

站在巨人 与矮子肩上

爱因斯坦未完成的革命

[德] 于尔根·雷恩 / 著 关洪 方在庆 / 译

Auf den Schultern von Riesen und Zwergen

Einsteins unvollendete Revolution



Auf den Schultern
von Riesen
und Zwergen
Einsteins unvollendete Revolution

站在巨人 与矮子肩上

爱因斯坦未完成的革命

[德] 于尔根·雷恩 / 著 关洪 方在庆 / 译



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

北京市版权局著作权合同登记 图字:01-2007-4072

图书在版编目(CIP)数据

站在巨人与矮子肩上:爱因斯坦未完成的革命/(德)于尔根·雷恩著;关洪,方在庆译. —北京:北京大学出版社,2009. 11

ISBN 978-7-301-15862-3

I. 站… II. ①雷…②关…③方… III. 爱因斯坦, A. (1879~1955)-人物研究 IV. K837. 126. 11

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 171218 号

Originally published in the German language by WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstraße 12, D-69469 Weinheim, Federal Republic of Germany, under the title “Auf den Schultern von Riesen und Zwergen. Einsteins unvollendete Revolution”. Copyright 2006 by WILEY-VCH Verlag GmbH GmbH & Co. KGaA.

书 名: 站在巨人与矮子肩上——爱因斯坦未完成的革命

著作责任者: [德]于尔根·雷恩(Jürgen Renn) 著 关 洪 方在庆 译

责任编辑: 闵艳芸

标准书号: ISBN 978-7-301-15862-3/K·0633

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750673

出版部 62754962

电子邮箱: minyanyun@163.com

印刷者: 北京宏伟双华印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

650 毫米×980 毫米 16 开本 21.5 印张 319 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定 价: 39.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

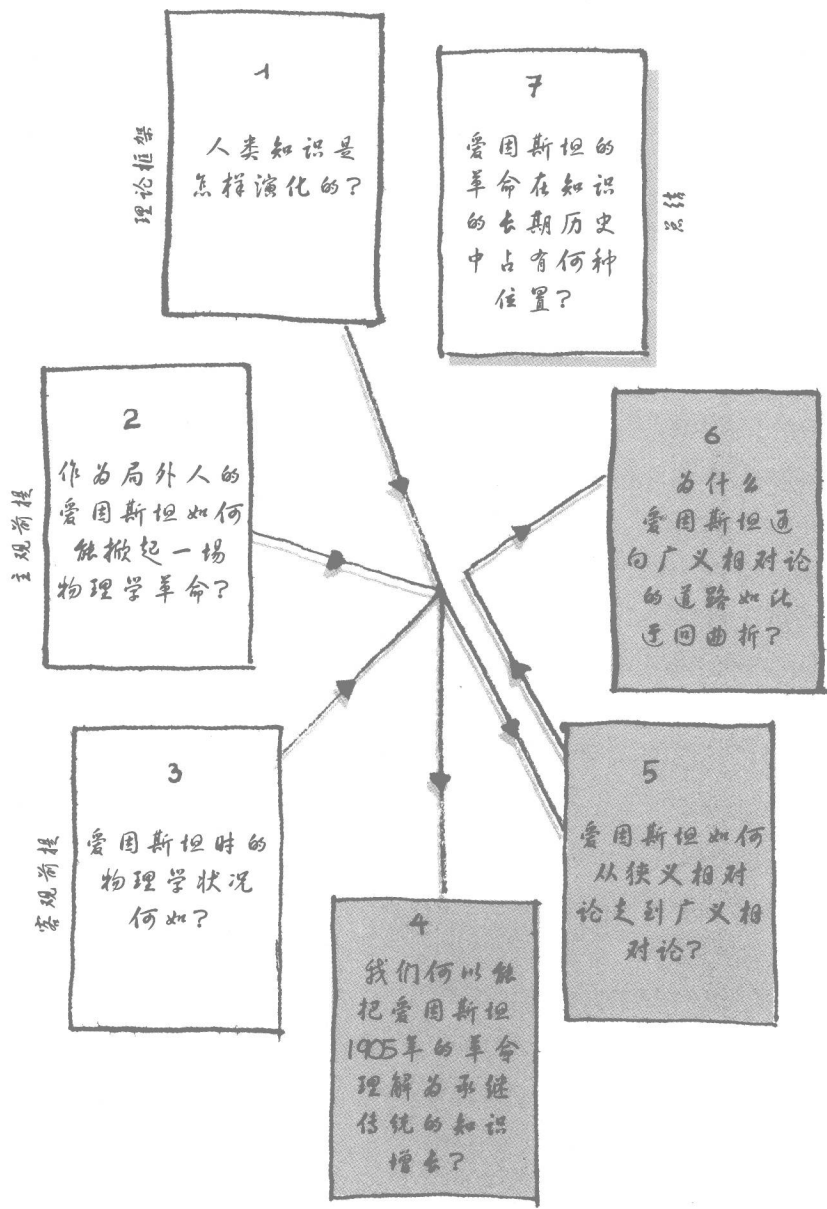
版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024 电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

