）对“存在对世界为真的基本定律”这一想法提出了质疑，但在她1989年的著作中修改了她的观点，以捍卫更像是因果观的东西。
* 克里斯蒂（Christie, 1994）通过有趣的例子描述了许多哲学家对定律的界定与科学家们所使用的定律概念之间的冲突。
* 本章的材料主要源自于 查默斯（Chalmers, 1999），并在其中进行了更详细的处理。
* 另一本关于定律性质的最新讨论是范·弗拉森（van Fraassen, 1989）。
* 普西洛斯（Psillos, 2002, pp. 122–68）是关于这个问题的很好的总体总结。

**第15章**

**实在论与反实在论**

**引言**

对科学知识的一个自然假设是，它告诉我们关于世界本质的许多东西，这些东西远远超出了其表面的样子。它告诉我们关于电子和DNA分子、引力场中光的弯曲，甚至是在人类出现之前世界所盛行的条件。科学不仅旨在为我们提供关于这些事物的知识，而且在很大程度上也成功地做到了。科学不仅描述可观察的世界，也描述表象背后的世界。这是一种关于科学的实在论的粗略陈述。

为什么会有人想要否定实在论呢？当然，有许多当代科学哲学家确实这么做。对实在论产生怀疑的一个根源是，关于不可观察世界的主张，其假设性程度超出了可以基于观察牢固确立的范围。科学实在论似乎过于轻率，因为它宣称的东西超出了可以合理辩护的范围。这种怀疑可以被历史反思所强化。过去许多对不可观察实体做出主张的理论，在这方面确实被证明是轻率的，因为它们已经被否定了。牛顿的光微粒说、热质说，以及麦克斯韦的电磁理论（因为它假定电场和磁场是一种物质以太的状态），都提供了例子。反实在论者可以指出，尽管这些理论的理论部分被否定了，但那些基于观察的部分却被保留了下来。牛顿关于色差和干涉的观察、热量学、库仑定律（关于带电体之间的吸引和排斥）和法拉第的电磁感应定律，都被纳入了现代科学。科学中经久不衰的部分是基于观察和实验的那一部分。理论不过是脚手架，一旦它们失去了用处，就可以被废弃。这是典型的反实在论立场。

因此，实在论立场反映了大多数科学家和非科学家的不假思索的态度，实在论者会问：“如果涉及电子和引力场等不可观察实体的科学理论没有至少近似地正确描述不可观察领域，它们怎么会如此成功？” 作为回应，反实在论者强调科学理论部分证据的不确定性，并指出，正如过去的理论即使不是对现实的正确描述也证明是成功的，因此假设当代理论也是如此是合理的。本章将探讨这场辩论。

**普世反实在论：语言、真理与现实**

当代文献中，实在论/反实在论辩论采取了一种我个人认为没有帮助的形式，无论如何，它与我（和许多其他人）想要探讨的辩论是不同的。对这种讨论的一般性和抽象术语不感冒的读者可以跳过本节。

我称之为普世反实在论的观点，提出了任何语言，包括科学语言，如何能与世界接触或挂钩的问题。其支持者认为，我们没有办法与现实面对面，通过感知或任何其他方式来“读出”关于现实的事实。我们只能从我们人类生成的视角来看待世界，并用我们理论的语言来描述它。我们永远被困在语言之中，无法突破它以一种独立于我们理论的方式“直接”描述现实。普世反实在论否认我们通常可以接触到现实，而不仅仅是在科学中。

我怀疑任何严肃的当代哲学家会认为我们可以与现实面对面并直接读出关于它的事实。我提醒读者，在本书中，我们在第2章 左右就已经抛弃了这种想法。因此，从这个意义上说，我们都是普世反实在论者，但这并没有说太多，因为它是一个非常弱的主张。当这种缺乏对现实的直接接触被认为具有后果，从而为对科学和一般知识采取怀疑态度辩护时，它才成为一个更强的主张。这个想法似乎是，没有任何知识可以作为对世界的一种特权表征，因为我们缺乏那种可以证明其合理性的对世界的接触。这种做法是没有根据的。虽然我们必须使用某种概念框架才能描述世界，但我们仍然可以通过与世界互动来检验这些描述的充分性。我们了解世界不仅通过观察和描述它，还通过与它互动。正如第1章所讨论的，构建（必然是语言表述的）关于世界的主张是一回事。它们的真假是另一回事。真理的概念通常被认为对关于实在论的辩论具有重要影响，因此需要对这个概念进行讨论。

最有利于实在论者需求的真理理论是所谓的符合论（correspondence theory of truth）。这个总体的想法是相当直接的，可以用常识术语来解释，使其显得几乎是微不足道的。根据符合论，一个句子当且仅当它与事实相符合时才是真的。句子“猫在垫子上”是真的，如果猫在垫子上，如果不在就是假的。一个句子是真的，如果事物如句子所说的那样，否则就是假的。

真理概念的一个困难是，它很容易导致悖论。所谓的说谎者悖论就是一个例子。如果我说“我从不说真话”，那么如果我所说的是真的，那么我所说就是假的！另一个例子如下。我们想象一张卡片，一面写着“这张卡片另一面的句子是真的”，另一面写着“这张卡片另一面的句子是假的”。稍微想一下就会发现，这两个句子中的任何一个都是既真又假的悖论结论。

逻辑学家阿尔弗雷德·塔斯基（Alfred Tarski）证明了对于一个相当简单的语言系统，如何可以避免悖论。关键的一步是他的坚持，当谈论某个语言中句子的真假时，必须仔细区分被谈论的语言系统中的句子（“对象语言”），和用来谈论对象语言的语言系统中的句子（“元语言”）。回到涉及卡片的悖论，如果我们遵循塔斯基的建议，那么我们必须决定卡片上的每个句子是在被谈论的语言中，还是在谈论该语言的语言中。如果遵守“每个句子必须在对象语言或元语言中，但不能同时在两者中”的规则，那么两个句子都不能既指向另一个又被另一个指向，于是就没有悖论产生。

因此，塔斯基符合论的一个关键思想是，如果我们要谈论一个特定语言中句子的真理，那么我们需要一个更通用的语言，即元语言，在其中我们可以既指代对象语言的句子，又指代这些对象语言句子意在符合的事实。塔斯基需要能够证明如何系统地为对象语言中的所有句子发展出符合论的真理概念，并避免悖论。这是一个技术上困难的任务，因为对于任何有趣的语言来说，句子都是无限多的。塔斯基为涉及有限数量的单项谓词（即“是白色的”或“是一张桌子”等谓词）的语言完成了他的任务。他的技术涉及将“谓词被一个对象满足”的含义作为既定。日常语言中的例子听起来微不足道。例如，谓词“是白色的”当且仅当x是白色的时被x满足。给定语言中所有谓词的这个满足概念，塔斯基展示了如何从这个起点为语言中的所有句子建立真理的概念。（用技术术语来说，塔斯基将原始满足概念作为既定，递归地定义了真理。）

塔斯基的结果对于数理逻辑无疑具有重大的技术重要性。它对模型论具有根本性影响，也对证明论 产生了影响。但这些都远远超出了本书的范围。塔斯基还展示了当在自然语言中讨论真理时，矛盾是如何产生的，并展示了如何避免这些矛盾。但我认为他所做的仅限于此，塔斯基本人似乎也这么认为。对于我们的目的而言，我建议塔斯基的符合论 不过就是被“‘雪是白色的’是真的当且仅当雪是白色的”这一听起来微不足道的规定所概括的内容。也就是说，塔斯基已经证明，一种常识性的真理观念可以以一种摆脱了被认为威胁它的悖论的方式被利用。从这个角度来看，一个科学理论是对世界为真的，如果世界如该理论所说的那样，否则就是假的。只要我们对实在论的讨论涉及真理的概念，我将采用的就是这个真理的概念。

那些热衷于捍卫普世反实在论的人坚持认为，符合论的真理并未像其所声称的那样，逃离语言去描述句子与世界之间的关系。如果我被问到像“猫在垫子上”这样的陈述符合什么，那么除非我拒绝回答，我必须提供一个陈述作为回应。我会回答：“猫在垫子上” 符合猫正在垫子上。我所想到的持反对意见者会对此回应说，在我的回答中，我并没有表征一个陈述与世界之间的关系，而是一个陈述与另一个陈述之间的关系。这是一个误导性的反对，可以用一个类比来说明。如果我有一张澳大利亚的地图，我被问到这张地图指的是什么，答案是 “澳大利亚” 。在给出这个答案时，我并不是说这张地图指的是 “澳大利亚” 这个词。如果我被问到这张地图指的是什么，我别无选择，只能给出语言上的回答。这张地图是一块名为澳大利亚的大陆的地图。无论是猫的例子还是地图的例子，都不能合理地说，语言上的回答意味着我在主张，在前一种情况下，句子 “猫在垫子上” ，在后一种情况下，地图指的是某种语言上的东西。（在我看来，例如，史蒂夫·伍尔加（Steve Woolgar, 1988）对科学的普世反实在论就包含了我想在这里理清的这种混淆。）至少对我来说， “猫在垫子上” 指涉世界中的一种状态，并且如果猫在垫子上就是真的，如果不在就是假的，这种说法是完全可以理解的，而且是微不足道地正确的。

实在论者通常会声称，科学旨在达到关于世界的真实陈述，包括可观察和不可观察的部分，其中真理被解释为与事实相符合的常识概念。一个理论是真的，如果世界如理论所说的那样，否则就是假的。在猫在垫子上的情况下，陈述的真理可以相当直接地被确立。而在科学理论的情况下，情况远非如此。我再次重申，我想要探讨的这种实在论不涉及“你可以与现实面对面并读出哪些事实是真的哪些是假的”这种主张。

关于科学的实在论者和反实在论者之间的传统辩论，关注的是科学理论是否应该被视为在不受限制的意义上的真理候选者，或者它们是否应该被视为仅对可观察世界做出主张。因此，双方都认为科学旨在某种意义上的真理（我将解释为上面讨论的那种符合）。所以，辩论的任何一方都不支持普世反实在论。因此，让我们把普世反实在论放在一边，进入严肃的讨论。

**反实在论**

反实在论者坚持认为，一个科学理论的内容不过是可以通过观察和实验来证实的一系列主张。许多反实在论者可以被有益地称为，并且经常被称为工具主义者（instrumentalists）。对于他们来说，理论不过是帮助我们关联和预测观察和实验结果的有用工具。理论不应被适当地解释为真的或假的。亨利·庞加莱（Henri Poincaré, 1952, p. 211）在将理论比作图书馆目录时，就举例说明了这一立场。目录可以因其用处而被评价，但如果认为它们是真的或假的，那将是错误的。对于工具主义者来说，理论也是如此。后者将要求理论是普遍的（将广泛种类的观察纳入其范畴）和简单的，以及主要要求：它们必须与观察和实验相兼容。

巴斯·范·弗拉森（Bas van Fraassen, 1980）是一位当代反实在论者，他不是工具主义者，因为他认为理论确实是真的或假的。然而，他认为它们的真假对于科学而言是无关紧要的。对他来说，一个理论的优点要根据其普遍性和简单性，以及它在多大程度上被观察所证实并导致新种类的观察来判断。范·弗拉森称他的立场为“建设性经验主义”（constructive empiricism）。一位将科学的增长视为可控科学效应的增长且别无其他的新实验主义倡导者，将符合我使用这个术语时反实在论者的资格。

反实在论背后的一个动机似乎是希望将科学限制在可以通过科学手段来证明其合理性的主张上，从而避免不合理的推测。反实在论者可以指出科学史来证实他们的主张，即科学的理论部分不符合牢固确立的资格。过去不仅有理论被否定为假，而且它们所设想的许多实体也不再被相信存在。牛顿的光微粒说作为物理学中一个被接受的部分已超过一百年。现在它不仅被认为是假的，而且牛顿光学所隐含的微粒这种东西也不存在。19世纪波动力学和电磁理论中处于核心地位的以太也同样被废弃了，而麦克斯韦理论中的一个关键思想，即电荷不过是以太中某种应变的不连续性，现在被认为是完全错误的。然而，反实在论者会坚持认为，尽管这些理论被证明是不真实的，但不可否认它们在帮助整理，乃至发现可观察现象方面所扮演的积极角色。毕竟，正是麦克斯韦关于电磁学作为以太状态的推测，使他建立了光的电磁理论，并最终导致了无线电波的发现。鉴于此，仅根据理论整理和预测可观察现象的能力来评估它们，似乎是合理的。如此，当理论失去用处时，它们本身可以被抛弃，而它们所带来的观察和实验发现则可以被保留。就像过去的理论和它们所使用的不可观察实体被抛弃一样，我们可以预期我们现在的理论也会如此。它们只是帮助搭建观察和实验知识结构的脚手架，一旦完成了任务就可以被废弃。

**一些标准异议和反实在论者的回应**

反实在论者预设了观察层面的知识（被认为是牢固确立的）和理论知识（不能牢固确立，最好 被视为一种启发性辅助工具）之间的区别。本书前几章关于观察和实验的理论依赖性和可错性的讨论，至少从表面上看，给这一观点带来了问题。如果观察陈述和实验结果被认为是可以接受的，只要它们能经受住检验，但未来可能因新的、更敏锐的检验而被取代，那么这就为实在论者以完全相同的方式对待理论打开了道路，并否认存在反实在论者赖以立足的那种观察知识和理论知识之间根本或尖锐的区别。

让我们在实验而非纯粹观察的层面上来探讨这个问题。在这里，反实在论者无需否认理论在发现新的实验效应中扮演了角色。然而，他或她可以强调（正如我在关于新实验主义的那一章中所做的），新的实验效应可以以一种独立于理论的方式被理解和操控，并且这种实验知识在发生根本性理论改变时并不会丢失。我以法拉第发现电动机和赫兹产生无线电波为例。这些案例可以用来为反实在论者的立场提供可信度。然而，科学中所有的实验结果是否都能以这种方式被解释为独立于理论是值得商榷的。让我再次引用我关于使用电子显微镜研究晶体中位错的故事来阐明这个问题。早期工作的一些方面可以帮助反实在论者。对位错观察的有效性是通过各种操控和交叉验证来确立的，这些并不依赖于诉诸于关于电子显微镜和电子束与晶体相互作用的详细理论。然而，随着工作的变得更加复杂，对可观察图像的解释只能通过精细细节与理论预测之间的一致性来获得和支持。无可否认，关于位错的知识对于理解材料的强度和固体的许多其他性质具有巨大的实际重要性。反实在论者需要能够做的是，展示如何以一种独立于理论的方式来表述和证明那部分实验上有用的知识是合理的。这个问题在 查默斯（Chalmers, 2003）中有更详细的讨论。

对反实在论的另一个标准异议涉及理论的预测成功。异议者问：如果理论不是至少近似为真，它们怎么会如此成功地进行预测？这个论点在理论导致新类型现象发现的那些案例中似乎特别有力。既然爱因斯坦的广义相对论成功预测了光线被太阳弯曲，它怎么能被认为仅仅是一种计算工具？当有机分子的结构现在可以用电子显微镜“直接”观察到时，怎么能严肃地坚持认为那些结构仅仅是工具？

反实在论者可以这样回应。他们当然可以同意理论可以导致新现象的发现。事实上，这是他们自己对一个好理论的要求之一。（请记住，认为科学中没有理论容身之地不是反实在论者的立场。被质疑的是理论的地位。）然而，一个理论在这方面富有成效的事实，并不一定表明它是真的。从过去理论在这方面被证明是成功的（尽管从现代角度来看它们不能被认为是真的）这一事实来看，这一点是显而易见的。菲涅耳的“光是在弹性以太中传播的波”的理论成功预测了阿拉戈发现的亮斑，而麦克斯韦关于以太位移的推测导致了对无线电波的预测。实在论者根据爱因斯坦的理论和量子力学认为牛顿的理论是假的。然而，牛顿理论在最终被驳斥之前，拥有超过两个世纪的预测成功。那么，历史难道没有迫使实在论者承认预测成功不是真理的必要标志吗？

科学史上有一个重要的历史事件被用来试图诋毁反实在论。它涉及哥白尼革命。正如我们所看到的，哥白尼和他的追随者在捍卫地球运动的主张时面临着问题。对这些问题的一种回应是，对该理论采取一种反实在论立场，否认它被字面地理解为描述真实的运动，并 仅仅要求它与天文学观察相兼容。奥西安德（Osiander）在他为哥白尼的主要著作《天体运行论》所写的序言中，清楚地表达了这一观点。他写道：

……天文学家的职责是，通过细致和熟练的观察，编纂天体运动的历史。然后，转向这些运动的起因或假说，他必须构想和设计这样的假说，因为他无论如何都无法达到真实的起因，这些假说一旦被假定，就能使运动能够从几何学原理中被正确地计算出来，无论是对未来还是过去。这位作者[哥白尼]出色地履行了这两项职责。因为假说不必是真的，甚至不必是可能的；如果它们提供了一个与观察一致的演算，那本身就足够了。（Rosen, 1962, p. 125）

通过采取这种立场，奥西安德和志同道合的天文学家们不再需要直面哥白尼理论所带来的困难，特别是那些源于地球运动主张的困难。然而，像哥白尼和伽利略这样的实在论者被迫试图直面这些困难并努力消除它们。在伽利略的案例中，这导致了力学上的重大进步。实在论者希望从中得出的教训是，反实在论是无益的，因为反实在论者将那些从实在论角度看需要解决的困难问题扫到了地毯下。

