

微百科

[美] 史蒂文·温伯格 著
Steven Weinberg

王丽译

最初三分钟

关于宇宙起源的现代观点

The First Three Minutes

诺贝尔物理学奖获得者经典读物

被评为“改变世界的25本科普书”之一



重庆大学出版社

<http://www.cqup.com.cn>

微百科

The First Three Minutes

最初三分钟

关于宇宙起源的现代观点

藏书

[美] 史蒂文·温伯格 著

Steven Weinberg

王丽译

重庆大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点 / (美) 温伯格 (Weinberg, S.) 著；王丽译. —重庆：重庆大学出版社，2015.9

(微百科系列)

书名原文：The first three minutes: a modern view of the origin of the universe

ISBN 978-7-5624-8959-7

I. ①最… II. ①温…②王… III. ①宇宙—起源—研究 IV. ①P159.3

中国版本图书馆CIP数据核字 (2015) 第062074号

最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点

Zuichu Sanfenzhong

(美) 史蒂文·温伯格 著

王丽译

策划编辑：王斌敬京

责任编辑：文鹏姜凤

责任校对：邹忌

重庆大学出版社出版发行

出版人：邓晓益

社址：(401331) 重庆市沙坪坝区大学城西路21号

网址：<http://www.cqup.com.cn>

重庆五环印务有限公司印刷

开本：890×1240 1/32 印张：8 字数：133千

2015年9月第1版 2015年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5624-8959-7 定价：36.00元

本书如有印刷、装订等质量问题，本社负责调换

版权所有，请勿擅自翻印和用本书制作各类出版物及配套用书，违者必究

第二版前言

近来，天文学知识的发展已基本证实，在 1977 年《最初三分钟》首次出版时，人们对于宇宙理论的总体理解大致是正确的。但在过去的 16 年中，各种没有把握的问题已经得到解决；新的问题也已出现；对最初一秒钟之前这段时间的宇宙的早期历史也已提出了新的想法。因此，我很高兴借着这次出版新版《最初三分钟》的机会增补后记，使本书内容得以更新。我要感谢基础读物出版社的马丁·凯斯勒，感谢他对于新版《最初三分钟》所作的指导。另外，我还要感谢保罗·夏皮罗和伊桑·维什尼亚克对后记提出的宝贵意见。

史蒂文·温伯格

于德克萨斯州奥斯汀

1993 年 4 月

前 言

本书缘于 1973 年 11 月我在哈佛大学本科生科学中心落成典礼上所做的一次演讲。基础读物出版社的社长兼发行人欧文·格莱克斯从我们一个共同的朋友——丹尼尔·贝尔那里听说了这次演讲的内容，于是劝我将其整理成书。

起初，我对这个主意并不热心。尽管我也一直在作一些关于宇宙学方面的研究，但我主要涉及的领域还是基本粒子理论，即极小物质的物理学。另外，关于基本粒子物理学的研究在过去几年中甚为活跃，而我却把过多的时间用在了别处——为各种杂志撰写非专业性文章。因此，我迫切希望将注意力重新转移到本应属于我的专业领域——《物理学评论》。

但我发现我无法停止思考：撰写一本关于早期宇宙的书。有什么能比创世纪的问题更有趣呢？而且，在宇宙早期，特别是在最初百分之一秒的时候，基本粒子理论的问题和宇宙学的

问题融合在了一起。最重要的是，现在是写一些关于早期宇宙内容的大好时机。因为，在过去的几十年中，一种关于早期宇宙事件发展过程的详细理论，作为一种“标准模型”，已得到了广泛的认可。

能够说出在最初一秒钟、最初一分钟或最初一年，宇宙是什么样子，那真是一件非常了不起的事情。对于一个物理学家来说，令人兴奋的是能够量化地把情况弄清楚，能够说出某个时刻宇宙的温度、密度和化学成分是这样的或那样的数值。的确，到目前为止，我们对这些数值的准确性还都没有绝对的把握，但起码我们现在在谈论这些事情的时候能够有一点自信，这就足以让人兴奋不已了。我想向读者表达的也正是这种兴奋。

我最好对本书所面向的读者作个说明。我是根据这样一些读者的情况来撰写本书的：他们愿意对一些详细的论证进行思考，但对数学和物理又不在行。尽管我必须介绍一些较为复杂的科学思想，但在本书正文中却没有使用超出算术范围的数学，也不需要读者事先具备多少物理或天文学知识。对于初次用到的科学术语，我都小心地给出了定义。此外，我还提供了一份物理学和天文学术语词汇表。在可能的情况下，我还对数字采取了诸如“1 000 亿”的写法，而不是使用更为方便的科学记数法： 10^{11} 。

然而，这并不意味着我要写一本简易读物。当一个律师面向普通公众写东西时，他会假设他们不了解法律专用术语，也不懂“禁止永久拥有房产”的规定，但他并不会把事情想得更糟，也不会摆出一副屈尊俯就的模样。我想把这一句恭维话反过来使用：我心目中的读者是一些精明的资深律师，虽然他们讲的不是我的语言，但却想先听一听某些令人信服的论点，然后再拿主意。