这本书既是关于爱因斯坦的两次科学革命的迷人历史,又是对科学是怎样取得进步的令人深思的考查。科学发展无疑在我们现今社会中起着中心作用,对我们至关重要,理解新概念是怎样取代旧概念的。爱因斯坦在1905年和1915年的两次革命彼此之间是如此不同,对它们显然不能使用过分简单的科学进步模型。雷恩教授是相对论史和相对论理论方面的专家,他在这本书中向读者提供了大量素材,帮助人们对科学改变发展方向时实际上所发生的事情进行思考。

伯恩纳德·F.舒茨(Bernard F. Schutz)

马克斯·普朗克引力物理研究所(阿尔伯特·爱因斯坦研究所)



中文版序

《站在巨人与矮子肩上——爱因斯坦未完成的革命》一书中文版的出版，让我非常高兴，因为我知道，这本书将到达更多人的手中，他们像爱因斯坦所喜爱的那样，深深地致力于如下事业：探究对我们的物理世界的理解，致力于追求一个和平的、社会公正和尊重少数民族的世界。这种探究对于任何愿意和能够追求它的人都是开放的。

爱因斯坦本人就属于一个少数民族，生活在一个不平静的时代。出生于德国的他，在青年时代遭遇了反犹太主义的仇恨。后来他勇敢地站出来反对第一次世界大战，在二战中移居国外，晚年他开始对核军备进行批评。爱因斯坦对既成体系总是持批评态度，无论它们是政治上的，还是科学上的。

这本书讨论了他与经典物理学中已得到公认的观点的斗争过程。1905年，他用在一定情况下辐射行动是粒子的提议，以及他将布朗运动解释为物质的原子构造的一个结果挑战了经典物理学，特别是，他提出了让同时代人都惊讶的一个新的关于空间和时间的理论：狭义相对论。

这场科学革命的根源何在？是爱因斯坦一个人完成的，还是他也信赖了其他人？如果是后者，这些人又是谁？他难道只是站在——用牛顿的话来说——巨人的肩上？但是那些科学上的小人物呢？他们所做的工作在这场革命中又起到了何种作用？难道爱因斯坦真的像人们通常所描述的那样是一个孤独的天才？或者，他也从那些不太为人所知的同事和朋友处获得过帮助？这些是本书致力于探讨的问题。

正当爱因斯坦1905年的成就逐渐获得科学界的承认时，他又用1915年完成的广义相对论再一次地毁坏了当时的物理学基础。在十年之内，我们对空间和时间的理解就发生了两次激烈的变化。当人们试图理解科学进步的性质时，就必须对这一奇妙的变化之谜做出解释。

基于马克斯·普朗克科学史研究所的联合研究的基础上,我在本书中以爱因斯坦为例,提出了一个新的理解科学发展的研究方法。这一方法将科学的发展看成是长时段的知识发展过程中的一部分,是一种某种意义上与地球上的生命进化相类似的“认知进化”。对于这种认知进化而言,科学上的那些不太为人知的主角也可能会起到重要的作用,因此这本书的书名就不只是提到了“巨人”,也提到了“矮子”。爱因斯坦既站在“巨人”的肩上,也站在“矮子”的肩上。