反实在论者可以回应说，这个例子是对反实在论立场的漫画化。反实在论者对理论的要求之一是坚持理论必须是普遍和统一的——它们要涵盖广泛的现象。从这个角度来看，反实在论者必须寻求在一个理论框架下涵盖天文学和力学，因此他们会像实在论者一样有动力去解决与哥白尼理论相关的力学问题。在这方面，一个著名的反实在论者皮埃尔·迪昂（Pierre Duhem, 1969）在他的著作《拯救现象》（To Save the Phenomena）中，选择了哥白尼革命的例子来支持他的论点，这是一种讽刺。

**科学实在论与推测实在论**

我首先以一种非常强的形式来陈述实在论，有些人称之为“科学实在论”。根据科学实在论，科学旨在达到关于世界是什么以及它如何行为的真实陈述，涉及所有层面，而不仅仅是观察层面。更重要的是，它声称科学已经朝着这个目标取得了进展，因为它已经达到了至少近似为真的理论，并发现了至少一些世界上存在的东西。例如，科学已经发现存在电子和黑洞这样的东西，尽管关于这些实体的早期理论已被改进，但那些早期理论是近似为真的，这可以通过将它们作为当前理论的近似来推导出来证明。我们无法知道我们当前的理论是否是真的，但它们比早期理论更真，并且当它们未来 被更精确的东西取代时，它们将保留至少近似的真实性。这些主张被科学实在论者视为与科学主张本身处于同一水平。他们声称，科学实在论是对科学成功的最佳解释，并且可以像科学理论根据世界进行检验一样，根据科学史和当代科学进行检验。正是关于实在论可以根据科学史进行检验的主张，被视为证明将这种实在论命名为“科学”是合理的。理查德·博伊德（Richard Boyd, 1984）对这种科学实在论给出了一个清晰的陈述。

这种强版本的实在论的一个关键问题源于科学史，以及这段历史在多大程度上揭示了科学是 可错 和可修正的。光学史提供了最强有力的例子。光学在其从牛顿微粒说发展到现代的过程中经历了根本性的改变。根据牛顿，光由物质微粒束组成。取代它的菲涅耳理论将光解释为在一种无处不在的弹性以太中传播的横波。麦克斯韦的光的电磁理论将这些波 重新解释为涉及波动的电场和磁场，尽管保留了这些场是以太状态的想法。到20世纪初，以太已被淘汰，场作为其自身的实体而存在。很快，就有必要通过引入光子来补充光的波特性和粒子特性。我认为实在论者和反实在论者都认为这一系列理论从头到尾都是进步的。但是，这种进步如何能与科学实在论者的严格要求相协调呢？当所呈现的是一种剧烈的波动时，如何将这一系列理论解释为正在走向对世界上存在的东西的越来越好的近似表征呢？首先光被描述为粒子，然后是以太中的波，然后是自身波动的场，然后是光子。

诚然，还有其他例子似乎更符合实在论的图景。电子的历史就是一个例子。当它在19世纪末首次以阴极射线的形式被发现时，它被解释为一个仅仅具有小质量和电荷的微小粒子。玻尔在他的早期原子量子理论版本中，需要修正这个图景，其中电子绕着一个中心 正 核 运动，但没有像预期的那样辐射。它们现在被认为是具有半整数自旋、在适当情况下可以像波一样行为并服服从费米-狄拉克统计而非经典统计的量子力学实体。有理由假设，在整个历史中，指的是和被实验的是相同的电子，但我们已经稳步改进和纠正了我们对它们的认识，因此将关于电子的一系列理论看作是趋近真理是合理的。伊恩·哈金（Ian Hacking, 1983）指出了一种从这种视角加强实在论立场的方式。他认为，反实在论者不恰当地过分强调什么可以和什么不能被观察到，而对在科学中什么可以被实际操控给予了不足的关注。他认为，科学中的实体一旦可以被以可控的方式实际操控并被用来对别的东西产生效应，就可以被证明是真实的。正电子束可以被制造出来并训练到靶子上，以可控的方式产生效应，那么它们怎么能不是真实的呢，尽管它们不能被直接观察到？如果你能喷洒它们，哈金说，那么它们就是真实的（第23页）。如果采用这个判断什么是真实的标准，那么我关于光微粒和以太的例子就不必反驳实在论，因为那些实体从未通过实际操控它们而被确立为真实的。

有一些实在论者认为科学实在论过于强大，并试图以各种方式削弱它。波普尔和他的追随者所倡导的那种实在论就是如此，可以被称为“推测实在论”（conjectural realism）。推测实在论者强调我们知识的 可错性，并且很清楚过去的理论，以及它们关于世界上存在哪种实体的断言，已经被证伪并被以完全不同方式解释世界的更优越的理论所取代。我们无法知道我们当前的哪些 理论可能会遭受类似的命运。因此，推测实在论者不会声称我们当前的理论已被证明是近似为真的，也不会声称它们已确凿地识别出世界上存在的一些事物。推测实在论者不会排除电子可能遭受与以太相同命运的可能性。尽管如此，他们仍然坚持科学的目标是发现关于真正存在的真理，并且应该根据理论在多大程度上可以被认为实现了这一目标来评估它们。推测实在论者会说，我们能够宣称过去的理论是假的这一事实本身，就表明我们对那些过去理论所未能达到的理想有一个清晰的概念。

尽管推测实在论者会坚持他们的立场是在科学中采用的最富有成效的立场，但他们不会将其立场描述为科学的。科学实在论者声称他们的立场可以根据科学史进行检验，并且可以解释科学的成功。推测实在论者认为这过于雄心勃勃。在一个科学理论可以被接受为对一系列现象的解释之前，可以合理地要求该理论有一些独立的证据，即独立于要解释的现象的证据。正如约翰·沃勒尔（John Worrall, 1989b, p. 102）所指出的，科学实在论无法满足这一要求，因为不可能有独立于科学史的证据来解释科学实在论本身。这个普遍的观点是，一旦我们认真对待科学内部关于什么构成显著证实的那种严格要求，就很难看出科学实在论如何能被历史证据所证实。推测实在论是安全的。

推测实在论的一个主要问题是其主张过于薄弱。它既不声称当前的理论可以被确认为真实或近似真实，也不声称科学已经最终发现了一些世界上存在的东西。它只是声称科学旨在实现这些目标，并且存在识别科学何时未能达到这一目标的方法。推测实在论者必须承认，即使科学得出了真实理论和对事物真实性质的描述，也没有办法知道这一点。因此，人们很可能会问，当涉及到理解和评估当前或过去的科学时，这种观点与最复杂的反实在论观点之间，究竟有什么区别。

**理想化**

对实在论的一个标准异议，例如由迪昂（Duhem, 1962, p. 175）提出的，是理论不能被视为对现实的字面描述，因为理论描述是理想化的，而世界并非如此。我们都会记得，我们在学校学过的科学涉及无摩擦的平面、质点和不可伸长的绳子，我们都知道世界上没有任何东西符合这些描述。也不应认为这些简化只出现在基础教材中，而更复杂的描述会出现在更高级的科学中，来表征事物的真实状态。例如，牛顿 科学在天文学中不可避免地使用了近似，将行星视为质点或均匀球体等。当量子力学被用来推导氢原子的性质，例如其特征光谱时，它被当作一个在正电荷质子附近运动的带负电荷电子，并与周围环境隔离。但现实中的氢原子永远不可能与周围环境完全隔离。卡诺循环和理想气体是另一些在科学中扮演关键角色的理想化，而它们在现实世界中没有对应物。最后，我们注意到，从实在论的角度来看，用来表征世界中系统的参数，例如行星的位置和速度或电子的电荷，在精确的数学方程中被视为无限精确，而实验测量总是伴随着一定的误差范围，因此一个测量量将被表示为 x±dx，其中 dx 代表误差范围。因此，总体的观点是，理论描述在各种方面都是理想化的，无法与现实世界的情况相对应。

我自己的观点是，科学中的理想化并没有带来人们通常认为的那种对实在论的难题。就所有实验测量无可置疑的不精确性而言，这并不能得出被测量的量不具备精确值。例如，我认为在物理学中，我们有强有力的证据支持“每个电子的电荷是完全相同的”这一主张，尽管对该电荷的测量不精确。许多宏观性质，如金属的导电性和气体的光谱，依赖于电子的行为方式，正是因为它们在强烈的意义上是相同的，它们服从费米-狄拉克统计，而不是经典的玻尔兹曼统计。这个例子不太可能打动那些将电子视为理论虚构的反实在论者，但就像哈金一样，在我看来，现在对电子的实验操控已经司空见惯，这使得对它们采取反实在论的态度变得极不可信。

理想化可以根据前一章关于定律性质的讨论，以一种有启发性的方式来看待。前一章提出，一类常见的定律描述了特定事物以某种方式行为或行动的能力和倾向。我们强调，不应期望 可观察到的事件序列会反映这些能力和倾向的有序行动，因为它们所运作的系统通常是复杂的，并涉及其他能力和倾向的同时运作。因此，例如，无论我们试图将旨在测量放电管中阴极射线偏转的实验做得多么精确，我们永远无法完全消除附近物体对电子的引力吸引、地球磁场等的影响。如果接受因果性定律观 能够解释科学中在规律性定律观 失败时的定律运作，那么这就要求我们将定律视为描述在表象背后起作用的因果能力，它们与其他能力结合，产生可能可观察到的结果事件或事件序列。也就是说，因果性定律观是一种实在论的观点。反实在论者似乎必须用某种版本的规律性定律观来捕捉科学中定律的运作。我们在前一章中讨论了他们面临的困难。

**非表征实在论或结构实在论**

如果我们审视最复杂的实在论和反实在论版本，那么每一种似乎都有一个重要的优点。实在论者可以指出科学理论的预测成功，并会问：如果理论仅仅是计算工具，如何解释这种成功？反实在论者可以反驳，指出过去的科学理论即使在实在论者看来是假的，也具有预测成功。这种理论的戏剧性更迭是支持反实在论者的关键点。有没有一种立场能够兼取两者之长呢？

过去我曾试图用一种我称为非表征实在论的立场来做到这一点。该观点与约翰·沃勒尔（John Worrall, 1989b）发展的一种他称为结构实在论的立场有相似之处。我的说法并没有流行起来。沃勒尔似乎更幸运。

光学史为我们提供了从实在论角度看最具 问题性的例子，因为在那里我们看到了无疑是成功的理论被推翻，伴随而来的是对光是什么样的事物的理解的改变。因此，让我们专注于这个有问题的案例，看看在何种程度上可以挽救实在论观点。波普尔 派的实在论者，在他们与实证主义或归纳主义对科学的理解作斗争的热情中，指出先前被充分证实的理论被证伪，以支持他们“科学知识是可错的，无论有多少支持它的正面证据”的论点。本着这种精神，他们会坚持，例如，菲涅耳的光的波动说已经被证明是假的。（不存在弹性以太，而且波动说无法处理像光电效应这种光表现出其粒子性质的现象。）但是，简单地将菲涅耳的理论斥为假，这有帮助或准确吗？毕竟，在广泛的条件下，光确实表现得像波。菲涅耳的理论不仅仅是预测成功。它在广泛的条件下成功地捕捉到了关于光的一些正确的东西，即在这种条件下它所展现出的波状结构。正是因为菲涅耳的理论成功地捕捉了这种结构，它才具有预测成功，并导致了像著名的白斑那样的戏剧性成功预测。沃勒尔通过关注菲涅耳理论的数学结构来强调这一点，并指出菲涅耳处理光时使用的许多方程，例如给出透明表面反射和折射细节的方程，在当前的理论中被保留了下来。也就是说，从当代对这个问题的理解来看，菲涅耳的方程提供了真实而非 错误的描述，尽管菲涅耳对他的方程所基于的现实的一些解释已经被抛弃了。

因此，科学是实在论的，因为它试图描述现实的结构，并且因为它成功地做到了这一点，而且准确度越来越高，所以它取得了稳步的进步。过去的科学理论之所以具有预测成功，是因为它们至少近似地捕捉了现实的结构（因此它们的预测成功不是一个无法解释的奇迹），从而避免了反实在论的一个主要问题。另一方面，虽然科学通过不断完善归因于现实的结构而稳步进步，但伴随这些结构的表征（弹性以太，空间是独立于其中物体的容器）却经常被取代。表征在更迭，但数学结构在稳步完善。因此，“非表征实在论”和“结构实在论”这两个术语都有其道理。

物理学进步的一个重要特征是，一个理论能在多大程度上解释它所取代的理论所取得的成功，这不仅仅是能够再现其预测成功。菲涅耳的光的理论之所以成功，是因为在各种广泛的条件下，光确实具有波状性质，这一事实被当代理论强化而不是驳斥了。同样地，从相对论的角度来看，我们可以理解为什么在各种广泛的条件下，涉及的质量不是太大，速度也不是太接近光速时，将空间视为一个独立于时间和其中物体的容器的假设，不会使我们偏离太远。任何关于物理学进步的解释都需要能够容纳这些普遍特征。至于将能够做到这一点的立场称为什么，其重要性要小得多。

**拓展阅读**

* 本讨论主要依赖于约翰·沃勒尔1982年和1989b年的著作。
* 关于科学实在论的论文集是Leplin (1984)。
* 波普尔对实在论而非工具主义的辩护在他的1969年（第3章）和1983年著作中。
* 反实在论的经典辩护是迪昂的1962年和1969年著作以及庞加莱（Poincaré, 1952），一个现代版本是范·弗拉森（van Fraassen, 1980）。
* 科学实在论在Psillos (1999)中得到辩护，结构实在论在Ladyman and Ross (2007)中，反实在论在Stanford (2006)中。

**第16章**

**第三版后记**

在本节的结尾部分，我将就前几章中取得的成果进行一些反思。我提出了三个相互关联的问题或难题，这些问题在撰写本书期间一直困扰着我，并且现在依然如此。

1. 我是否回答了构成本书标题的问题？科学这个东西到底是什么？
2. 本书中给出的历史例子与所捍卫的哲学论点之间是什么关系？这些例子是构成我论证的证据，还是仅仅是说明？
3. 第12章和第13章讨论的贝叶斯主义者和新实验主义者对科学的一般主张，与第11章中提出的反对普遍方法论的论点有何关系？难道如果不存在对科学的普遍解释，那么所有关于这个问题的进一步讨论都变得多余了吗？

我的回应如下：我重申，不存在一种适用于所有科学、在其发展所有历史阶段的普遍的科学解释和科学方法。哲学当然没有资源来提供这种解释。从某种意义上说，构成本书标题的问题本身是有误导性的。然而，对不同阶段的各种科学进行表征是一项有意义且重要的任务。在本书中，我试图为从17世纪科学革命至今的物理科学完成这项任务（尽管我没有探讨像量子力学和量子场论等现代创新在何种程度上涉及质的全新特征）。这项任务主要通过适当类型的历史例子来展示物理科学的本质。因此，历史例子构成了论证的重要部分，而不仅仅是单纯的说明。

尽管所呈现的物理科学解释远未能提供一个普遍的科学定义，但在涉及什么应该或不应该被算作科学的辩论中，它绝非无用。例如，在关于“创造论科学”（‘creation science’）地位的争议中，这一点就得到了体现。我推测，那些以这个名字捍卫创造论科学的人的主要目的是暗示它具有与公认的科学（如物理学）相似的特征。本书所捍卫的立场使我们能够评估这一主张。在展示了物理学寻求什么样的知识主张、有哪些方法可以确立它们以及取得了什么样的成功之后，我们就有了一个与创造论科学进行比较的基础。一旦展示了这些学科之间的异同，我们就拥有了进行明智评估所需的一切，并将能够判断将创造论科学命名为“科学”是否具有合法性。不需要一个普遍的科学解释。

在倒数第二段中，我指出我对物理科学的描述将通过“适当类型的历史例子”来捍卫。这里需要做一些阐述。适当类型的例子关注的是物理科学作为知识的运作方式。它们关注的是物理科学中对世界所做的主张类型，以及将这些主张应用于世界并根据世界进行检验的方式。它们关注的是哲学家所称的科学认识论。科学哲学是通过历史例子来进行的，这些例子展示和阐明了科学的认识论功能。所涉及的科学史是一种选择性的历史，当然也不是唯一可能或重要的科学史。科学知识的产生总是发生在一个社会背景中，在这个背景中，这一目标与具有不同目标的其他实践相互关联，例如科学家的个人或职业目标、资助机构的经济目标、各种宗教或政治团体的意识形态利益等等。探讨这些联系的历史是合法且重要的，但我认为，就本书的项目而言，它是无关紧要的。目前流行的一系列“科学社会学研究”暗示，如果不充分关注科学在多大意义上是社会性的，就无法进行我在本书中所做的这种认识论研究。在本书中，我没有正面挑战这些学派的思想。我满足于通过直接去做来表明他们认为做不到的事情确实可以做到。我试图与当代科学社会学研究算账的尝试出现在我的《科学及其捏造》（*Science and Its Fabrication*, 1990）一书中，我希望在那本书中我能清楚地表明，我个人认为对科学的社会和政治方面进行研究是非常重要的。这里争议的问题是这些研究的认识论相关性。