如果有些读者确实想了解作为本书论据基础的运算，那么，针对这部分读者，我编写了“数学注释”，附在本书正文之后。关于本书内容所涉及的数学水平，如果是物理学或数学专业毕业的本科生，那么，他一定能够理解这些注释。幸运的是，宇宙学中最重要运算其实是很简单的；广义相对论或核物理更精妙的观点只是偶尔才发挥作用。如果有些读者想针对这一论题进行更深入地专业性探索，可参考“参考文献”中所列的那些高级论文（也包括我写的论文）。

另外，我还要明确指出本书将要探讨的主题。它并不是一本全面探讨宇宙的鸿篇大作。本书的主题中有一个“古典”部分，即关于当前宇宙大规模结构的部分：关于旋涡星云银河系外性质的辩论；关于遥远星系红移的发现及其与距离的依赖性；关于爱因斯坦、德西特、勒梅特和弗里德曼的广义相对论宇宙模型等。很多著作都已经对宇宙学的这部分内容作了精辟的论述，

因此，我并不想在本书中再大费口舌地重新论述一遍。

我所撰写的这本书更多关注的是早期宇宙的情况，特别是人们在 1965 年根据宇宙微波辐射背景的发现所提出的关于早期宇宙的新认识。

当然，宇宙膨胀理论是我们当前关于早期宇宙认识的一个基本组成部分，因此，我不得不在第 2 章中简单介绍一些宇宙学的“古典”内容。我认为这一章为读者，包括那些完全不了解宇宙学的读者提供了充分的背景知识，以便帮助他们了解本书其余章节所论述的内容，即早期宇宙理论的最新发展情况。但如果有些读者想彻底了解关于宇宙学的更早内容，则需参阅“参考文献”中所列的那些著作。

另一方面，由于没能找到条理清晰的关于宇宙学近期发展的历史论述，我不得不自己做些挖掘工作，特别是关于为何在 1965 年之前的很长一段时间内没有人研究宇宙微波辐射背景这一令人着迷的问题（第 4 章对本问题进行了探讨）。但这并不意味着本书纯粹只是记录这些进展的情况——我非常尊重人们在科学史研究工作中所做的努力以及他们对此所赋予的关注，因此，我不会在这方面有任何幻想；相反，如果某个真正的科学家、史学家愿意把本书当作起点，去撰写过去 30 多年关于宇宙学研究的历史的话，我会非常高兴。

我非常感谢基础读物出版社的欧文·格莱克斯和法雷尔·菲

利普斯在本书出版过程中提出的宝贵意见。我还要感谢那些在我撰写这本书的过程中给予我帮助的物理学和天文学界的同仁们，他们也向我提出了善意的忠告，对此我感激不尽。我尤其要感谢拉尔夫·阿尔弗、伯纳德·伯克、罗伯特·迪克、乔治·菲尔德、加里·范伯格、威廉姆·福勒、罗伯特·赫尔曼、弗雷德·霍伊尔、吉姆·皮布尔斯、阿诺·彭齐亚斯、比尔·普雷斯、埃德·珀塞尔和罗伯特·瓦格纳等，他们不辞辛劳，分别阅读了本书的各个章节，并提出了建议。另外，我还要向伊萨克·阿西莫夫、I. 伯纳德·科恩、马撒·利勒和菲利普·莫里森表达感激之情，感谢他们向我提供了关于各个专题的信息。我尤其想对奈杰尔·考尔德表示谢意，感谢他从头到尾阅读了整个初稿，并提出了宝贵的意见。我不敢奢望本书现在已经没有任何差错和晦涩难懂的地方，但我敢肯定，若非有幸得到所有这些慷慨的帮助，它是不会像现在这样清晰、准确的。

史蒂文·温伯格

于马萨诸塞州坎布里奇大学

1976年7月

目 录

- 1 导论：巨人和牛 / 001
- 2 宇宙的膨胀 / 011
- 3 宇宙微波辐射背景 / 053
- 4 炽热宇宙的配方 / 093
- 5 最初三分钟 / 119
- 6 历史的题外话 / 141
- 7 最初百分之一秒 / 155
- 8 尾声：未来前景 / 175

附录 / 183

词汇表 / 185

数学注释 / 199

后记 / 215

参考文献 / 237



1

导论：巨人和牛

关于宇宙的起源，冰岛巨匠斯诺里·斯托里森在 1220 年编纂的斯堪的纳维亚神话集《新埃达》里写道：“最初是一无所有的。既没有地，也没有天，只有一个裂口，也没有草原。而在这混沌虚无的北方和南方，则是冰雪的区域尼夫尔翰和火的区域穆斯皮尔翰。穆斯皮尔翰的火融化了尼夫尔翰的冰，在融化的水中产生了巨人伊默，伊默吃什么呢？好像还有一头牛阿豪姆拉，那牛又吃什么？哦，好像还有一些盐，故事就这样一直继续下去。