从这样一种长时段的知识发展观来看,西方的知识传统与中国的知识传统之间从来就没有绝对的分隔。恰恰相反,即使追溯到古代,都存在类似的促进或阻碍科学的因素,间或在西方科学和中国科学之间发生的互动。例如,正如我们在刚用中文出版的另一本书^①中所讨论的那样,在近代早期,当耶稣会的科学家和传教士来到中国时就是如此。

这样的交流总是需要两方都能理解的调解者、中介者和翻译家。不幸的是,他们的任务和作用常常被低估了。事实上,他们通常遇到了理解双方——在本书中,即作者和潜在的读者——的最困难的挑战。本书的初译是由著名的学者、中山大学物理系的关洪教授来熟练地完成的。很不幸的是,他在完成本书的第一个完整的译稿后不久,于2007年10月30日逝世了。这样一位杰出的学者在他生命的最后阶段来献身于这一翻译工作,本书作者深感荣焉。我也要感谢闵艳芸女士和她在北京大学出版社的同事在出版本书中译本方面的辛勤努力。

最后我想强调的是,这个译本如果没有中国科学院自然科学史研究所与马克斯·普朗克科学史研究所的前伙伴合作小组负责人张柏春教授的提议和方在庆教授的不懈的努力,是不可能实现的。感谢方教授,他竭尽全力,利用自身在现代物理学史方面的高超修养,献出了如此多的宝贵时光,认真地进行了校对和翻译,最终确保了一个可以信赖的译本。

于尔根·雷恩

2009年8月7日

^① 张柏春、田淼、马深孟(Matthias Schemmel)、雷恩(Juergen Renn)、戴培德(Peter Damerow)等:《传播与会通——〈奇器图说〉研究与校注》,江苏科学技术出版社2008年版。

前 言

逝者永不亡。甚或从未逝去。

——威廉·福克纳(William Faulkner)

倘若我未能比众人看得更远,是因为在我的双肩站着一些巨人。

——阿尔·阿贝儿松(Hal Abelson)

那些此前处于科学边缘的学科,现在位于科学的中心。

——格奥尔格·克利斯托夫·利希滕贝格(Georg Christoph Lichtenberg)

本书叙述阿尔伯特·爱因斯坦(Albert Einstein)关于我们对空间、时间、运动、引力、物质和辐射等概念的一场未完成的革命的故事。这场革命是从爱因斯坦 1905 年这个奇迹年开始的,并于 1915 年在他的广义相对论里得到发展。它对今天关于宇宙的起源和命运的理解的探求仍产生持续存在的影响。在知识的历史理论背景下,我们试图将爱因斯坦这场未完成的革命,理解为一场更加广泛的革命的结果。我们也想特别表明,科学上的进步,以及一场科学革命是如何取得的。在科学史上没有别的插曲比爱因斯坦的发现更激动人心,也更宜于让人们了解到为什么像爱因斯坦那样的大思想家能够比他们的前辈看得更远。他们不仅站在“巨人”,即像牛顿那样具有巨大的科学成就的伟大先驱的肩上,而且亦在科学知识、技术知识和一般的常识方面站在一些“矮子”的肩上,而这些知识是在人类历史进程中,经过世世代代积累下来的。在这一情况下,这些“矮子”当中尤其包括了被人们遗忘了的爱因斯坦的朋友和援手者,他们的贡献也应当在这里得到承认。