现在让我回到贝叶斯主义和新实验主义的地位问题，考虑到我对普遍方法的否定。贝叶斯主义似乎试图对一般科学推理进行解释，正如豪森（Howson）和厄巴赫（Urbach）1993年著作的标题清楚地表明的那样。然而，这种印象经不起分析。即使我们毫无疑问地接受贝叶斯主义的机制，这个机制给我们的是一种根据新证据调整信念概率的一般方法。它没有特别指出科学推理，也没有将其与其他领域区分开来。事实上，贝叶斯主义最有用的应用是在赌博而不是科学。因此，如果贝叶斯主义要告诉我们关于科学的独特之处，那么它就需要通过对科学中出现的信念类型和支持它们的证据进行解释来加以补充。我建议，这只能通过仔细审视科学本身来完成。更重要的是，我建议，当这样做时，会浮现出各种科学之间的差异，甚至是单一科学内部方法上的质变。也就是说，即使贝叶斯方法是正确的，它也不构成对普遍方法论的否定的威胁，并且需要我所提倡的那种认识论科学史。

新实验主义者当然揭示了实验及其在物理和生物科学中的一些重要特征。然而，由此产生的科学解释不能被视为提供了科学的普遍解释。举例来说，新实验主义者展示了过去三百年间自然科学中实验的能力和成就，而黛博拉·梅奥（Deborah Mayo）则通过诉诸误差理论和统计，为许多实验推理提供了形式上的基础。这不构成对科学的普遍解释，原因有二。首先，新实验主义对实验操控的强调使得这种解释对于理解那些实验操控不可能或不恰当的学科（特别是在社会和历史科学中）基本上是不相关的。这个结论可以通过将科学等同于实验科学来避免，但这很难安抚那些希望称自己为政治学家或社会学家的人。其次，正如第13章所论证的，新实验主义的解释是不完整的，因为它没有充分解释理论在科学中扮演的各种关键角色。我建议，这个问题在彼得·加利森（Peter Galison）1997年的著作中非常明显，他在书中通过关注粒子探测器和计数器、它们的能力及其演变，对20世纪微粒物理学的进展进行了丰富的描述。但书中没有阐明的是实验性粒子探测与高阶理论（涉及对称性和守恒原理）之间的关系，而粒子正是通过这些理论被理解和分类的。在撰写这篇后记时，我认为在自然科学哲学中，一个突出而紧迫的问题是，如何通过详细的案例研究来补充新实验主义者的见解，并相应地更新对理论在实验科学中角色的解释。

以下历史反思说明了从新实验主义者的工作中提取一些普遍的科学表征或规范的困难性，并阐明了我在澄清理论与实验关系本质时所想到的那种研究。在科学革命时期，通过实验操控世界来理解世界的想法绝非新颖。炼金术（广义上理解为现代化学的前身，涉及物质的有目的转化，而不是狭义上将贱金属转变为黄金的尝试）可以追溯到古代，并在中世纪盛行。这种实践并不特别成功。这种缺乏成功不能简单地归因于缺乏理论指导。一系列原子论和其他物质理论为炼金术士的工作提供了信息。如果一个人倾向于忽略理论而只看实验实践，那么在16世纪和17世纪的冶金师和药物制造商的技艺传统中，可以辨别出显著的进步。然而，所涉及的知识可以被看作与17世纪末和18世纪出现的化学在本质上是不同的。后者确实涉及“理论”，但它是非常低阶的理论，与原子论相去甚远。当时需要的是，并且在18世纪初被提供的是，一种化学结合和再结合的概念，其中包含了一种思想，即物质在结合后，在形成的化合物中继续存在，并且可以通过适当的操控再次被提取出来。将物质分为酸和碱，以及通过其中一种对另一种的中和作用所产生的盐的分类，提供了一种组织研究的方式，使得在不需要某种原子论或其他物质理论的情况下也能取得进步。直到19世纪，将这些推测与实验联系起来的时机才成熟。因此，即使我们将讨论限制在化学领域，实验在科学中的作用及其与理论的关系也是一个复杂且具有历史相对性的问题。

最后，我将就本书中探讨的科学观点与科学家的工作之间的关系做一些评论。既然我否认存在一种可供哲学家使用的、能够为评判科学提供标准的普遍科学解释，并且既然我论证了对各种科学的充分解释只能通过仔细审视科学本身来获得，那么人们可能会得出结论，科学哲学家的观点是多余的，只有科学家自己的观点才重要。也就是说，人们可能会认为，只要我成功地论证了我的观点，我就让自己失业了。这个结论（对我来说幸运的是）是没有根据的。尽管科学家本身是最擅长进行科学实践的人，并且不需要来自哲学家的建议，但科学家们并不特别擅长退后一步，描述和表征他们工作的本质。科学家通常擅长取得科学进步，但并不特别擅长阐明这种进步由什么构成。这就是为什么科学家们并不特别擅长参与关于科学的本质和地位的辩论，并且当涉及到关于科学的本质和地位的争议（例如，在评估创造论科学时）时，他们通常做得不好。本书的目的不是为科学做出贡献，甚至不是我所关注的物理科学。相反，我主要通过历史例子，试图阐明物理科学是什么或曾经是什么样的事物。

**拓展阅读**

* 关于中世纪炼金术及其所涉及的各种原子论理论，请参阅 Newman (1994)。
* 关于将炼金术解释为化学而非狭隘理解的论证，以及关于在17世纪之交“炼金术”狭隘解释的起源，可以在 Newman and Principe (1998) 中找到。
* 关于在18世纪引入能够支撑新化学科学的化学结合概念的解释，请参阅 Klein (1995) 和 Klein (1996)。

**第17章**

**结语**

**引言**

正如书名《科学家的原子与哲学家的石头：科学如何成功，哲学如何未能获得原子知识》所暗示的，我的这本书试图区分关于原子的科学知识和哲学推测。我旨在精准定位20世纪初出现的原子知识所具有的特征，正是这些特征使其有资格被称为科学，而这在之前的原子论版本中是不存在的。通过理解19世纪之交物理科学中原子论的地位，与德谟克利特或17世纪机械论哲学家著作中原子论的地位之间的差异，我们才能牢牢把握科学这个东西到底是什么。

我关于科学主张和哲学主张之间区别的粗略解释是：前者得到了经验证实，而后者没有。这种认为科学知识的独特之处在于其得到经验证实的想法并不新颖。这是《科学这个东西到底是什么？》的出发点，并在随后的章节中受到了批判性审查的常识性观点。在引言中我曾提到，“科学知识的独特之处在于它源自经验事实的观点，如果要得到认可，也只能以一种谨慎和高度限定的形式存在”（第 xx 页）。在我年老时，我变得不那么谨慎了，也许更保守了。我相信，一旦我们有了恰当的证实和经验证据概念，科学的独特之处恰恰在于它获得经验支持的方式。

认为科学知识因其得到经验证据的证实而具有独特性，这要求我们对证实和何为证据有一个恰当且严苛的理解。主张得到证实，是因为它们经受住了证据的检验，而不仅仅是与证据相符。同时，相关的证据通常源于严谨的实验干预。对于实验结果的性质和地位，我没有什么可补充的，前几章，特别是第13章，已经有足够多的讨论。但我确实希望对证实的讨论进行阐述和补充。

贯穿《科学这个东西到底是什么？》以及整个当代科学哲学的一个主题是科学知识的 可错性。科学内部的一般性主张是 可错的，因为它们所基于的证据范围有限且本身就具有 可错性。历史也表明，曾经被认为得到充分证实的理论后来被发现有缺陷并被取代。这种 可错性与“科学理论因为得到充分证实而特殊”的想法之间存在一种张力。对这个难题的部分回应是坚持一种恰当的 强 形式证实。亚里士多德的四元素理论确实被驳斥了，但它从未在恰当的强意义上得到证实。另一方面，例如，牛顿力学在非常强的意义上得到了证实，但这并未阻止它在面对质量非常大或速度非常快的物体时失效。从某种意义上说，牛顿理论被证伪了，但并未到被抛弃的程度。它是相对论的极限情况，至今仍被用于预测航天器和人造卫星的轨道。科学的一个特征是，得到充分证实的理论以其后继者的极限情况形式继续存在。从某种意义上说，理论是 可错的，无论它得到多好的证实，但这是一种高度限定的意义。

认为科学理论因其得到充分证实而具有特殊性，但仍然有可能被取代，这一想法对实在论与反实在论的辩论产生了影响。如果实在论者被理解为认为科学正朝着对世界最终样貌的越来越精确的图景前进，那么即使是得到充分证实的理论，也可能被涉及根本不同图景的理论所取代，这便构成了一个严重的难题。例如，如果我们考虑物理世界最终是连续的还是不连续的这个问题，就很难将物理科学的进步理解为让我们更接近这个问题的答案。到20世纪初，物质具有原子结构的论点已经很有说服力，但没过多久，原子就被描述为延伸到无限远的连续波函数。更重要的是，连续电磁场变得和原子一样成为物理学的基本概念，两者都表现出波状和粒子状的特征。谁知道下一代粒子加速器揭示的发现，会对电磁场或电子赋予什么样的深层结构？

这种反思对强版本的科学实在论构成了问题。另一方面，电子存在的证据是如此之强，以至于认为未来的科学会证明它们不存在是愚蠢的，尽管未来科学很可能会揭示一些关于它们的惊人事实。在本结语的稍后部分，我将重新审视在第15章讨论过的实在论/反实在论辩论，试图更精准地定位科学在何种意义上值得一种实在论的解释。

**通过巧合论证来证实**

无论科学主张得到多么充分的证实，当它们被推向新的精确度水平，或被应用于从未测试过的领域时，都可能被发现有所欠缺。否则又怎么可能呢？但是，科学的这种 可错性并不能改变一个事实：某些定律和理论可以被证实到如此高的程度，以至于它们不可能完全偏离正轨。如果主张真正地得到了一系列独立证据的证实，那么除非它们是对真理的良好近似，否则这将是一个无法解释的巧合。

巧合论证只有在得到足够强有力的证据支持时才成立。论证的强度与一系列因素相关。

第一，观察和实验证据本身必须经受住一系列严苛、客观的测试，正如第2、3和13章所考虑的那样。

第二，如果主张要被证据支持，那么它们必须真正地经受证据的检验，而不是仅仅迁就证据。如果托勒密天文学可以通过无限制地增加本轮来确保与行星位置观察相符，那么它能够与观察兼容就不是一个巧合。

第三，这里涉及第三个因素。它源于一个事实：定律和理论需要通过额外的假设（简称为辅助条件）来补充，才能进行测试。必须警惕的一个危险是，测试的成功或失败是由于辅助条件的不足，而非被测试的主张本身。牛顿的光微粒说能够推导出折射定律，如果假设光微粒在从光学密度较低的介质进入密度较高的介质时受到吸引，并因此在后者中以更快的速度运动。但后两个假设都是错误的，对该理论的支持是虚幻的。相反，证伪也可能是错误的。鉴于当时人们普遍估计的恒星距离，哥白尼理论与恒星视差不可观察的事实相冲突。但错误的是关于恒星距离的假设，而不是理论本身。解决这些问题的办法是坚持，在必要的情况下，辅助条件必须接受独立于被论证理论的测试。仅仅因为天王星轨道偏离了牛顿天文学的预测，就断定这是由于某个未识别天体的吸引，这只是在迁就证据。但一旦海王星被观察到并确定了其近似轨道，情况就不同了。天王星的观测轨道与牛顿理论预测的（在考虑到天王星和海王星之间的吸引力之后）相符，这构成了对该理论的真正证实，而不是证伪。

第四个因素在第13章的讨论中有所暗示，但没有得到足够的突出，它关系到黛博拉·梅奥（Deborah Mayo, 1996）所说的理论的划分。如果理论概括的程度超出了证据所能保证的范围，那么它就不会被证据证实。牛顿理论（加上绝对空间的假设）被广泛的地面和天文学现象预测所支持。但即使放弃绝对空间的假设，这些预测也同样成立。牛顿理论的预测只需要指定物体之间的相对运动。可以将牛顿定律从绝对空间的假设中划分出来。一旦这样做，就可以明白后一个假设是多余的，因此没有经过证据的测试。牛顿理论（包含绝对空间的假设）能够预测广泛的证据，这不是巧合，因为这些证据是由没有绝对空间的理论所解释的。理论可以被划分的方式不一定透明。在广义相对论中，可以将“空间是弯曲的”这一假设，与关于弯曲程度和原因的更强假设区分开来，这在爱因斯坦时代并没有被完全理解。一旦这样做，就可以明白广义相对论的一些关键预测只需要弯曲时空，而不是例如爱因斯坦自己版本的理论中所隐含的更具体假设。可实验探测的红移就是一个例子。从我（追随梅奥）所主张的观点来看，即使爱因斯坦的版本预测了红移，它也没有被红移所证实！

第五点涉及理论证据的范围和多样性。如果一个理论通过符合前几段所概述的严格规定的方式，得到了越广泛的现象的证实，那么整个理论的证实程度就越强。如果一个理论是错误的，它能够在一系列性质不同的真正测试中幸存下来，这确实是一个巧合。牛顿理论以越来越高的精度解释了行星轨道的细节、春分点的岁差、潮汐、台球碰撞、重力随高度的减小以及哈雷彗星的回归。每一个证实实例都符合上述标准。如果牛顿理论是假的，它怎么可能完成这一切？好吧，我们现在知道它在某种意义上是假的。它在相对论和量子效应的情况下失效了。但它并非根本性地错误，因为它在很大程度上真实地近似描述了广泛的现象。更重要的是，它之所以能够做到这一点，在很大程度上可以由取代它的相对论和量子力学所解释。

认为理论被越广泛的证据证实，其证实强度就越强的想法，使得证实的强度成为一个程度问题。如果一个理论是假的，它被越广泛的现象证实，那么其中涉及的巧合就越大。托勒密的天文学理论在某种程度上得到了真正的证实。引入本轮是为了解释逆行运动。但一旦这样做，该理论就预测行星在逆行时会显得最亮，因为那是它们离地球最近的时候。这一预测的证实构成了对托勒密 理论的真正证据，因为其中涉及的本轮有独立的证据支持。但托勒密 理论仍然是假的。我绝不主张可以对证实程度进行量化，但我希望我的例子能清楚地表明，从某种意义上说，牛顿理论通过我在上一段列出的证据得到的证实，比托勒密理论通过逆行运动和亮度之间的关联得到的证实要强得多。

科学的 可错性 常常通过列举那些后来被驳斥的理论来强调，比如亚里士多德的元素理论、牛顿的光微粒说、热质说等等。言下之意是，正如过去的理论尽管有证据支持，仍然被驳斥，我们当前的理论未来也会被驳斥。我认为这夸大了事实。一旦我们对什么构成证实有足够高的标准，那么许多过去被驳斥的理论要么没有得到证实，要么只得到了非常微弱的证实。在那些得到充分证实的情况下，理论并没有被完全驳斥，而是作为其后继者的近似或极限情况而继续存在。

我最近在 查默斯（Chalmers, 2009）中对原子论的研究，详细比较了起源于古希腊的哲学原子论和后来成为物理科学一部分的科学原子论。我主张，两者之间的区别恰恰在于后者得到了经验证实，而前者没有。在接下来的三节中，我将借鉴这项研究，进一步说明和阐述我上面概述的证实立场。

**关于原子的哲学知识与科学知识**

古希腊出现的原子论与成为当代科学基础的原子论之间存在两个关键区别。哲学原子论寻求对物理现实的终极解释，而当代科学则不然。与此相关的是，后者得到了经验证据的证实，而前者充其量只是迁就了证据。

前苏格拉底时期的哲学家们——这些在苏格拉底之前，即公元前6世纪和5世纪，开创了对宇宙本质进行抽象、理性思考模式的个体——将变化视为一个需要解答的问题。这个问题的尖锐提出者是巴门尼德，他提出了一个极端而惊人的论点：变化是不可能的，因此必然是一种幻觉。他从一个看似合理的假设开始：某物不能从无中来。但任何变化都涉及某种之前不存在的东西进入存在，也就是说，它涉及某种东西从无中来。巴门尼德还认为，虚空（空的空间）不能存在，因为虚空是无，而“无”不能存在。他因此得出结论，与我们的感官所见相反，宇宙是一个同质、不变的球体。

作为对巴门尼德的回应，留基伯 和德谟克利特在公元前5世纪发展了原子论。他们的原子是具有不变形状和大小的微小“存在包裹”，它们之间被虚空隔开。虚空 被理解为存在，尽管从某种意义上说它是“无”，因为它被认为是存在的缺席，即原子的缺席。这种关于世界终极结构的图景足以让原子论者认为变化是可能的。变化是通过原子自身的运动和重新排列而发生的，而原子本身是不变的。

我怀疑古代原子论者会认为应该用经验来捍卫他们的理论，这种想法有些庸俗。原子论被提出作为对所有变化的终极解释。为了让 变化可理解，必须有某种持续存在的东西，才能让我们说，无论发生了什么变化，该事物都保留了其同一性。我们想要能够说“那片绿叶变成了棕色”，而不仅仅是“那片绿叶被一片棕色的叶子取代了”。当我们对变化的解释推得足够深时，我们就会达到一个终极解释，它必须涉及一个持续存在于变化之中的终极现实，并且是所有变化的底层基质。对变化的观察永远不会揭示隐藏在变化背后的现实。感官可及的表象，永远不会产生对隐藏在表象背后现实的知识。