我可不想触犯宗教感情，哪怕是北欧海盗的宗教感情也不行。但我得承认这样描述宇宙的起源是不能令人满意的。即使不说对那些无稽之谈的非议，就故事本身而言，这个故事所产生的问题与它所提供的答案一样多，而且每个答案都使初始状态变得更为复杂。

我们不能仅对此书一笑了之，并且坚决放弃所有的宇宙学推测——追溯宇宙的历史起源，这种念头是不可抗拒的。自 16 世纪和 17 世纪现代科学诞生以来，物理学家和天文学家就在不断地研究宇宙起源的问题。

但这些研究一直笼罩在一种不体面的氛围下。我记得，当我还是个学生以及后来在 20 世纪 50 年代开展研究工作（当时研究的是其他问题）时，人们就普遍认为，研究早期宇宙是体

面的科学家不屑为之的事情。这种观点也不无道理。纵观整个现代物理学和天文学历史，用来构建早期宇宙史的观测和理论基础压根就不存在。

然而，在过去的 10 年中，所有这一切都发生了变化。人们普遍接受了一种早期宇宙理论，天文学家们将这种理论称为“标准模型”。它与我们所说的“大爆炸”理论基本相同，只不过它对宇宙成分的认识更加具体，而这种早期宇宙理论正是本书所关注的论题。

为了便于理解，或许应该首先根据当前标准模型所理解的早期宇宙的历史作一概述。但这里仅仅是一个简要说明，我们会在接下来的章节中对这一历史及相信它的理由作出详细解释。

起初，发生了一次爆炸。这个爆炸不同于我们所熟悉的地球上的那些爆炸，即先从一个明确的中心开始，然后向四周扩散，周围被吞噬的空气越来越多。这个爆炸是在各个地方同时发生的，从一开始便充满了整个空间，每个物质粒子都与其他粒子迅速分离开来。这里的“所有空间”可以指整个无穷宇宙，也可以指像球面那样蜿蜒曲回的有穷宇宙。无论哪种情况都不易被理解，但这并无大碍。空间到底是有穷的还是无穷的，这对早期宇宙的研究来说并不重要。

在爆炸后大约 0.01 s 的时间，即我们能够自信地谈论的最

早时间里，宇宙的温度大约是 1 000 亿 (10^{11}) 摄氏度。这一温度甚至比最热的恒星中心的温度还要高。在这种高温条件下，普通物质的组成成分，包括分子、原子，甚至是原子核都无法聚集在一起；相反，在这一爆炸过程中迅速分离的物质是由各种所谓的基本粒子组成的，而基本粒子正是现代高能核物理所研究的课题。

在这本书中，将会反复提到这些粒子——在这里，仅指出早期宇宙中数量最多的那些粒子就已足矣，更详细的解释将在第 3 章和第 4 章中进行讨论。大量存在的一种粒子是电子，即带负电的粒子，它以电流形式通过电线，并形成当前宇宙中所有原子和分子的外壳。早期宇宙中大量存在的另一种粒子是正电子，即带正电的粒子，与电子质量完全相同。在当前宇宙中，只有在高能实验室、某些放射现象、某些剧烈的天文学现象，如宇宙射线和超新星现象中才能发现正电子。但在早期宇宙中，正电子的数量与电子的数量不相上下。除电子和正电子之外，还有数量大致相同的各种中微子，即，没有质量或电荷的粒子，仿若虚无缥缈的幽灵一般。最后，宇宙中还充满光。对此，不必与粒子区别对待，量子理论告诉我们，光是由零质量、零电荷的粒子——光子组成的（每当灯丝中的一个原子从高能状态转变为低能状态时，都会释放出一个光子。从灯泡中释放出来

的光子非常多，看上去它们就像汇集成了一条连续的光束，但通过光电池，可以准确计算出光子的数量）。每个光子都携带着一定数量的能量和动量，其数量大小取决于光的波长。为了描述充斥在早期宇宙中的光线，一般可以这样认为，光子的数量和平均能量与电子、正电子或中微子的大致相同。

这些粒子（电子、正电子、中微子和光子）不断地从纯能量中产生出来，短暂存在后又湮灭了。因此，它们的数量不是早就注定的，而是由产生与湮灭过程的平衡所决定的。根据这一平衡，我们可以推断出，在温度高达 1 000 亿度的条件下，宇宙的密度约为水的 40 亿 (4×10^9) 倍。此外，宇宙场内还掺有少量杂质，它们由较重的粒子：质子和中子组成，是原子核的组成成分（质子带正电；中子稍重且不带电）。其比例大约为每 10 亿个电子（或正电子、中微子或电子）对一个质子和中子。为了设计宇宙的标准模型，这个数值的设置，即每一个核粒子中就有 10 亿个光子是必须从观测中获得的关键数值。在第 3 章中讨论的宇宙辐射背景的发现实际上就是对这一数值的检测。

随着爆炸的继续，温度开始下降，约十分之一秒后下降到 300 亿 (3×10^{10}) 度；约一秒后下降到 100 亿度；约 14 s 后下降到 30 亿度。这一温度已经非常低了，在这种低温条件下，电子和正电子开始湮灭，湮灭速度比它们从光子和中微子中被重