本书每一章开始处都有一段预览,预示了该章主要的论题。在第一章中,通过许多事例描画了作为后续各章语境的、知识演进的历史理论。对这

- 2 一理论进行的思考,是以马克斯·普朗克科学史研究所进行的研究为基础的,这一研究计划囊括了科学革命的许多不同领域和时期,从在古代高度发达的文明中数学的衍生,到近代早期科学革命的年代,直至20世纪初物理学的剧烈变革;第二章介绍了爱因斯坦革命的某些传记性的要素,并且亦以这种方式给出了第三章的背景材料;第三章试图描述经典物理学知识系统的主要结构,以说明爱因斯坦持有什么样的知识资源来取得他科学上的突破。因而在这一章里也提供了作为第四、第五和第六章主题的科学革命背景的说明;第四章的中心论题是爱因斯坦在1905年的革命性贡献。这一章聚焦于如何从经典物理学的结构产生出后来成为现代物理学基础的新概念的过程;下面两章可以独立于第四章来读,它们用广义相对论的起源来说明这一转变过程的进一步细节,那是爱因斯坦经过多年紧张努力的研究才于1915年完成的。由于使用了一些原始资料,这部分历史被综合性地重构了,从而提供了一个极好的机会来检验第一章提到的某些理论思考;第七章即最后一章也可以独立地阅读,在这一章里总结了基于前面的历史性讨论的这种思考,并且将爱因斯坦在科学上的突破放到人类知识发展的长期历史语境中来考查。这种考查以对科学剧变的当前状况的反思而结束。

- 3 虽然处理的是像相对论起源这样复杂的问题,文中避去了几乎所有数学公式,应当适于还记得中学里学过一些物理学概念,而对那些困难的部分保持适当的耐心的任何人阅读。读者可能对第五章和第六章特别感到困难,因为在这两章里试图给出爱因斯坦创立广义相对论的工作的重构,而这一重构又是以历史研究的可利用材料和研究成果为基础的。但在这里关注的重点仍然是他的工作中认识过程的本性,而不是其中的技术性细节。然而,为了表达爱因斯坦和他的同时代人所面对的困难,或者至少对此给出一点印象,这些细节的定性描述常常是不可避免的,有兴趣对物理学论证深入钻研的读者们,应当参考在每一章末尾处引述的专业出版物。尝试在这里对物理学和数学问题进行定性描述,还有一个目的,即阐明进入到爱因斯坦的科学革命里的知识构造。像 $\text{力} = \text{质量} \times \text{加速度}$ 那样的、表示数学和物理学关系的概念意义的公式,已被证明是理解这种联系的有力手段。这些公式可以显示出超越任意特定的数学表述的相似性。也许这样一些概念性的公式也会在将来

表现出在新的电子媒体中将物理学知识系统化的潜力。

肯定可以设想得到,这些和其他一些结构一起会成为壮大中的语义网络(semantisches Netz)的元素,使得将来因特网的用户能够直接地对知识内容进行操作。这些用户可以使用比传统方法所可能做到的简单得多的方法把不同的知识资源更简单地联系起来,运用这种方法构造出它们的意义,由此支持一种知识综合的过程,而在本书中我们将看到,这种过程在爱因斯坦认识上的突破也是至关重要的。基于这种考虑,像在这里对爱因斯坦的革命所进行的知的历史状况的结构分析,对于从约翰·谷登堡(Johannes Gutenberg)^①时代到因特网世界的转变过程中科学知识的结构变化问题,可能很好地得出一种实验室里的实验的意义。

这本书几乎在所有方面都是一种共同努力的结果;它是以近年来我在马克斯·普朗克科学史研究所主持的,以及与我的同事们合作进行的研究为基础的。有关的原始工作可以回溯到由柏林参议院于1991年至1993年的赞助,在马克斯·普朗克教育研究所(Max-Planck-Institut für Bildungsforschung)里由戴培德(Peter Damerow)和我领导的“阿尔伯特·爱因斯坦”研究小组。该小组从属于沃尔夫冈·埃德尔施泰因(Wolfgang Edelstein)领导的部门。现在这本书是以我们在1994年提交的研究报告为起源的。除了本书的题献对象戴培德之外,还要感谢在这项联合成果中做出了重要贡献的其他同事,特别是朱塞佩·卡斯塔涅蒂(Giuseppe Castagnetti)、米歇尔·扬森(Michael Janssen)、约翰·诺顿(John Norton)、罗伯特·里纳斯维茨(Robert Rynasiewicz)、马深孟(Matthias Schemmel)、蒂尔曼·绍尔(Tilman Sauer)和约翰·斯塔切尔(John Stachel)。由于广义相对论的历史多年来是我们研究的中心,它亦占据着这本书的一个特别的地位。我们的许多研究成果直接影响着这本书,因此在每一章的末尾都引证了这些成果。我们不追求资料的完全性,但也在与特定的几章的论题有关之处,选择引用了有兴趣的几种出版物。我们着重的是非专家所能看到的资料,以及那些对本书中陈述的观点有特别影响的论文。