像德谟克里特这样的原子论者确实在弱 意义上为他们的论点提供了经验支持。他们试图提供一个看似合理的故事，说明我们所知的宇宙如何与“宇宙除了虚空中的不变原子之外别无他物”这一想法相兼容。例如，他们解释了地球如何因原子的偶然碰撞而形成，重力如何因原子碰撞而产生，以及感知如何因从被感知物体发出的原子到达并与我们的感官相互作用而产生等等。然而，这些被提出的机制是否真的能够解释它们所要解释的现象是值得怀疑的。无论如何，对于这些机制的存在和性质，都没有独立的证据。古代原子论充其量只是迁就了经验证据，而没有被其证实。

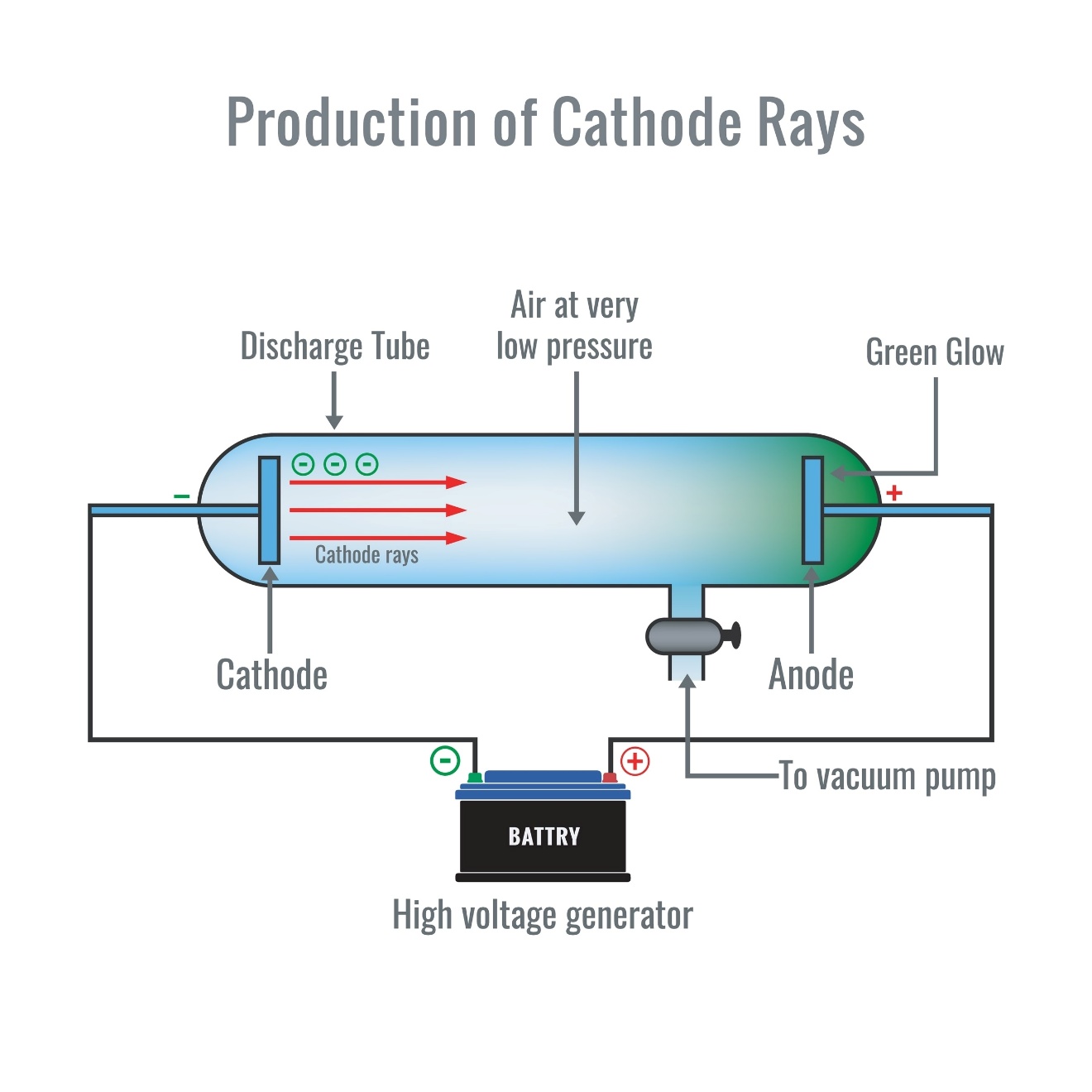
像德谟克里特的原子论在17世纪被机械论哲学家所复兴。一个重要的区别是，他们将其限制在物质世界，将心灵、灵魂、天使和上帝等非物质世界排除在外，而古代人没有这样做。用机械论世界观取代亚里士多德世界观，通常被视为17世纪科学革命的组成部分。在我的新书中，我论证了这种观点是有误导性的。我区分了以罗伯特·玻意耳和艾萨克·牛顿为例所捍卫的机械论哲学（包括其原子论版本）和新科学，例如玻意耳的气体力学和牛顿的力学。我区分的理由恰恰在于：前者只是迁就现象，而后者是通过经验得到证实的。在这方面，我将简要谈谈玻意耳和牛顿。

玻意耳本人几乎就做出了我所引用的区分，即他所代表的机械论哲学与实验科学之间的哲学。他区分了中间原因和终极原子解释，前者可通过实验获取，后者则不能。在他的气体学中，他声称气压计和注射器等一系列现象可以通过诉诸于空气的重量和弹性来解释。他用一系列实验支持他的主张，其中许多实验涉及他为此目的设计的气泵。他重新设计了实验以消除批评者的反对意见。到他完成时，他有充分的理由声称他的气体学已被确立为“事实”。但当涉及到他的机械论哲学时，情况就不同了。他声称物质世界由不变的微粒（corpuscles）组成，这些微粒只拥有确定的形状和大小，以及一定程度的运动或静止。为了捍卫这一观点，他提出了可能的机制，他希望这些机制能够再现常见的现象。例如，他诉诸于微粒的互锁形状来解释各种化学现象，以及微粒的运动来解释热量。他的解释是否成功是值得怀疑的。在重力和弹性方面，他公开承认自己无法设计出合理的解释机制。即使在可以设计出充分机制的情况下，他也没有独立的方法来测试它们的存在。与他的气体学不同，玻意耳充其量只能让他的原子论迁就证据。它没有被证据证实。

牛顿因其在《自然哲学的数学原理》（*Principia*）中包含的力学而闻名于世。他能够通过一系列经验证据来捍卫他的理论，这种方式符合并代表了我在第二节中概述的严格的理论证实解释的最令人印象深刻的例子之一。我将牛顿声称他的力学是“从现象中推导出来”的解释为这个意思。牛顿 将他力学的这一方面与笛卡尔在《哲学原理》中提出的机械世界观进行了对比。用我的语言来说，牛顿认为笛卡尔只是迁就了他的机械世界观与现象，而他自己则是通过参考可观察到的现象证实了他的力学。然而，除了设计他的力学之外，牛顿也是一位原子论者。就捍卫他的原子论而言，他只能论证他的原子论在多大程度上能够迁就现象。

德谟克里特、玻意耳和牛顿的原子论作为对一般物质世界终极性质的解释被提出，并以可观察到的现象能够迁就它作为支持。然而，19世纪晚期进入科学领域的原子论，无论是其所涉及的主张类型，还是所提供的支持证据类型，都与此不同。气体分子运动论（将其理解为由运动中的分子组成）和化学原子论（将其理解为化学反应是通过原子和分子的结合而发生）并不是关于普遍世界的理论，而是关于涉及气体行为和化学结合的特定现象的理论。原子理论的充分性不依赖于所提供的解释是终极解释。很快，就有必要赋予原子内部结构。最后，20世纪初可以用来支持原子论的实验证据，满足了我在这篇结语第二节中总结的关于证实的严格要求。

1897年，通过J.J.汤姆逊对阴极射线的实验，为物质的粒子结构提供了强有力的证据。阴极射线穿过两端施加高压的真空玻璃管。当汤姆逊开始他的研究时，阴极射线已经为人所知超过四十年。利用改进的真空技术，汤姆逊能够使阴极射线在电场和磁场中偏转。他利用电磁定律和牛顿运动定律（两者都得到了大量独立证据的支持），证明这些偏转提供了阴极射线由快速移动的带电粒子组成的证据。他能够测量这些粒子的电荷与质量之比。其他实验使得可以单独估算这些粒子的电荷，从而可以计算出它们的质量。测量结果显示，这些粒子的质量极其微小，比基于气体分子运动论归因于原子的质量小两千倍。汤姆逊的论证本身就很强，而事实上其他研究人员通过研究除阴极射线之外的现象也得出了类似的结论，这使得他的论证更具分量。彼得·塞曼（Pieter Zeeman）通过研究磁场对光谱线的分裂，得出了原子包含小负电荷粒子的结论，并且他测量出的这些粒子（现在被称为电子）的质量和电荷值与汤姆逊的测量结果相符。



电子的出现并非源于对一般物质结构的推测，而是源于通过实验来理解阴极射线和光谱线等特定现象的尝试。具有特定质量和负电荷的电子并非为了迁就现象而捏造出来的，而是被现象强加给实验者的。电子的微小尺寸和它们只带负电荷的事实，对塞曼和汤姆逊来说都是出乎意料的惊喜。需要将电荷和质量都归因于粒子，是由于电场和磁场对它们的影响所致。电荷作为概念是在19世纪电磁理论的发展过程中出现的。它与机械论的世界观并不容易契合，许多物理学家，包括詹姆斯·克拉克·麦克斯韦，曾试图用机械论的方式来解释它，比如用机械以太中的应力应变等。汤姆逊和塞曼将电子的电荷和质量一样，视为一种未被解释的原始特性。这一举动是电磁现象实验研究的自然结果，它与机械论或任何其他哲学中的推测背道而驰，也与它们毫无关系。当人们发现有必要赋予电子一个半整数自旋（一个没有经典对应物的量子力学概念），以及当意识到电子服从量子而非经典统计时，这种趋势还在继续。

19世纪末期正在发展的原子和亚原子物理学所涉及的主张和论证方式，与机械论哲学家所启发的哲学原子论本质上不同。但这还不是全部。前者的出现几乎与后者无关。尤利乌斯·普吕克（Julius Plücker）在1859年利用一些技术创新首次制造了阴极射线。他通过使用他自己实验室的技术员约翰·盖斯勒设计的水银扩散泵，将放电管抽到前所未有的真空度，并使用海因里希·吕姆科夫设计的感应线圈产生了高压。不久之后，人们发现阴极射线会被磁铁偏转。但在电场中偏转它们却不那么简单。直到1884年赫兹尝试时都失败了。汤姆逊在1897年的成功，很大程度上得益于因试图延长电灯泡寿命而出现的改进的真空技术。这里有一个详细的故事，我只做了简要概述。但这个概述足以表明，通向汤姆逊成功的道路与阐述和捍卫哲学原子论所涉及的考量方式没有多少相似之处。

**独立证据与“观察的理论依赖性”：佩兰的布朗运动实验**

我一直强调的关于科学经验证实的一些观点，可以通过仔细研究让·佩兰（Jean Perrin）从1908年开始进行的布朗运动实验，以及他通过这些实验为原子论建立的论证性质，得到很好的阐明。关注细节表明，佩兰通过强有力的巧合论证确立了气体的分子构成；他的观察没有以任何有问题的方式依赖于理论；但尽管如此，他所捍卫的分子运动论在某些方面仍然是错误的。

1827年，英国博物学家罗伯特·布朗（Robert Brown）首次通过显微镜观察到悬浮在流体中的微小颗粒的不安运动。到19世纪末，物理学家们怀疑这种后来被称为布朗运动的现象与分子运动论中假定的流体分子的运动之间存在联系。支持这一想法的是布朗运动的无序性、在没有明显原因的情况下持续存在，以及它可以很容易地与由外部原因（如振动和局部加热）引起的协同运动区分开来。在我下面分析的方式中，佩兰的实验毫无疑问地证明了布朗粒子的运动确实是由与它们所悬浮的液体分子的碰撞引起的。

为了捕捉佩兰论证的逻辑，我将以比佩兰实际上更系统的方式，将他的实验和他通过这些实验能够确定的布朗运动特征，与他如何利用这些结果来论证分子运动论的方式分开来讨论。

佩兰能够使用1903年发明的超显微镜来仔细观察布朗粒子。通过多种独立方法，佩兰能够证明这些运动确实是随机的。需要解释的是，尽管这些粒子由比悬浮液体更密的树脂制成，但它们却无限期地保持悬浮，没有沉到容器底部。一个解释应运而生：基于对每单位体积的悬浮布朗粒子数量随高度减少的认识。考虑到这一点，粒子的随机运动会产生一个向上的压力，因为从下方撞击液体中水平层的粒子数量会略微大于从上方撞击的粒子数量。当这个向上的压力效应与粒子向下的重力相平衡时，就达到了平衡。佩兰能够通过实验证明，一旦达到热平衡（大约需要三个小时），粒子的密度分布确实能无限期地保持恒定。

由 n 个质量为 m 的粒子以平均速度 v 撞击表面所施加的压力，是一个简单的牛顿力学练习。佩兰可以使用詹姆斯·克拉克·麦克斯韦在气体分子运动论中引入的统计技术，计算出粒子在单位时间内撞击表面所产生的动量变化。将这个向上的力等同于粒子向下的重量，得到以下方程：

这里，n0​/n 代表两个高度（相隔距离 h）上每单位体积的粒子数量之比，Δ 代表布朗粒子材料的密度与它们所悬浮液体的密度之差，r 是它们的半径，g 是重力加速度，而 W 是粒子的平均动能，即 21​mv2 的平均值。

该方程表明 n 随高度呈指数变化。佩兰能够通过实验证明情况确实如此。此外，佩兰能够测量上述方程中除 W 之外的所有量（下面会讨论测量方法），因此他可以计算出平均动能。一系列改变粒子大小、材料和悬浮液体性质的实验表明，粒子的平均动能独立于所有这些因素，并且只取决于实验时的绝对温度 T。

上述讨论只涉及佩兰在假设牛顿力学的基础上，通过观察布朗运动所能确立的内容。没有涉及对气体分子运动论的诉诸。但是，一旦假设布朗运动是由粒子与悬浮液体分子的碰撞所经历的统计波动引起的（正如分子运动论所假设的那样），那么佩兰的发现就得到了现成的解释。运动的广泛特征本身就需要解释。在这里，需要认识到布朗粒子很少相互碰撞。那么，它们频繁改变运动方向的原因是什么呢？粒子与悬浮液体分子的随机运动发生碰撞提供了答案。分子运动论的一个基本假设是：系统的温度是对其底层分子运动平均动能的度量。从分子运动论的角度来看，处于 热 接触的系统会稳定到相同的温度，这意味着它们的分子运动的平均动能会趋于相等。将这个假设应用于布朗运动，一旦达到热平衡，布朗粒子的平均动能将变得等于与它们碰撞的分子的平均动能。也就是说，一旦温度确定，粒子的平均动能就确定了。我们立即就能解释佩兰的实验发现：他测量的平均动能独立于粒子的大小、材料和悬浮液体的性质。佩兰确定的许多布朗运动的定量特征，一旦我们诉诸于分子运动论，就能得到立即而直接的解释，否则就会是神秘的。

这里涉及的“巧合论证”绝没有穷尽佩兰通过实验所能支持的分子及其运动的论证。我们已经看到他如何测量布朗粒子在某个绝对温度 T 下的平均动能。分子运动论的基本原理是：任何系统在温度 T 下的所有组成粒子的平均动能都将是相同的。通过测量布朗粒子的平均动能，佩兰不仅测量了导致其运动的分子运动的平均动能，他还测量了在温度 T 下任何系统的分子运动的平均动能。特别是，他实际上测量了在温度 T 下气体分子的平均动能。这些知识使得以一种直接的方式（我在此不赘述）计算阿伏伽德罗常数成为可能，即任何一克分子气体中的分子数。这个值与通过完全不同方法得出的值 很好地吻合，这进一步加强了佩兰的“巧合论证”。

还有更多。正如爱因斯坦在1905年所展示的那样，分子运动是布朗运动原因的假设对粒子随时间变化的平均位移和平均旋转有影响。分子运动论意味着这两个量都应该与时间的平方根成正比。佩兰能够通过实验证明情况确实如此。更重要的是，对平均位移和平均旋转的测量，为佩兰提供了另外两种测量粒子平均动能（以及在给定温度下气体分子的平均动能）的方法。这反过来又为他提供了另外两种计算阿伏伽德罗常数的方法。结果与之前的结果非常吻合。

到目前为止，在我的讨论中，我只是简单地假设佩兰可以测量布朗粒子的半径等量，并比较不同高度上每单位体积的粒子数。查看佩兰测量的一些细节，可以深入了解观察的理论依赖性和独立测试的重要性。我以佩兰确定布朗粒子半径的程序为例，该半径在上述方程中用“r”表示。