^① 谷登堡是15世纪德国金属活字印刷术的发明者。——译者

本书的总目的不是要对我们多年来进行的范围广泛的研究结果提出一种全面综合。我在这篇序言的末尾处提供了关于这种综合的文献。与此相反,我试图运用那些在这里说的“爱因斯坦的革命”,作为尽可能简单地陈述我们对科学的结构变化的基本见解,为的是与“爱因斯坦研究者”(Einsteinforschern)这个小团体之外的人们分享。我预期我将会陷于一方面被斥之为过分简单化,另一方面又被斥之为晦涩含混的两难境地,并且必须恳求来自我的同行们和友善的读者们的宽容。

本书中的每一章都起源于一些独立的文章,因此都可以单独地阅读。如果觉得某些段落有困难或者太过琐碎,那么可以跳过这些段落而不会影响到比较容易的部分的阅读。在这篇序言开始处的那幅图,画出了各章之间的联系,并且特别注明了为了阅读每一章,需要先读哪几章。

5 本书的另一个特点是,它是合作的成果。假如没有琳迪·迪瓦尔奇(Lindy Divarci)、卡曼·哈默(Carmen Hammer)和乌尔夫·冯·劳赫豪普特(Ulf von Rauchhaupt)的细致耐心的工作,就不会有这本书,他们从头到尾改写了书稿,并且帮助插进了许多例子。没有他们的积极支持,“2005 爱因斯坦年”的其他各种事务将会使得这本书不能按期完成。我还要感谢我的家人在这些紧张的日子里的关心和理解。

卡佳·伯德克(Katja Bödeker)、朱塞佩·卡斯塔涅蒂、戴培德、迪特·霍夫曼(Dieter Hoffmann)、迈克尔·扬森、霍斯特·康德(Horst Kant)、乌尔苏拉·克莱因(Ursula Klein)、克利斯托夫·莱纳(Christoph Lehner)、马尔库斯·珀斯尔(Markus Pössel)、罗伯特·里纳斯维茨(Robert Rynasiewicz)、马深孟(Matthias Schemmel)和迪尔克·温特格林(Dirk Wintergrün)仔细地阅读过书稿的不同部分,并且提出了无数改进的建议。文中大量直接引自英文的文献,由格哈德·赫尔戈特(Gerhard Herrgot)非常细致而投入地译成德文。对于他的献身精神,在此再次衷心感谢!米丽亚姆·加布里尔(Miriam Gabriel)编辑了索引,为我们的成功贡献了她的研究成果。我要对他们全体,以及设计了本书封面且为每一章绘制了插图的、举世无双的劳伦特·陶丁(Laurent Taudin)等人不倦的协作和诚挚的善意表示衷心的感谢。我还要特别感谢我的两位意大利同事法比奥·贝韦拉克(Fabio Bevilaque)和恩里

科·詹内托(Enrico Giannetto),是他们让我2004年春天在帕维亚大学,有这样的机会在做一系列讲座时浮现出了写作这本书的最初念头。我还要对设在耶路撒冷的希伯来大学阿尔伯特·爱因斯坦档案馆,以及设在帕萨迪纳的加州理工学院“爱因斯坦文献计划”允许我引用爱因斯坦的一些资料表示友好的谢意。最后,我亦对本书的编辑亚力山大·格罗斯曼(Alexander Grossmann)表示感谢。

推荐读物

本书是同另外一个多卷本的关于广义相对论起源的研究成果的全面深入的系列出版物平行出版的,那是近年来一个国际科学家小组与马克斯·普朗克科学史研究所合作的产物。

Renn, Jürgen (ed.). 2006. *The Genesis of General Relativity*, 4 vols. Dordrecht: Springer:

Vol. 1: Jürgen Renn, Michel Janssen, John Norton, Tilman Sauer and John Stachel *Einstein's Zurich Notebook: Introduction and Source*.

Vol. 2: Jürgen Renn, Michel Janssen, John Norton, Tilman Sauer and John Stachel *Einstein's Zurich Notebook: Commentary and Essays*. 6

Vol. 3: Jürgen Renn and Matthias Schemmel (eds.). *Gravitation in the Twilight of Classical Physics. Between Mechanics, Field Theory, and Astronomy*.

Vol. 4: Jürgen Renn and Matthias Schemmel (eds.). *Gravitation in the Twilight of Classical Physics. The Promise of Mathematics*.

关于爱因斯坦革命的历史的进一步的研究成果,见以下出版物,上面提到的研究小组的成员们亦对以下的工作有贡献:

Howard, Don and John Stachel (eds.). 1989—. *Einstein Studies*, 11 vols. New York: Birkhäuser.

Janssen, Michel (ed.). 2006. *The Centenary of Einstein's Annus Mirabilis*. Special Issue: *Studies in History and Philosophy of Modern Physics*.

Janssen, Michel and Christoph Lehner (eds.). In preparation. *Cambridge Companion to Einstein*. New York: Cambridge University Press.

爱因斯坦论文的权威版本是:

The Collected Papers of Albert Einstein. 1987— (Vols. 1—10). Princeton: Princeton University Press. (中译本目前只出版了五卷:《爱因斯坦全集》,1—5卷,湖

南科学技术出版社, 2002)

这一版本包含了对爱因斯坦的传记和工作的不同方面的无数十分有价值的介绍。还可以推荐的是 Einstein Archive Online(爱因斯坦在线文档), 这是耶路撒冷的希伯来大学“阿尔伯特·爱因斯坦档案馆”以及设在帕萨迪纳的加州理工学院“爱因斯坦文献计划”的一个联合计划:

<<http://www.alberteinstein.info/>>

对爱因斯坦的科学工作及其前因后果的一种一般能够读得懂的介绍, 可以参看三卷本的《阿尔伯特·爱因斯坦——宇宙总工程师》。这三大卷是马克斯·普朗克科学史研究所为了迎接 2005 爱因斯坦年而出版的, 与此同时还举办了与此同名的一个展览。这个展览仍然在以下的网址上作为一个“虚拟展览”陈列着^①:

<<http://www.einsteinausstellung.de>>.

Renn, Jürgen (ed.). 2005. *Albert Einstein—Chief Engineer of the Universe. Einstein's Life and Work in Context*. Berlin: Wiley-VCH.

7 —. 2005. *Albert Einstein—Chief Engineer of the Universe. One Hundred Authors for Einstein*. Berlin: Wiley-VCH.

——. 2005. *Albert Einstein—Chief Engineer of the Universe. Documents of a Life's Pathway*. Berlin: Wiley-VCH.

此外, 在下列出版物中, 还可以看到部分附有导读性注释的爱因斯坦论文:

Einstein, Albert. 2005. *Albert Einstein: Akademie-Vorträge. Sitzungsberichte der Preußischen Akademie der Wissenschaften 1914—1932*. Edited by Dieter Simon. Berlin: Wiley-VCH.

Einstein, Albert. 2005. *Einstein's Annalen Papers. The Complete Collection 1901—1922*. Edited by Jürgen Renn. Berlin: Wiley-VCH.

爱因斯坦在《物理学纪事》(*Annalen der Physik*)杂志上发表的文章可以在因特网上免费查阅:

<<http://einsteinannalen.mpiwgberlin.mpg.de/home>>

爱因斯坦自己亦以一种一般人能够理解的方式来介绍他的思想和理论。以下的出版物仍然位于对他的工作的最可读的介绍之列:

Einstein, Albert. 1922. *The Meaning of Relativity: Four Lectures Delivered at Princeton University, May 1921 by Albert Einstein*. Translated by Edwin Plimpton Adams (1st ed.). London: Methuen. (中译本:《相对论的意义》, 李灏译, 科学出版社, 1961)

——. 1992. *Autobiographical Notes. A Centennial Edition*. Edited by Paul A.