提及粒子半径意味着它们都具有相同的半径。佩兰花了长达三个月的时间来制备含有大小近似相等的粒子的乳状液。他为此使用了最先进的离心机。测量粒子的大小绝非易事。它们太小了，无法用旅行显微镜直接测量。佩兰在他的第一篇出版物中描述了他是如何通过测量一团粒子通过已知粘度液体下落的速度，并使用斯托克斯定律计算它们的半径来估算大小的。斯托克斯定律将球体在粘性介质中移动时所受到的阻力与其速度联系起来。批评者对佩兰提出了质疑，指出斯托克斯定律从未在像布朗粒子这么小的粒子上得到实验证实，而该定律的理论推导假设粘性力在球体表面是连续变化的，从分子运动论的角度来看，这几乎不是一个没有问题的假设！佩兰对此的回应是设计了另外两种测量半径的方法。在容器壁附近，布朗粒子倾向于凝结成群。佩兰在其中寻找对齐排列的粒子。通过测量，比方说，五个对齐排列的粒子的长度（这可以通过旅行显微镜实现），佩兰可以估算每个粒子的半径。对其他对齐粒子重复测量得到相似的半径值，这为佩兰提供了直接证据，证明这些粒子确实是大小均匀的。佩兰还通过称量含有可数数量粒子的体积，并使用粒子材料的密度（他也可以通过几种独立方法测量）来计算它们的半径。除了那些涉及斯托克斯定律的测量之外，这些测量中的任何一个都不能说在任何有用的意义上是理论依赖的。更重要的是，佩兰 只接受那些多种独立测量结果一致的数值。以类似的方式（我在此不详细记录），佩兰支持了他对布朗粒子材料密度、不同高度上每单位体积的粒子相对数量以及粒子平均位移和平均旋转的测量。

佩兰的实验测量得到了最强有力的证实，这是可以合理要求的。对于理解他为分子运动论建立的论证性质，佩兰所测试的主张的推导过程也具有同等的重要性。我们已经讨论过，向理论中添加辅助假设会引入缺陷，从而可能导致关于其优劣的错误结论。佩兰论证的一个显著特征是，它只需要分子运动论的基本假设，而不需要潜在有问题的辅助条件。分子运动论的基本原理是归因于分子运动的随机性和能量均分。佩兰通过多种方式展示了布朗粒子的运动确实是随机的，从而为前者提供了新颖的支持。能量均分则需要一些讨论。

分子运动论的一个基本假设是将温度与系统分子的平均动能等同起来。在相同温度下的所有系统的分子必须拥有相同的平均动能。因此，例如，如果氢气与氧气处于热平衡状态，那么两种气体的分子平均而言必须拥有相同的动能。由于氧分子比氢分子重，它们平均而言的移动速度通常比后者慢。因为从分子运动论的角度来看，分子和与它们碰撞的布朗粒子之间的唯一区别是尺度，能量均分也必须适用于这些粒子。这是在佩兰解释我们已经讨论过的布朗粒子密度分布细节时所涉及的假设，而且是唯一一个涉及分子运动论的假设。

从更普遍的意义上讲，分子运动论涉及能量的均分。当分子碰撞时，它们会损失或获得动能，不仅是通过相互转移动能，还通过获得或损失旋转或振动能。然而，如果温度要保持恒定，那么平均动能必须通过这种能量交换保持不变。平均而言，在某些碰撞中损失到振动或旋转能的动能，必须被在其他碰撞中获得的动能所平衡。结果是能量在平动、转动和振动模式之间均分。只有在这个假设下，一个系统才能从分子运动论的角度被认为具有一个确定的温度。平动（动能）和转动能的相等性，在佩兰对布朗粒子平均旋转的调查中被涉及。

佩兰的观察得到强有力证实，以及他对分子运动论的测试只需要该理论的一般假设而不需要潜在有问题的辅助条件，这两点共同解释了他的论证强度。让我戏剧性地描述一下佩兰从粒子密度分布计算阿伏伽德罗常数的情况。鉴于佩兰 只接受那些通过多种独立方法得到支持的测量结果，在某种强烈的意义上，佩兰无法选择他需要输入方程的数字。它们是由世界决定的，而不是他自己。布朗粒子的垂直分布应该是指数式的，以及可以从中计算出阿伏伽德罗常数，这源于分子运动论所基于的动能均分，而不需要其他任何假设。当佩兰测量布朗粒子在约十分之一毫米高度上的密度分布变化时，是大自然提供了最终的测量结果。结果可能是在如此小的距离上没有检测到密度变化。如果出现这种情况，佩兰会计算出阿伏伽德罗常数为零。也可能经过足够长的时间后，布朗粒子都沉到了容器底部。如果出现这种情况，佩兰会推导出阿伏伽德罗常数为无穷大。可能性的范围几乎不可能更大了。可以想象为什么佩兰（1990, p. 104）“怀着最强烈的情感”迎接这个事实：他的测量结果得出的数字大约是 7×1023，这个数值与之前通过不涉及布朗运动的方法得出的阿伏伽德罗常数估计值非常接近。而这仅仅是佩兰能够为支持分子运动论而建立的“巧合论证”的一部分。

佩兰对分子运动论的论证几乎不可能更强了。鉴于此，人们可能会倾向于得出结论，当代科学哲学中常见的、并在本书中得到适当认可的关于科学知识 可错性的坚持是不当的。那将是一个错误。事实上，佩兰所支持的分子运动论是错误的，并且已知是错误的。该理论的能量均分基本原理对气体的比热有直接的推论，而这些推论与观察相冲突。能量均分在振动模式上失效了，并且在足够低的温度下，在转动模式上也会失效，佩兰本人也意识到了这一点。解决这个问题需要量子力学。在佩兰的实验之后，关于物质的分子构成以及将分子运动确定为布朗运动的原因，几乎没有任何疑问。但这还不足以构成对分子运动论的无条件证实。

**理论的划分：19世纪化学中的原子论**

对理论的实验支持并不总是像佩兰对分子运动论那样令人信服。正如我们所指出的，即使是这样，我们也需要谨慎对待究竟是什么得到了证实。佩兰证实了分子运动论的某些方面，但不是全部。这里有两个问题，都可以通过参考约翰·道尔顿将原子引入化学的例子来得到很好的说明。第一个问题是认识到巧合论证的强度是一个程度问题。第二个问题是，在可能的情况下，需要划分理论，以帮助精确确定其哪些部分被特定的实验论证所证实。

1808年，道尔顿出版了他的《化学哲学新体系》。他在书中提出，每一种化学元素都由原子构成，而化合物则由“复合原子”构成，这些复合原子由组成它们的元素原子构成。一种元素的原子都相同，一种给定化合物的复合原子也都相同。道尔顿的理论可以从最有利的角度来看，因为它被其所蕴含的三条比例定律所证实。定比定律指出，化合物中元素的相对重量比例总是相同的。（水中氧与氢的重量比总是8比1。）倍比定律指出，如果两种元素结合形成不止一种化合物，那么在每种化合物中，一个元素与固定重量的另一个元素的重量比将是简单的整数比。（氧化亚氮、一氧化氮和二氧化氮中每单位重量氧的氮的重量比为4:2:1。）当量定律指出，如果元素A和B都与C结合形成化合物，并且如果A和B以 x:y 的比例结合形成化合物，那么与固定重量的C结合的A和B的相对重量比将为 nx:my，其中 n 和 m 是小整数。（氢和氧以1:8的比例结合形成水，并且两者都与氮结合形成氨和一氧化氮。在后两种化合物中，氢和氧与固定重量的氮的重量比为3:16，这符合定律 3×1:2×8。）不难看出，这些定律如何可以被视为从道尔顿的假设中直接推导出来的：化合物的最小部分由具有确定和不变重量的元素原子组成。

在道尔顿提出他的原子理论时，它得到的反对多于支持。这有多种原因。其中一个原因是，鉴于道尔顿时代可用的数据，不可能得出化合物的确定原子构成，事实上，之后的几十年也不行。例如，通过实验确定的水中氧 相对于氢的重量比是8，这与水的分子式为 H2​O（氧的相对原子量为16）兼容，也与水的分子式为 HO（氧的相对原子量为8）兼容，以及许多更复杂的可能性。一个更根本的原因是，道尔顿时代的化学无法被他的原子理论的真假所影响。粗略地说，化学家们关心的是什么与什么结合以及结合的程度，而道尔顿的原子论在这方面无话可说。还应该指出，我对道尔顿理论的描述是一个净化版，它从道尔顿自己的版本中抽象出了被 比例定律所支持的关键化学思想。例如，道尔顿假设他的原子被球形的热质云包围，他认为这会对气体的比热产生影响；他假设一种给定气体的原子以与其间距成反比的力 相互排斥；他还假设原子量与气体在液体中的溶解度之间存在简单的关系。这些假设都没有任何进展。道尔顿的原子理论通过巧合论证在某种程度上得到了支持，因为它能够解释这三条比例定律，但这个事实被经验困难所抵消，这些困难与原子论扩展到 比例定律之外有关，并且该理论没有能力为化学提供信息。这种局面后来通过将化学式引入化学并将其应用于有机化学而得以改变。

**化学式与原子论**

我在上一段中使用水的化学式并非道尔顿自己的做法。他使用球体排列图来阐明原子组合，而不是化学式。后者是由瑞典化学家雅各布·贝采利乌斯（Jacob Berzelius）在1813年首次引入化学的。对于我关于理论证实的故事来说，重要的是要认识到，使用化学式与对原子论的承诺不是一回事。从历史事实来看，贝采利乌斯引入化学式是一种工具，旨在捕捉他认为道尔顿创新的重要之处，即对比例定律的认可，而不承诺他认为有趣但有问题的原子论。化学式中的符号，例如水的 H2​O，可以被解释为指代原子，这也是今天我们自动假设的。有了这种解释，水的化学式，加上对结合重量的测量，意味着一个氧原子比一个氢原子重十六倍。但是，化学式中的符号还有另一种解释，这种解释更符合19世纪化学家在实验室中的做法。虽然可以把一个氢原子作为估算相对原子量的单位，但这不是必须的。任何部分的氢都可以被用作参考重量。如果这样做，那么相应的氧 部分将是比参考氢样本重十六倍的部分。化学式中的符号可以被解释为指代部分而不是原子，这足以捕捉19世纪化学家所能获得并用比例定律总结的所有关于结合重量的细节。贝采利乌斯化学式在引入后的几十年里没有被大量使用，一旦认识到它们可以被解释为一种总结关于结合比例的事实的工具（这些事实可以用其他方式表达），这一点就很容易理解了。道尔顿反对使用它们，也许是因为他认识到它们提供了一种表达他对结合比例见解的方式，同时避免了他所信奉的对原子的承诺。

从19世纪20年代末开始，当化学式被用于为有机化学带来秩序时，它们的地位发生了转变。它们在该领域的成功应用源于一个事实：它们被用来表达超越比例定律的化学结合事实。在这一成功之前，对相互竞争的化学式进行选择可以被合理地解释为约定俗成。根据这种观点，只要你选择氧的相对原子量为8，你就可以选择 水的化学式为 HO。没有任何事实能证明这种选择是错误的，而 H2​O 是正确的。有机化学的发展削弱了约定主义立场。到1860年左右，有机化学家们已经得出了他们可以论证是正确的化学式。这个详细的故事丰富而复杂。我只举一个例子。对于乙酸，如果考虑到可测量的结合重量并使用现代相对原子量，其最简单的化学式是 CH2​O。这个化学式不能反映以下事实：乙酸中的氢 可以在实验室中以四种不同方式被等体积的氯取代，其中三种方式产生与乙酸相似的酸，第四种则产生一种盐。这种情况可以通过将化学式中的数字加倍，并将其中一个氢与另外三个分开来处理，从而得到 C2​H3​O2​H。现在可以看出，这三种酸是由 氯取代了一组的三个氢中的一个、两个或全部三个而产生的，而盐则是由 氯取代了单独的氢而产生的，这个氢 现在被认为是造成乙酸酸性特征的原因。对化学式提出的这种要求，到1860年左右，产生了一套独特的、能够胜任任务的化学式。化学家们寻求正确的化学式，而不仅仅是有用的化学式，因此约定主义立场被削弱了。

对于我关于理论证实的讨论来说，认识到尽管有机化学中的这些举动解决了化学式是否约定俗成的问题，但没有解决正确化学式中的符号是否代表原子或部分的问题，这一点非常重要。我们可以将19世纪末的化学进行划分，以便将关于原子的假设与其余部分分开，而正如我们所见，这并不需要将化学式从其余部分中移除。如果我的主张是正确的，即19世纪化学家们可以应用于其理论的所有证据，都可以通过将原子划分出去的那些理论来处理，那么就不能说原子论得到了证实。

我声称19世纪化学中的原子论没有得到很好的证实，并且原则上是多余的，这一主张是有争议的。它没有得到大多数当代科学家和哲学家的认同。19世纪化学家们自己的态度则更为复杂。皮埃尔·迪昂（Pierre Duhem, 2002）在19世纪末就提出了一个与我非常相似的观点，但他的观点并不普遍。如今，他倾向于被视为一个被误导的实证主义者，但就化学的情况而言，这是错误的。19世纪的化学家们即使认可原子论，他们也警惕将其与机械论哲学或分子运动论中假定的原子等同起来。他们认识到，赋予原子以足以解释其在化学中作用的性质是有问题的，并且这是一个需要通过研究而不是哲学法令来解决的问题。例如，1860年左右，原子需要具备化合价的特性变得清晰，而这个特性对当时的机械论和物理学来说是一个问题，而不是一个推论。

尽管我（和迪昂）对19世纪化学中原子理论的地位有所保留，但原子化学最终通过实验得到了证实，当然，并且确实变得有可能和有必要将化学和物理学中假定的原子和分子等同起来。我们在上一节中描述了佩兰关于布朗运动的实验如何足以消除对分子存在的严重怀疑，而通过分子运动论可以计算出的原子量和分子量与化学家们得出的数值相吻合，这只是20世纪化学中的原子论得到证实的日益增多的方式之一。但值得注意的是，很快，在物理学和化学中，就有必要将量子力学特性归因于原子，这些特性与19世纪的化学家或物理学家所预料的任何东西都不同。

我讨论19世纪化学中原子论的地位，主要是为了说明划分理论的重要性，在可能的情况下，以确定哪些被划分的部分可以被特定实验所证实。但还有一个关于科学的性质和地位的普遍观点可以有效地在这里提出。在当代科学中，人们认为物质世界的深层结构与日常经验的世界非常不同，并且其特征与我们的许多共同直觉相冲突。在基础粒子物理学中，亚原子粒子拥有诸如魅（charm）和宇称（parity）等在我们的宏观经验世界中没有对应物的特性是必不可少的，而相对论者则援引多维空间并拒绝绝对同时性。世界深层结构与在我们的日常生活中对我们很有帮助的假设相冲突的程度，是需要被学习的东西。17世纪的机械论哲学家们明确地将 “微观世界在关键方面类似于宏观世界，因此对后者的知识可以投射到前者” 的假设纳入了他们的物质理论。他们的原子类似于台球，行为也像台球。我们现在知道他们错了。就对物质世界的知识而言，科学与哲学家传统上进行的形而上学截然不同，并且几乎不依赖于它。在这一点上，19世纪和20世纪的实证主义者的直觉是正确的，即使他们在阐述这些直觉时搞得一团糟。

**再次谈实在论与反实在论**

哲学文献中关于科学实在论者和反实在论者之间争论的新发展促使我重新审视这个问题。其中一个发展是，例如，拉迪曼和罗斯（Ladyman and Ross, 2007）对结构实在论（structural realism）的进一步阐述，这是约翰·沃勒尔（John Worrall, 1989b）提出的概念。结构实在论对实在论的修改，是对反实在论最强有力的论证的回应，该论证引用了历史上记载的、成功理论被推翻的例子。

实在论的一个关键论证诉诸于涉及原子和电子等不可观察实体的科学理论的成功。如果这些理论所援引的实体（如电子和原子）不存在，也不具备理论赋予它们的属性，那么这些理论能够成功解释一系列现象并导致新现象的发现，就无异于一个奇迹或一个惊人的巧合。反实在论者则回应说，过去成功的理论（其成功包括对现象的新颖解释）曾假定存在一些实体，而根据现代科学，这些实体并不存在。热质 理论和将光归因于物质以太中波的理论是这类例子中最有力的。

结构实在论者承认这一论证的力量，并承认科学不应被理解为提供了或正朝着对构成世界的不可观察实体及其所拥有的属性的正确描述前进。相反，科学理论应被视为识别现象背后的现实结构。根据这种观点，菲涅尔（Fresnel）的光理论中涉及的波动方程是对光结构真实描述的良好近似，尽管没有以太作为波的载体。这个立场得到了一个事实的支持：菲涅尔的方程可以作为电磁光理论的极限情况被推导出来。菲涅尔的理论之所以成功，是因为它赋予了光一个波动结构，而他所暗示的物质以太的存在则是错误的，从这个意义上说，他是正确的。

出于我下面将要探讨的原因，我认为结构实在论不是对反实在论案例的正确回应。在某些方面，其拥护者高估了反实在论者援引科学史上理论变迁实例的力量。而在另一个意义上，我相信他们未能认识到反实在论在某种意义上是正确的。我的立场借鉴了在科学中起作用的强形式证实、实在论者所假设的真理符合论的精确含义，以及复合体并不比构成它们的实体更不真实的观点。这些问题将在接下来的三个小节中依次讨论。

**充分证实的理论永远不会被完全抛弃**

在这篇结语的第一节中，我总结了要求非常高的证实标准。我主张，如果我们认真对待这些严格的要求，那么我们就能很好地挑战基于科学史的反实在论案例。拉里·劳丹（Larry Laudan, 1981）基于历史例子对实在论者发起的颇具影响力的挑战就是一个很好的例子。根据劳丹的说法，过去的科学充满了当时成功的理论，这些理论援引了诸如晶球、电液、光微粒等不存在的事物。他支持所谓的悲观归纳：正如从现代科学的角度来看，过去科学中涉及的实体很少能指代任何真实事物一样，未来科学的观点也将认为，当代科学中的实体很少能指代任何真实事物。

我对此的回应如下：劳丹援引的许多理论，要么从未得到过我所主张的、已成为科学独特标志的强形式证实，要么只有非常微弱的证实。在那些得到了强有力证实但后来仍被取代的理论中，经过整理后的版本以其后继者的极限情况形式得以延续。那些曾经成功但现已被取代的理论，在某种意义上确实指代了某些真实事物，因为它们是当前理论的极限情况。

最接近支持反实在论案例的例子涉及19世纪物理学中以太的命运。正如我们所见，正是这个例子促使沃勒尔构想了结构实在论。毫无疑问，菲涅尔的光波理论得到了强有力的证实。然而，我关于划分的观点，对“这种证实也扩展到了对机械以太存在的证实”这一主张提出了质疑。那些强力支持菲涅尔理论的预测，只需要光是横波，而不是它是以太中的波。支持机械以太存在的证据需要超越建立光的波动特性的证据，而未能产生这种证据，在某种程度上导致了以太被物理学所抛弃。

对我的立场的一个自然反对意见是，它涉及事后诸葛亮。从某种意义上说确实如此。在19世纪中期，一个波必须是某种东西中的波，这是一个自然的假设。更重要的是，横波要求这种“某种东西”必须是有弹性的。由自身波动 场 组成的电磁波（它们不是任何东西的状态）的概念尚未来临。但这在我看来并不构成对实在论的挑战。实在论者的观点是，科学的目标是表征世界（无论是在可观察还是不可观察的层面），这本身就意味着关于世界的断言可能是错误的。科学家无法直接接触到真理，所有科学都将永远受到修改和改进。

佩兰对分子的论证和菲涅尔对光波的论证是如此之强，以至于认为未来的科学会证明它们不存在是完全不可信的。这并不否认在佩兰时代关于原子，或在菲涅尔时代关于光，仍有许多东西需要学习。

一系列类似的观点也可以用于可观察的世界。我们的感官是不完美的，它们所支持的主张是 可错的。然而，关于可观察物体的主张可以通过它们经受住独立测试的程度来得到证实。如果我们怀疑可见的匕首是一种幻觉，我们可以触摸它。导致视觉幻觉的条件与导致触觉幻觉的条件完全不同，因此，如果两种条件恰好同时发生，在没有匕首的情况下同时产生看到和摸到匕首的感觉，那将是一个惊人的巧合。

我主张，这里重要的是巧合论证的形式，它在应用于关于可观察或不可观察的主张时是相同的。不同之处在于，对于可观察的事物，通过感官使用可以直接获得独立测试，而对于不可观察的事物则不然。这种比较可以更进一步。完全有可能从感官证据中解读出超出其所能证明的东西。不难同情那些假设火焰是一种非常轻的物质，因为它很轻而上升到空中。那么“火焰上升”就成了通过观察建立的关于这种物质的真理。最终人们意识到没有火焰物质。但这并不意味着没有火焰这种东西。鉴于有如此多关于火焰的证据，怎么可能没有呢？我主张，以太被抛弃而光波被保留的情况与此类似。在某种程度上，理论物理学所援引的实体实在性与可观察物体的实在性是同等的。

**我们拥有的只是近似真理**

以下这种方式可以概括我在前一小节中概述的立场的大部分内容：得到充分证实的理论因此被证明是近似真实的，而当它们被对真理更好的近似理论所取代时，科学就会进步。过去我一直避免用这种方式来表述我的立场，因为我意识到一个具有挑战性的反对意见，它源于无法精确 理解“近似真理”这个概念。反对者认为，哲学家能够对作为事实符合论的真理给出精确的解释，但无法对近似真理给出相应的解释。我现在倾向于通过挑战其前提来回应这个反对意见。虽然哲学家们能够基于塔斯基的见解对真理给出高度形式化的解释，但他们并没有因此改变真理符合论本质上是一个粗糙且现成的概念的事实。我们只拥有一个粗糙且现成的真理概念，或者说一定程度上的真理，但这足以理解常识和科学，并支持对这两个论域的实在论解释。

我在第15章简要介绍了塔斯基的真理符合论。塔斯基表明，给定一个相当简单的语言中谓词的满足概念，该语言中命题的真理可以以一种形式化的方式得到阐明，从而避免了通常与真理概念相关的困难。正如我们所见，他的成功源于他对两种语言的区分：被分析其真理主张的对象语言，以及用于谈论对象语言的元语言。塔斯基没有提供的是一个关于语言中的谓词如何被世界中的实体所满足的形式化解释。例如，他没有解释“是白色的”或“是一只天鹅”如何能被一个特定的天鹅实例所满足。就真理符合论是一个关于语言中的句子如何能够与世界相符的理论而言，它预设了一个本质上是常识性的关系解释。一个实体当且仅当它是白色的，才满足谓词“是白色的”；当且仅当它是一只天鹅时，才满足“是一只天鹅”。鉴于此，塔斯基能够对涉及白色和天鹅的概括的真理给出一个形式化的解释。“所有天鹅都是白色的” 当且仅当世界上所有的天鹅确实是白色时，才为真。语言或理论中的陈述与它们所描述的世界中的情况之间的符合概念，并没有被塔斯基所阐明，而是被假定了。随后的对塔斯基形式化的改进和扩展也没有改变这种情况。

实在论者所利用的真理符合论中的“符合”概念是一个非技术性的概念，源于常识。因此，它是一个粗糙且现成的概念。将它如此对待，我们就能直接理解，当 主张被推到超出其所涉及谓词的满足范围时，或者当需要更高的精确度时，特定的符合情况是如何失效的。也许，从常识上讲，可以说一个从高处垂直下落的物体比一个在相同高度下沿着光滑斜面滚下的物体移动得更快。但这需要从一个更精确的角度进行大量限定。首先，需要认识到“移动”没有区分速度和加速度。垂直下落的运动确实比倾斜运动有更大的加速度。但当涉及到速度时，情况更复杂。两种运动的速度都时时刻刻在变化，所以如果“运动”指的是速度，那么哪个移动得更快的问题是定义不清的。如果我们把“运动”解释为平均速度，那么一种运动并不比另一种快，因为在两种情况下平均速度是相同的。从更精确的角度来看，可以从不精确的描述中恢复近似真理。垂直下落的运动更快这一主张是真实的，因为它花费的时间更少。更重要的是，是世界中的事件使其成为真实的。从一种直接的意义上说，涉及速度和加速度的更精确描述是对真理更好的近似，而涉及运动的粗糙描述也可以说在某种意义上是近似真实的。我们现在知道，如果将这些精确的概念推入非常小或非常大、非常快的领域，它们也需要进一步的修正，并且结果也只是对真理的近似。

我一直坚持认为，用语言表述的主张与它们所主张的世界之间的“符合”概念源于常识。我们并不是先学会日常语言，然后再学习如何将其应用于世界。学习如何使用和理解涉及“天鹅”的句子，以及将关于天鹅的谈论应用于现实世界中的天鹅实例，是一个过程的组成部分。真理符合论隐含在我们的日常语言使用中。然而，认识到“符合”源于常识，并不意味着它停留在那里。我关于下落速度的例子已经暗示了这一点。虽然对下落时间的粗略估算可以通过日常观察获得，但对速度的估算则不行。怎么可能呢，因为它们涉及瞬时速度，而速度可以时时刻刻变化。对一个关于移动物体速度的主张“符合事实”的程度进行估算，涉及间接测量而非直接观察。尽管如此，正如我在上面讨论中所举的例子（顺便说一下，这个例子基于伽利略对常识概念的批评和他自己对更精确概念的形成），只要更精确的概念是作为对粗糙概念问题的回应而产生的，那么某种程度的指称连续性就得到了保证。伽利略塑造的新运动概念内置了一个符合概念，根据这个概念，“物体x有速度v”为真当且仅当物体x有速度v，这就像说“天鹅是白色的”为真当且仅当那只天鹅是白色的那样平凡。

随着物理学对物质结构的深入探索，其概念越来越偏离常识，其主张通过经验进行测试的方式也越来越间接。以至于当代物理学所描述的物质深层结构，使得谈论拥有属性的事物变得不恰当。在这个层面上，拉迪曼和罗斯（2007）坚持的“所有事物都必须消失”是有道理的。但这不必 被视为削弱了事实符合论的概念。我们仍然可以有意义地坚持，当代物质理论是真实的，因为它符合事实，无论所涉及的事实与涉及白天鹅或碰撞台球的事实有多么不同。只要所涉及的抽象理论是作为改进早期理论的尝试而产生的，那么新理论中就内置了某种程度的符合。它们被要求解决其前任的问题并模仿其成功。新理论形式的生成和解释不是独立的步骤。假设它们是独立的，只会不必要地将抽象理论与“事实”之间实现符合的尝试变成一个谜。

**现实的层次**

我反对这样一种观点：当实体通过诉诸于底层结构来解释，并被证明与人们想象的不完全一样时，它们因此被证明是不真实的。液体有粘度。水比油更容易流过管道，因为它比油的粘度小。根据斯托克斯定律，液体抵抗球体穿过它的力与液体的粘度以及球体的半径和速度有关。这些事实可以用分子运动论来解释。它们取决于液体中一个区域的宏观运动如何作为构成液体的分子的运动和碰撞的统计结果被传输到其他区域。根据分子运动论对粘度的解释，我们可以认识到关于粘度的主张有其局限性，并且当液体或气体的密度变得非常小时就会失效。事实上，在足够低的密度下，气体不再有粘度，因为产生粘度的统计平均值不再有意义。在我看来，由此得出“只存在运动和碰撞的分子，而没有具有粘度的液体和气体”的结论是错误的。一滴雨水比一滴同样大小的树胶更容易从桉树上流下。这种事情发生，无论是否有观察者在场见证，正是这些事件本身使得描述它们的陈述是真或假。人们已经承认，在足够低的密度下，谈论粘度会失效。但这不意味着足够密集的流体就没有可以真实或虚假地表征的粘度。当 构成人群的个体分散时，人群就不再是人群，但这不意味着没有人群这种东西，它有密度并且可以涌动。

任何倾向于认为分子运动论表明真正存在的是运动的分子，而没有真正存在的是具有粘度的液体和气体的人，很快就会发现自己否定了分子的真实性。因为分子的属性是通过参考其电子结构来解释的。分子中的电子类似于一个大型火车站中的一只苍蝇，因此分子大部分是空间，与分子运动论将其视为的微型台球完全不同。然而，电子本身可能被证明拥有一个解释其属性的内部结构。这种观点——认为通过援引更基础的实体来解释实体，我们从而将它们解释为不存在——导致了终极实在论。根据这种观点，科学的目标是表征现实的终极结构。这种表征将以无条件的方式为真。它将以无条件的方式符合事实。与关于气体粘度或电子轨迹的谈论不同（这些在超出其极限时会失效），对终极现实的真实描述将没有这种局限性。

终极实在论面临着严重的反对意见。其中之一是认识论上的。我们如何能知道我们最基础的物理学已经达到了终极阶段？如果物理学的历史有什么可借鉴的话，那么成功的理论会被更深的理论所解释。更重要的是，更深的理论所援引的实体与它们能够解释的实体非常不同。鉴于此，我们可以预期，未来基础物理学中对现实的表征将与当前基础物理学显著不同。对现实的终极表征不仅将超出科学的范围，而且也不能被合理地认为是科学可以接近的终点。

终极实在论一个更严重的困难，隐含在我对真理符合论的表征中。终极实在论预设了一个以无条件方式符合事实的理论。这可能意味着什么，存在着深刻的问题。我们的理论是人类的建构，用语言（通常是数学语言）来表达，而语言本身也是人类的建构。如果存在一个终极的现实结构，它不是人类的建构，那么，可以想见，描述它的无条件真理也不是人类的建构。一个认为科学正朝着终极真理前进的终极实在论者，必须设想我们人类建构的理论将收敛于一个完全不是人类建构的观点。终极实在论者所假定的无条件、客观的事实符合概念，意味着关于世界的陈述与世界本身之间存在一种关系，而真理符合论 无法提供这种关系。我们只拥有粗糙且现成的符合，或一定程度上的符合。但这种粗糙且现成的概念，隐含在常识中并被科学所完善，是可理解的，并且足以理解科学是对真理的探索以及向着真理前进。如果反实在论等同于“终极实在论是不连贯的或超出了科学的掌握”这一主张，那么我完全支持反实在论。

**拓展阅读**

* 关于科学原子论与哲学原子论的区别，查尔莫斯（Chalmers, 2009）进行了详细的历史分析。
* 关于理论证实的相关辩论，可参见梅奥和斯潘诺斯（Mayo and Spanos, 2010）。
* 对结构实在论的最新阐述和辩护，在拉迪曼和罗斯（Ladyman and Ross, 2007）的著作中。
* 对佩兰布朗运动实验的地位和意义的详细分析，可参见范·弗拉森（van Fraassen, 2009）和查尔莫斯（Chalmers, 2011）之间的交流。
* 有用的历史背景可以参考奈伊（Nye, 1972）。

**注释**

**引言**

1. 此列表引自 J. R. Ravetz (1971), p. 387n 中引用的 C. Trusedell 的一项调查。

**第4章 从事实推导理论：归纳法**

1. 引用句 来自 A. B. Wolfe，出自 Hempel (1966, p. 11) 。

**第8章 作为结构的理论一：库恩的范式**

1. 自《科学革命的结构》首次出版以来，库恩 承认他最初以多种不同方式使用了“范式”一词。在第二版的后记中，他区分了该词的两种含义：一个他称之为“规训基质”（disciplinary matrix）的广义概念，以及一个他已用“范例”（exemplar）取代的狭义概念。我在此继续沿用“范式”这个词的广义含义，即指库恩 现在所说的规训基质。

**第10章 费耶阿本德的无政府主义科学理论**

1. 引用自休谟的《论原始契约》（Of the Original Contract），出自 Barker (1976, p. 156)。该段落中批评洛克的具体观点可在同一本书的第70-2页找到。

**第11章 有条理的方法论变迁**

1. 我在这一段的评论不应被理解为暗示对科学在社会中的运作方式没有进行政治和社会分析的空间，正如我在《科学及其赝品》（*Science and Its Fabrication*）一书（1990年，第8章）中所明确阐述的那样。我的评论也无意于否定所有以“科学的社会学研究”之名进行的工作，因为许多当代工作为理解科学工作的本质提供了有效的见解。它们仅针对那些自认为已经建构出 地位如此之高的社会学或其他知识，以至于他们可以从其观点出发，判断科学知识没有特殊地位的人。

**第13章 附录**

1. 我最初也认为我的案例是黛博拉·梅奥（Deborah Mayo）立场的反例，但她在私下通信中说服了我，情况并非如此。

**第17章 结语**

1. 在超显微镜中，通过观察垂直于观察方向散射的光线来观察样本。在佩兰的实验中，悬浮液体的分子在这个方向上散射的光线与布朗粒子散射的光线相比可以忽略不计，因此消除了来自前者的眩光。
2. 我同意艾伦·马斯格雷夫（Alan Musgrave, 1999, pp. 132–3）对苏珊·斯泰宾（Susan Stebbing, 1937）关于爱丁顿的两张桌子（一张是常识性的，一张是分子性的）的处理的赞同。正如马斯格雷夫所说，当科学用分子相互作用来解释桌子的坚固性时，“这并不表明这张桌子不像常识所认为的那样是坚固的。”