① 有关介绍参见方在庆主编:《一个真实的爱因斯坦》, 北京大学出版社, 2006。——译者

Schilpp. La Salle, Ill. : Open Court. (中译本:《自述》,载《爱因斯坦文集》第一卷,许良英、范岱年编译,1—42页,科学出版社,1976)

——. 1950. *Out of My Later Years*. New York: Philosophical Library. (中译本:《爱因斯坦晚年文集》,方在庆、韩文博、何维国译,海南出版社,2000年4月)

——. 1954. *Ideas and Opinion: Based on "Mein Weltbild" edited by Carl Seelig and Other Sources*. New York: Bonanza Books.

——. 1920. *Relativity, the Special and the General Theory: A Popular Exposition* by Albert Einstein. Translated by R. W. Lawson. London: Methuen. (中译本:《狭义和广义相对论浅说》,杨润殷译,上海科学技术出版社,1964)

Einstein, Albert und Leopold Infeld. 1938. *The Evolution of Physics: The Growth of Ideas from Early Concepts to Relativity and Quanta*. New York: Simon & Schuster. (中译本:《物理学的进化》,周肇威译,上海科学技术出版社,1962)

目 录

中文版序 / 1

前言 / 3

第一章 科学进步的悖论 / 1

预览：人类知识是怎样演化的？ / 3

在偶然与必然之间的进步 / 4

累积还是革命？ / 5

尽管发生革命，仍然还进步？ / 7

科学家的柏拉图式自我认知 / 8

从柏拉图主义到理性主义 / 10

关于科学史的冲击力 / 12

陌生的世界 / 14

文化史的视角 / 16

传统科学史的视角 / 18

进步与物质文化 / 20

进步和时代精神 / 21

知识的维度 / 23

进步和发展 / 24

物质手段 / 27

科学的历史性定义 / 28

作为冰山之巅的科学 / 30

现实主义原理 / 31

思维模型 / 32

2 ■ 站在巨人与矮子肩上

非单调逻辑 / 33

现实模型 / 35

科学革命的动力学 / 36

第二章 介于传奇与挑战之间 / 43

预览:作为局外人的爱因斯坦如何能掀起一场物理学革命? / 45

爱因斯坦传奇 / 46

1905 奇迹年 / 48

一场革命的前期历史 / 50

第二次革命 / 55

第二次革命的语境 / 57

爱因斯坦和物理化学 / 62

广义相对论的挑战 / 66

第三章 经典物理学的大陆及其边界问题 / 75

预览:爱因斯坦时的物理学状况何如? / 77

经典物理学的大陆 / 77

边界问题 / 80

视野的问题 / 82

不可见的机制 / 85

以太模型 / 87

原子模型 / 89

运动物体的电动力学 / 93

统计物理学 / 96

布朗运动之谜 / 99

处在平衡态的热辐射 / 101

语境中的边界问题 / 104

第四章 经典物理学头脚倒置的改造 / 111

预览:我们何以能把爱因斯坦 1905 年的革命理解为承继传统的知识增长? / 113

5月的一场会面 / 114	
作为伽利略信徒的爱因斯坦 / 117	
一种看法的起源 / 123	
爱因斯坦早期对以太的考察 / 127	
设想用来取代经典物理学的理论 / 132	
作为经典物理学与现代物理学之间桥梁的统计力学 / 136	
统计力学与辐射理论 / 140	
布朗运动的发明 / 146	
爱因斯坦的哥白尼式革命 / 151	
光量子的第二次发现 / 152	
对扩散的一种新解释 / 156	
狭义相对论的起源 / 158	
第五章 引力的颠覆性 / 173	
预览:爱因斯坦如何从狭义相对论走到广义相对论? / 175	
与众人期待相反的一场革命 / 176	
相对论性引力理论的两难局面 / 178	
爱因斯坦逃脱两难困境的途径 / 183	
等效原理的结果 / 188	
把引力描述为空间和时间的曲率的突破 / 191	
爱因斯坦寻求场方程的启发式方法 / 196	
双重策略 / 201	
通向场方程的道路上的最早几步 / 204	
从修补阶段得来的见解 / 206	
坦途成了死胡同 / 209	
在数学策略和物理策略之间 / 214	
第六章 绕着圈子的进步 / 223	
预览:为什么爱因斯坦通向广义相对论的道路如此迂回曲折? / 225	
框架理论作为爱因斯坦和希尔伯特的跳板 / 226	