**参考书目**

* Ackermann, R. J. (1976). *The Philosophy of Karl Popper*（卡尔·波普尔的哲学）. Amherst: University of Massachusetts Press.
* Ackermann, R. (1989). ‘The New Experimentalism’（新实验主义）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 40, 185–90.
* Anthony, H. D. (1948). *Science and Its Background*（科学及其背景）. London: Macmillan.
* Armstrong, D. M. (1983). *What Is a Law of Nature?* （什么是自然法则？）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Ayer, A. J. (1940). *The Foundations of Empirical Knowledge*（经验知识的基础）. London: Macmillan.
* Bamford, G. (1993). ‘Popper’s Explications of Ad Hocness: Circularity, Empirical Content and Scientific Practice’（波普尔对特设性的阐明：循环性、经验内容与科学实践）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 44, 335–55.
* Barker, E. (1976). *Social Contract: Essays by Locke, Hume and Rousseau*（社会契约：洛克、休谟和卢梭的论文）. Oxford: Oxford University Press.
* Barnes, B. (1982). *T. S. Kuhn and Social Science*（T. S. 库恩与社会科学）. London: Macmillan.
* Barnes, B., Bloor, D. and Henry, J. (1996). *Scientific Knowledge: A Sociological Analysis*（科学知识：一种社会学分析）. Chicago: University of Chicago Press.
* Bhaskar, R. (1978). *A Realist Theory of Science*（科学的实在论理论）. Hassocks, Sussex: Harvester.
* Bird, A. (2000). *Thomas Kuhn*（托马斯·库恩）. Chesham (England): Acumen.
* Block, I. (1961). ‘Truth and Error in Aristotle’s Theory of Sense Perception’（亚里士多德感觉知觉理论中的真理与谬误）, *Philosophical Quarterly*, 11, 1–9.
* Bloor, D. (1971). ‘Two Paradigms of Scientific Knowledge’（科学知识的两种范式）, *Science Studies*, 1, 101–15.
* Boyd, R. (1984). ‘The Current Status of Scientific Realism’（科学实在论的现状）, 载于 Leplin (1984) 41–82.
* Brown, H. J. (1977). *Perception, Theory and Commitment: The New Philosophy of Science*（感知、理论与承诺：新科学哲学）. Chicago: University of Chicago Press.
* Buchwald, J. (1989). *The Creation of Scientific Effects*（科学效应的创造）. Chicago: University of Chicago Press.
* Cartwright, N. (1983). *How the Laws of Physics Lie*（物理定律是如何撒谎的）. Oxford: Oxford University Press.
* Cartwright, N. (1989). *Nature’s Capacities and Their Measurement*（自然的潜能及其测量）. Oxford: Oxford University Press.
* Chalmers, A. F. (1973). ‘On Learning from Our Mistakes’（论从我们的错误中学习）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 24, 164–73.
* Chalmers, A. F. (1984). ‘A Non-Empiricist Account of Experiment’（一种非经验主义的实验解释）, *Methodology and Science*, 17, 95–114.
* Chalmers, A. F. (1985). ‘Galileo’s Telescopic Observations of Venus and Mars’（伽利略对金星和火星的望远镜观测）, *British Journal for The Philosophy of Science*, 36, 175–91.
* Chalmers, A. F. (1986). ‘The Galileo that Feyerabend Missed: An Improved Case Against Method’（费耶阿本德错过的伽利略：一个反对方法论的改进案例）, 载于 J. A. Schuster and R. A. Yeo (eds), *The Politics and Rhetoric of Scientific Method*（科学方法的政治与修辞）. Dordrecht: Reidel, 1–33.
* Chalmers, A. F. (1990). *Science and Its Fabrication*（科学及其赝品）. Milton Keynes: Open University Press.
* Chalmers, A. F. (1993). ‘The Lack of Excellency of Boyle’s Mechanical Philosophy’（波义耳机械哲学的欠缺之处）, *Studies in History and Philosophy of Science*, 24, 541–64.
* Chalmers, A. F. (1995). ‘Ultimate Explanation in Science’（科学中的终极解释）, *Cogito*, 9, 141–5.
* Chalmers, A. F. (1999). ‘Making Sense of Laws of Physics’（理解物理定律）, 载于 H. Sankey (ed.), *Causation and Laws of Nature*（因果关系与自然法则）. Dordrecht: Kluwer.
* Chalmers, A. F. (2003). ‘The Theory-dependence of the Use of Instruments in Science’（科学中仪器使用的理论依赖性）, *Philosophy of Science*, 70, 493–509.
* Chalmers, A. F. (2009). *The Scientist’s Atom and the Philosopher’s Stone: How Science Succeeded and Philosophy Failed to Gain Knowledge of Atoms*（科学家的原子与哲学家的石头：科学如何成功而哲学如何未能获得关于原子的知识）. Dordrecht: Springer.
* Chalmers, A. F. (2011). ‘Drawing Philosophical Lessons from Perrin’s Experiments on Brownian Motion: A Response to van Fraassen’（从佩兰的布朗运动实验中汲取哲学教训：对范·弗拉森的回应）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 62, 711–32.
* Christie, M. (1994). ‘Philosophers versus Chemists Concerning “Laws of Nature”’（哲学家与化学家关于 “自然法则” 的分歧）, *Studies in History and Philosophy of Science*, 25, 613–29.
* Clavelin, M. (1974). *The Natural Philosophy of Galileo*（伽利略的自然哲学）. Cambridge, Mass.: MIT Press.
* Cohen, R. S., Feyerabend, P. K. and Wartofsky, M. W. (eds) (1976). *Essays in Memory of Imre Lakatos*（纪念伊姆雷·拉卡托斯的文集）. Dordrecht: Reidel.
* Couvalis, G. (1989). *Feyerabend’s Critique of Foundationalism*（费耶阿本德对基础主义的批判）. Aldershot, Hampshire: Avebury.
* Davies, J. J. (1968). *On the Scientific Method*（论科学方法）. London: Longman.
* Dorling, J. (1979). ‘Bayesian Personalism and Duhem’s Problem’（贝叶斯个人主义与迪昂问题）, *Studies in History and Philosophy of Science*, 10, 177–87.
* Drake, S. (1957). *The Discoveries and Opinions of Galileo*（伽利略的发现与观点）. New York: Doubleday.
* Drake, S. (1978). *Galileo at Work*（工作中的伽利略）. Chicago: Chicago University Press.
* Duhem, P. (1962). *The Aim and Structure of Physical Theory*（物理理论的目的与结构）. New York: Atheneum.
* Duhem, P. (1969). *To Save the Phenomena*（拯救现象）. Chicago: University of Chicago Press.
* Duhem, P. (2002). *Mixture and Chemical Combination and Related Essays*（混合与化学组合及相关论文集）, 译者 P. Needham. Dordrecht: Kluwer.
* Duncan, M. M. (1976). *On the Revolutions of the Heavenly Spheres*（论天体运行）. New York: Barnes and Noble.
* Earman, J. (1992). *Bayes or bust? A Critical Examination of Bayesian Confirmation Theory*（贝叶斯还是破产？对贝叶斯证实理论的批判性审视）. Cambridge, Mass., MIT Press.
* Edge, D. O. and Mulkay, M. J. (1976). *Astronomy Transformed*（天文学的变革）. New York: Wiley Interscience.
* Farrell, R. (2003). *Feyerabend and Scientific Values*（费耶阿本德与科学价值）. Dordrecht: Kluwer.
* Feyerabend, P. K. (1970). ‘Consolations for the Specialist’（给专家的慰藉）, 载于 Lakatos and Musgrave (1970), 195–230.
* Feyerabend, P. K. (1975). *Against Method: Outline of an Anarchistic Theory of Knowledge*（反对方法：无政府主义知识论纲要）. London: New Left Books.
* Feyerabend, P. K. (1976). ‘On the Critique of Scientific Reason’（论对科学理性的批判）, 载于 Howson (1976), 209–39.
* Feyerabend, P. K. (1978). *Science in a Free Society*（自由社会中的科学）. London: New Left Books.
* Feyerabend, P. K. (1981a). *Realism, Rationalism and Scientific Method. Philosophical Papers, Volume I*（实在论、理性主义与科学方法. 哲学论文集，第一卷）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Feyerabend, P. K. (1981b). *Problems of Empiricism. Philosophical Papers, Volume II*（经验主义的问题. 哲学论文集，第二卷）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Franklin, A. (1986). *The Neglect of Experiment*（被忽视的实验）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Franklin, A. (1990). *Experiment, Right or Wrong*（实验，或对或错）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Galileo (1957). ‘The Starry Messenger’（星际信使）, 载于 S. Drake (1957).
* Galileo (1967). *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems*（关于两大世界体系的对话）, 译者 S. Drake. Berkeley, California: University of California Press.
* Galileo (1974). *Two New Sciences*（两种新科学）, 译者 S. Drake. Madison: University of Wisconsin Press.
* Galison, P. (1987). *How Experiments End*（实验如何结束）. Chicago: University of Chicago Press.
* Galison, P. (1997). *Image and Logic: A Material Culture of Physics*（图像与逻辑：物理学的物质文化）. Chicago: University of Chicago Press.
* Gaukroger, S. (1978). *Explanatory Structures*（解释性结构）. Hassocks, Sussex: Harvester.
* Geymonat, L. (1965). *Galileo Galilei*（伽利略·伽利莱）. New York: McGraw-Hill.
* Glymour, C. (1980). *Theory and Evidence*（理论与证据）. Princeton: Princeton University Press.
* Goethe, J. W. (1970). *Theory of Colors*（色彩论）, 译者 C. L. Eastlake. Cambridge, Mass.: MIT Press.
* Gooding, D. (1990). *Experiment and the Making of Meaning: Human Agency in Scientific Observation and Experiment*（实验与意义的创造：科学观察和实验中的人类能动性）. Dordrecht: Kluwer.
* Hacking, I. (1983). *Representing and Intervening*（表征与介入）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Hanfling, O. (1981). *Logical Positivism*（逻辑实证主义）. Oxford: Basil Blackwell.
* Hanson, N. R. (1958). *Patterns of Discovery*（发现的模式）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Hempel, C. G. (1966). *Philosophy of Natural Science*（自然科学哲学）. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall.
* Hertz, H. (1962). *Electric Waves*（电波）. New York: Dover.
* Hirsch, P. B., Horne, R. W. and Whelan, M. J. (1956). ‘Direct Observation of the Arrangements and Motions of Dislocations in Aluminium’（对铝中位错排列和运动的直接电子显微镜观察）, *Philosophical Magazine*, 1, 677–84.
* Hooke, R. (1665). *Micrographia*（显微图志）. London: Martyn and Allestry.
* Horwich, P. (1982). *Probability and Evidence*（概率与证据）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Howson, C. (ed.) (1976). *Method and Appraisal in the Physical Sciences*（物理科学中的方法与评估）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Howson, C. and Urbach, P. (1993). *Scientific Reasoning: The Bayesian Approach*（科学推理：贝叶斯方法）. La Salle, Illinois: Open Court.
* Hoyningen-Huene, P. (1993). *Reconstructing Scientific Revolutions: Thomas S. Kuhn’s Philosophy of Science*（重建科学革命：托马斯·S·库恩的科学哲学）. Chicago: University of Chicago Press.
* Hume, D. (1933). *Treatise on Human Nature*（人性论）. London: Dent.
* Klein, U. (1995). ‘E. F. Geoffroy’s Table of Different “Raports” Observed Between Different Chemical Substances’（E. F. 杰弗鲁关于不同化学物质之间观察到的不同 “关系” 的表格）, *Ambix*, 42, 79–100.
* Klein, U. (1996). ‘The Chemical Workshop Tradition and the Experimental Practice: Discontinuities Within Continuities’（化学作坊传统与实验实践：连续性中的不连续性）, *Science in Context*, 9, 251–87.
* Kuhn, T. (1959). *The Copernican Revolution*（哥白尼革命）. New York: Random House.
* Kuhn, T. (1970a). *The Structure of Scientific Revolutions*（科学革命的结构）. Chicago: University of Chicago Press.
* Kuhn, T. (1970b). ‘Logic of Discovery or Psychology of Research’（发现的逻辑还是研究的心理学）, 载于 Lakatos and Musgrave (1970), 1–20.
* Kuhn, T. (1970c). ‘Reflections on My Critics’（对我批评者的反思）, 载于 Lakatos and Musgrave (1970), 231–78.
* Kuhn, T. (1977). *The Essential Tension: Selected Studies in Scientific Tradition and Change*（基本张力：科学传统与变革研究选集）. Chicago: University of Chicago Press.
* Ladyman, J. and Ross, D. (2007). *Every Thing Must Go: Metaphysics Naturalized*（所有事物都必须消失：自然化形而上学）. New York: Oxford University Press.
* Lakatos, I. (1968). *The Problem of Inductive Logic*（归纳逻辑问题）. Amsterdam: North Holland.
* Lakatos, I. (1970). ‘Falsification and the Methodology of Scientific Research Programmes’（证伪与科学研究纲领方法论）, 载于 Lakatos and Musgrave (1970), 91–196.
* Lakatos, I. (1971). ‘Replies to Critics’（对批评者的回应）, 载于 R. Buck and R. S. Cohen (eds), *Boston Studies in the Philosophy of Science, Volume 8*（波士顿科学哲学研究，第八卷）. Dordrecht: Reidel.
* Lakatos, I. (1976a). ‘Newton’s Effect on Scientific Standards’（牛顿对科学标准的影响）, 载于 Worrall and Currie (1978a), 193–222.
* Lakatos, I. (1976b). *Proofs and Refutations*（证明与反驳）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Lakatos, I. (1978). ‘History of Science and Its Rational Reconstruction’（科学史及其理性重建）, 载于 Worrall and Currie (1978a), 102–38.
* Lakatos, I. and Musgrave, A. (eds) (1970). *Criticism and the Growth of Knowledge*（批判与知识的增长）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Lakatos, I. and Zahar, E. (1975). ‘Why Did Copernicus’ Programme Supersede Ptolemy’s’（为什么哥白尼的纲领取代了托勒密的？）, 载于 R. Westman (ed.), *The Copernican Achievement*（哥白尼的成就）. Berkeley, California: University of California Press.
* Larvor, B. (1998). *Lakatos: An Introduction*（拉卡托斯：一本入门书）. London: Routledge.
* Laudan, L. (1977). *Progress and Its Problems: Towards a Theory of Scientific Growth*（进步及其问题：迈向科学增长的理论）. Berkeley: University of California Press.
* Laudan, L. (1981). ‘A Confutation of Convergent Realism’（对收敛实在论的反驳）, *Philosophy of Science*, 48, 19–49.
* Laudan, L. (1984). *Science and Values: The Aims of Science and Their Role in Scientific Debate*（科学与价值：科学的目标及其在科学辩论中的作用）. Berkeley: University of California Press.
* Leplin, J. (1984). *Scientific Realism*（科学实在论）. Berkeley: University of California Press.
* Locke, J. (1967). *An Essay Concerning Human Understanding*（人类理解论）. London: Dent.
* Maxwell, J. C. (1877). ‘The Kinetic Theory of Gases’（气体分子运动论）, *Nature*, 16, 245–46.
* Maxwell, J. C. (1965). ‘Illustrations of the Dynamical Theory of Gases’（气体动力学理论的阐释）, 载于 W. D. Niven (ed.), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell, 2 Volumes*（詹姆斯·克拉克·麦克斯韦的科学论文集，两卷）. New York: Dover.
* Mayo, D. (1996). *Error and the Growth of Experimental Knowledge*（错误与实验知识的增长）. Chicago: University of Chicago Press.
* Mayo, D. and Spanos, A. (2010). *Error and Inference: Recent Exchanges on Experimental Reasoning, Reliability and the Rationality of Science*（错误与推断：关于实验推理、可靠性和科学理性的最新交流）. New York: Cambridge University Press.
* Menter, J. (1956). ‘The Direct Study by Electron Microscopy of Crystal Lattices and Their Imperfections’（通过电子显微镜直接研究晶格及其缺陷）, *Proceedings of the Royal Society, A*, 236, 119–35.
* Mill, J. S. (1975). *On Liberty*（论自由）. New York: Norton.
* Mulkay, M. (1979). *Science and the Sociology of Knowledge*（科学与知识社会学）. London: Allen & Unwin.
* Musgrave, A. (1974a). ‘The Objectivism of Popper’s Epistemology’（波普尔认识论的客观主义）, 载于 Schilpp (1974), 560–96.
* Musgrave, A. (1974b). ‘Logical Versus Historical Theories of Confirmation’（证实理论中的逻辑方法与历史方法之争）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 25, 1–23.
* Musgrave, A. (1993). *Common sense, Science and Scepticism: A Historical Introduction to the Theory of Knowledge*（常识、科学与怀疑主义：知识论的历史导论）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Musgrave, A. (1999). *Essays on Realism and Rationality*（实在论与理性论文集）. Amsterdam: Rodopi.
* Nersessian, N. (1984). *Faraday to Einstein: Constructing Meaning in Scientific Theories*（从法拉第到爱因斯坦：科学理论中意义的建构）. Dordrecht: Kluwer.
* Newman, W. R. (1994). *Gehennical Fire: The Lives of George Starkey, an American Alchemist in the Scientific Revolution*（地狱之火：乔治·斯塔基的一生，科学革命中的一位美国炼金术士）. Cambridge: Harvard University Press.
* Newman, W. R. and Principe, L. M. (1998). ‘Alchemy vs Chemistry: The Etymological Origins of a Historiographic Mistake’（炼金术 vs 化学：一个历史学错误的词源起源）, *Early Science and Medicine*, 3, 32–65.
* Nye, M. J. (1972). *Molecular Reality: A Perspective on the Scientific Work of Jean Perrin*（分子实在：对让·佩兰科学工作的视角）. London: MacDonald.
* Nye, M. J. (1980). ‘N-rays: An Episode in the History and Psychology of Science’（N-射线：科学史和心理学中的一则插曲）, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 11, 125–56.
* Oberheim, E. (2006). *Feyerabend’s Philosophy*（费耶阿本德的哲学）. Berlin: De Gruyter.
* O’Hear, A. (1980). *Karl Popper*（卡尔·波普尔）. London: Routledge and Kegan Paul.
* Perrin, J. (1990). *Atoms*（原子）. Woodbridge, Connecticut: Ox Bow Press.
* Poincaré, H. (1952). *Science and Hypotheses*（科学与假说）. New York: Dover.
* Polanyi, M. (1973). *Personal Knowledge*（个人知识）. London: Routledge and Kegan Paul.
* Popper, K. R. (1969). *Conjectures and Refutations*（猜想与反驳）. London, Routledge and Kegan Paul.
* Popper, K. R. (1972). *The Logic of Scientific Discovery*（科学发现的逻辑）. London: Hutchinson.
* Popper, K. R. (1974). ‘Normal Science and Its Dangers’（常规科学及其危险）, 载于 Lakatos and Musgrave (1974), 51–8.
* Popper, K. R. (1979). *Objective Knowledge*（客观知识）. Oxford: Oxford University Press.
* Popper, K. R. (1983). *Realism and the Aim of Science*（实在论与科学的目标）. London: Hutchinson.
* Price, D. J. de S.(1969). ‘A Critical Re-estimation of the Mathematical Planetary Theory of Ptolemy’（对托勒密数学行星理论的批判性再评估）, 载于 M. Clagett (ed.), *Critical Problems in the History of Science*（科学史中的关键问题）. Madison: University of Wisconsin Press.
* Psillos, S. (1999). *Scientific Realism: How Science Tracks Truth*（科学实在论：科学如何追踪真理）. London: Routledge and Kegan Paul.
* Psillos, S. (2002). *Causation and Explanation*（因果关系与解释）. Chesham, England: Acumen.
* Quine, W. V. O. (1961). ‘Two Dogmas of Empiricism’（经验主义的两个教条）, 载于 *From a Logical Point of View*（从一个逻辑观点来看）. New York: Harper and Row.
* Ravetz, J. R. (1971). *Scientific Knowledge and Its Social Problems*（科学知识及其社会问题）. Oxford: Oxford University Press.
* Rosen, E. (1962). *Three Copernican Treatises*（哥白尼的三篇论文）. New York: Dover.
* Rosenkrantz, R. D. (1977). *Inference, Method and Decision: Towards a Bayesian Philosophy of Science*（推断、方法与决策：迈向一种贝叶斯科学哲学）. Dordrecht: Reidel.
* Rowbotham, F. J. (1918). *Story Lives of Great Scientists*（伟大科学家的故事人生）. London: Wells, Gardner and Darton.
* Russell, B. (1912). *Problems of Philosophy*（哲学问题）. Oxford: Oxford University Press.
* Salmon, W. (1966). *The Foundations of Scientific Inference*（科学推断的基础）. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press.
* Schilpp, P. A. (ed.) (1974). *The Philosophy of Karl Popper*（卡尔·波普尔的哲学）. La Salle, Illinois: Open Court.
* Shapere, D. (1982). ‘The Concept of Observation in Science and Philosophy’（科学与哲学中的观察概念）, *Philosophy of Science*, 49, 485–525.
* Stanford, P. K. (2006). *Exceeding Our Grasp*（超越我们的掌握）. New York: Oxford University Press.
* Stebbing, S. (1937). *Philosophy and the Physicists*（哲学与物理学家）. London: Methuen.
* Stove, D. (1973). *Probability and Hume’s Inductive Skepticism*（概率与休谟的归纳怀疑主义）. Oxford: Oxford University Press.
* Thomason, N. (1994). ‘The Power of ARCHED Hypotheses: Feyerabend’s Galileo as a Closet Rationalist’（弓形假说的力量：作为秘密理性主义者的费耶阿本德笔下的伽利略）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 45, 255–64.
* Thomason, N. (1998). ‘1543 – The Year That Copernicus Didn’t Predict the Phases of Venus’（1543年——哥白尼未能预测金星相位的年份）, 载于 A. Corones and G. Freeland (eds), *1543 and All That*（1543年及所有）. Dordrecht: Reidel.
* Thurber, J. (1933). *My Life and Hard Times*（我的生活与艰难时世）. New York: Harper.
* van Fraassen, Bas C. (1980). *The Scientific Image*（科学形象）. Oxford: Clarendon.
* van Fraassen, Bas C. (1989). *Laws and Symmetry*（法则与对称）. Oxford: Oxford University Press.
* van Fraassen, Bas C. (2009). ‘The Perils of Perrin, in the Hands of Philosophers’（哲学家手中的佩兰困境）, *Philosophical Studies*, 143, 5–24.
* Woolgar, S. (1988). *Science: The Very Idea*（科学：就是这个概念）. London: Tavistock.
* Worrall, J. (1976). ‘Thomas Young and the “Refutation” of Newtonian Optics: A Case Study in the Interaction of Philosophy of Science and History’（托马斯·杨与牛顿光学的 “反驳” ：科学哲学与历史互动的一个案例研究）, 载于 Howson (1976), 107–79.
* Worrall, J. (1982). ‘Scientific Realism and Scientific Change’（科学实在论与科学变迁）, *Philosophical Quarterly*, 32, 201–31.
* Worrall, J. (1985). ‘Scientific Reasoning and Theory Confirmation’（科学推理与理论证实）, 载于 J. Pitt (ed.), *Change and Progress in Modern Science*（现代科学中的变迁与进步）. Dordrecht: Reidel.
* Worrall, J. (1988). ‘The Value of a Fixed Methodology’（固定方法论的价值）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 39, 263–75.
* Worrall, J. (1989a). ‘Fresnel, Poisson and the White Spot: The Role of Successful Predictions in Theory Acceptance’（菲涅尔、泊松与白点：成功预测在理论接受中的作用）, 载于 D. Gooding, S. Schaffer and T. Pinch (eds), *The Uses of Experiment: Studies of Experiment in Natural Science*（实验的用途：自然科学中的实验研究）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Worrall, J. (1989b). ‘Structural Realism: The Best of Both Worlds?’（结构实在论：两全其美？）, *Dialectica*, 43, 99–124.
* Worrall, J. and Currie, G. (eds) (1978a). *Imre Lakatos, Philosophical Papers, Volume I: The Methodology of Scientific Research Programmes*（伊姆雷·拉卡托斯，哲学论文集，第一卷：科学研究纲领方法论）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Worrall, J. and Currie, G. (eds) (1978b). *Imre Lakatos, Philosophical Papers, Volume 2: Mathematics, Science and Epistemology*（伊姆雷·拉卡托斯，哲学论文集，第二卷：数学、科学与认识论）. Cambridge: Cambridge University Press.
* Zahar, E. (1973). ‘Why Did Einstein’s Theory Supersede Lorentz’s’（为什么爱因斯坦的理论取代了洛伦兹的理论）, *British Journal for the Philosophy of Science*, 24, 95–123 and 223–63.

**人名索引**

* **Abbe, E.** 196
* **Ackermann, R.** 80, 180, 196
* **Adams, J.C.** 73, 127
* **Adler, A.** 59, 60, 68
* **Althusser, L.** xiii
* **Ampere, A.M.** 181–182
* **Anthony, H.D.** 1–2
* **Aquinas, T.** 152
* **Arago, F.** 191, 217
* **Archimedes** 199
* **Aristarchus** 140
* **Aristotle (亚里士多德)** 2, 14, 201, 203, 234, 238, 240
  + 与证伪法相关 66–67, 71, 86–90, 92–93
  + 与费耶阿本德思想相关 140, 143
  + 与方法论相关 149, 151–152, 157–158
  + 与范式相关 105–107, 112–113
* **Armstrong, D.M.** 208
* **Ayer, A.J.** 17
* **Bamford, G.** 171
* **Barnes, B.** 17, 120
* **Bayes, T.** xv, 161–178, 179–180, 227, 229
* **Berkeley, G.** 3
* **Bhaskar, R.** 208
* **Blake, T.** xiii
* **Block, I.** 151–152
* **Bloor, D.** 17, 120
* **Bohr, N.** 85, 125, 220
* **Boltzmann, L.** 116, 223
* **Boyd, R.** 219
* **Boyle, R.** 156–157, 160, 197–198, 203, 207–208, 240–242
* **Brahé, T.** 83, 93, 123, 154–155
* **Brown, H.J.** 17
* **Buchwald, J.** 182–183
* **Carnap, R.** 55, 145
* **Carnot, S.** 223
* **Cartwright, N.** xv, 208
* **Cavendish, H.** 125, 200
* **Chalmers, A.** 24, 80, 148–149, 160, 208, 217, 238, 266
* **Chang, H.** xvi
* **Christie, M.** 208
* **Clavelin, M.** 151
* **Clavius, C.** 153
* **Cohen, R.S.** 137
* **Comte, A.** 3
* **Copernicus, N.** 15–16, 236
  + 与证伪法相关 76, 81, 83, 86–94
  + 与费耶阿本德相关 140, 142–143, 154–155
  + 与拉卡托斯相关 122–125, 129–135
  + 木星卫星 21
  + 与新实验主义相关 194–196
  + 与范式相关 97, 103, 105, 107–108, 115
  + 与实在论和反实在论相关 218–219
* **Coulomb, A.** 205, 209
* **Currie, G.** 121, 135, 137
* **Curthoys, J.** xii
* **Dalton, J.** 107, 252–254
* **Darwin, C.** xxi, 10
* **Davies, J.J.** 1
* **Democritus** 149, 233, 239, 240, 242
* **Descartes, R.** 242
  + 笛卡尔主义 102, 107
* **Dickens, C.** xx
* **Dirac, P.A.M.** 220, 223
* **Dorling, J.** 166, 168, 169, 177
* **Drake, S.** 22, 154
* **Duhem, P.** 83, 169, 219, 222, 226, 256
* **Duncan, M.M.** 16
* **Earman, J.** 178
* **Eddington, A.** 55, 74, 186, 191, 194, 268
* **Einstein, A.** xx, xxi, 33, 237, 248
  + 与证伪法相关 55–56, 66–68, 74, 76
  + 与拉卡托斯相关 130, 132
  + 与方法论相关 149
  + 与新实验主义相关 186–187, 191–193
  + 与范式相关 106–107, 109, 111, 116, 132
  + 与概率相关 176
  + 与实在论和反实在论相关 217
* **Faraday, M.** 33, 99, 180–182, 210, 216
* **Fermi, E.** 220, 223
* **Feyerabend, P.** xiii, xxi, 138–148, 160, 179
  + 与证伪法相关 96
  + 与拉卡托斯相关 136–137
  + 反对意见 149–150, 152, 154
  + 与范式相关 116
  + 与概率相关 161
* **Franklin, A.** 37, 196
* **Fresnel, A.J.** 76, 117, 133, 174, 191, 217, 220, 225–226, 258–260
* **Freud, S.** 55–56, 59, 68, 95, 126
* **Galileo (伽利略)** xx, xxi, 1, 132–133, 263
  + 与证伪法相关 65, 67, 71–72
  + 与费耶阿本德相关 139–144, 148, 149–151
  + 自由落体定律 2–3, 26, 92–93, 198–200, 202
  + 木星卫星 20–22
  + 与新实验主义相关 191–192, 194–195
  + 客观方法 24
  + 与范式相关 99, 109, 125
  + 与概率相关 171
  + 与实在论和反实在论相关 218
  + 望远镜 16, 90–91, 116, 151–156, 158, 160
* **Galison, P.** 37, 174, 196, 230
* **Galle, J.** 73, 77, 125
* **Gaukroger, S.** 151
* **Geymonat, L.** 151
* **Glymour, C.** 54
* **Goethe, J.W.** 63
* **Gooding, D.** 180, 196
* **Hacking, I.** 24, 37, 180, 183, 196, 220–221, 223
* **Halley, E.** 126, 161–162, 165, 237
* **Hamilton, W.R.** 206–207
* **Hanfling, O.** 17
* **Hanson, N.R.** 5–6, 17
* **Hawking, S.** 158
* **Helmholtz, H. van** 182
* **Hempel, C.G.** 54, 145, 267
* **Henry, J.** 17
* **Hertz, H.** 29–33, 36, 78, 182–183, 188–189, 191, 200, 216, 244
* **Hirsch, P.** 195–196
* **Hobbes, T.** 203
* **Hooke, R.** 19
* **Horwich, P.** 177
* **Howson, C.** 133, 137, 166, 168–177, 229
* **Hoyningen-Huene, P.** 120
* **Hume, D.** 3, 46, 54, 146, 198, 267
* **Kepler, J.** 61–62, 74, 91, 93–94, 133
* **Klein, U.** xvii, 232
* **Koertge, N.** xii
* **Kuhn, T.** 96, 100–120, 267, 179–180
  + 与费耶阿本德相关 138, 143, 148
  + 与拉卡托斯相关 121, 128, 131, 135, 137
  + 与新实验主义相关 188–189
* **Lagrange, J.L.** 206–207
* **Lakatos, I.** xi, 33, 54, 120, 121–137, 168–169, 179
  + 与证伪法相关 83, 85, 96
  + 与费耶阿本德相关 138–139, 143, 145, 148
* **Laudan, L.** 160, 258–259
* **Lavoisier, A.** 72, 106
* **Lawrence, D.H.** xx
* **Leplin, J.** 226
* **Leverrier, U.J.** 73, 127
* **Locke, J.** 3, 17, 146, 267
* **Lodge, O.** 192
* **Mach, E.** 116
* **Marx, K.** xii, xix, 55–56, 59, 68, 122, 126, 136, 144
* **Maxwell, J.C.** 30–33, 182, 243, 246
  + 与证伪法相关 75–76, 78, 85
  + 与法则相关 206
  + 与范式相关 99, 101, 105–106, 116
  + 与实在论和反实在论相关 209, 215, 217, 220
* **Mayo, D.** xvii, 37, 96, 111, 137, 178, 184–189, 191–194, 196, 230, 236–237, 266, 268
* **Menter, J.** 195–196
* **Michelson, A.A.** 116
* **Mill, J.S.** 144
* **Morley, L.** 116
* **Mulkay, M.J.** 14, 159
* **Musgrave, A.** xvii, 33, 96, 120, 130, 137, 268
* **Nabokov, V.** xii
* **Nagel, E.** 145
* **Nersessian, N.** 120
* **Newman, W.R.** 232
* **Newton, I.** xxi, 161–162, 234, 236–238, 240–242, 245–246
  + 与哥白尼革命相关 86, 93–94
  + 证伪法 61–62, 65–67, 70, 78, 84–85
  + 与费耶阿本德相关 141
  + 与拉卡托斯相关 122, 124–127, 137
  + 与法则相关 201–202, 206–207
  + 与海王星相关 73–74, 77, 83
  + 与新实验主义相关 185–188, 192–193
  + 之前的光学 103
  + 与范式相关 97–98, 101–103, 106–107, 111, 113, 116–117, 132
  + 与概率相关 165
  + 与实在论和反实在论相关 209, 215, 217, 220, 223
* **Nye, M.J.** 14, 266
* **O’Hear, A.** 80
* **Oersted, H.C.** 180
* **Osiander, A.** 16, 155, 218
* **Pauli, W.** 106
* **Perrin, J.** 189, 191, 244–252, 256, 259–260, 266, 268
* **Plato** 74
* **Poincaré, H.** 214, 226
* **Poisson, S.D.** 76, 117, 174
* **Polanyi, M.** 7, 104
* **Popper, K.** xi–xii, 24, 54, 118, 120, 179
  + 证伪法 59, 61–62, 68, 72–74, 80, 94–96
  + 与费耶阿本德相关 139, 145
  + 与拉卡托斯相关 121–122, 128–129, 131
  + 与法则相关 198
  + 与新实验主义相关 188, 193
  + 对归纳法的反对 55–56
  + 与范式相关 111–112
  + 与概率相关 161, 163, 165, 170–171, 176
  + 与实在论和反实在论相关 221, 225–226
* **Post, H.** xii
* **Power, H.** 19
* **Price, D.J. de S.** 155
* **Principe, L.M.** 232
* **Prout, W.** 33, 168–170, 173, 175
* **Ptolemy, C.** 86, 87, 90, 93, 129, 130, 154, 155, 236, 238
* **Quine, W.V.O.** xii, 83, 169
* **Roentgen, W.** 65
* **Rosenkrantz, R.D.** 178
* **Rowbotham, F.J.** 2
* **Russell, B.** 41, 54, 74
* **Russell, D.** xiii
* **Salmon, W.** 54
* **Schilpp, P.A.** 80, 96
* **Shapere, D.** 24
* **Snell, W. van R.** 184–185
* **Soddy, F.** 33
* **Stove, D.** 54
* **Suchting, W.** xii
* **Tarski, A.** 211–213, 261–262
* **Thomason, N.** 194
* **Thomson, J.J.** 29–30, 36, 189, 200, 205–206, 242–244
* **Thurber, J.** 22
* **Urbach, P.** 166, 168–177, 229
* **van Fraassen, Bas C.** 178, 266, 277
* **van Fraassen, Bas C.** 178, 277
* **van Fraassen, Bas C.** 277
* **Woolgar, S.** 159
* **Worrall, J.** 107, 121, 133, 137, 191, 225–226, 258, 259
* **Worrall, J.** 107, 121, 133, 137, 191, 225–226, 258, 259
* **Worrall, J.** 107, 121, 133, 137, 191, 225–226, 258, 259
* **Worrall, J.** 107, 121, 133, 137, 191, 225–226, 258, 259
* **Worrall, J.** 107, 121, 133, 137, 191, 225–226, 258, 259
* **Zahar, E.** 122, 127, 129, 135, 137