

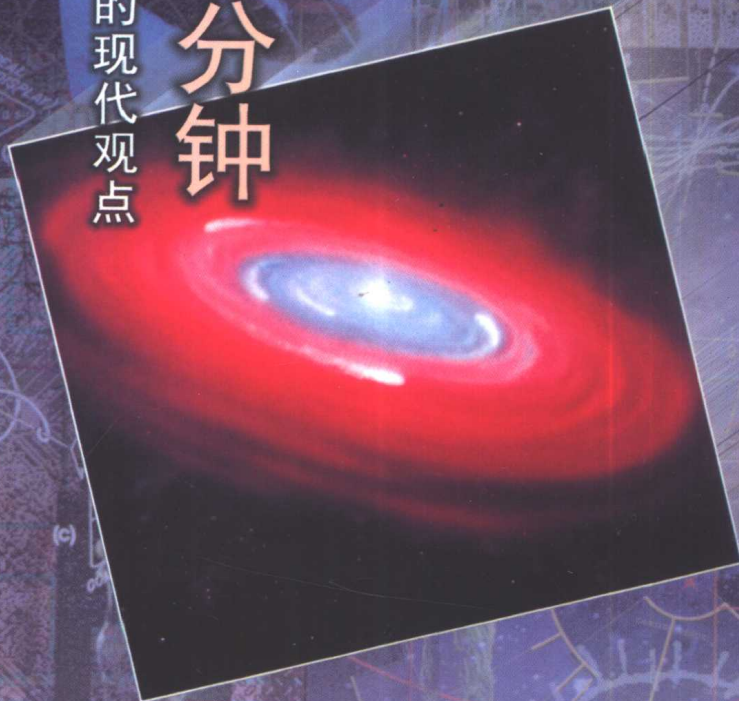
第二辑

科学与人译丛

〔美〕史蒂文·温伯格 著

# 宇宙最初三分钟

——关于宇宙起源的现代观点



中国对外翻译出版公司

# 宇宙最初三分钟

——关于宇宙起源的现代观点

[美] 史蒂文·温伯格 著

张承泉 高鼎新 李 靖 译

中国对外翻译出版公司

**图书在版编目 (CIP) 数据**

宇宙最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点 / (美) 温伯格 (Weinberg, S.) 著；张承泉等译. - 北京：中国对外翻译出版公司，1999

(科学与人译丛)

书名原文：The First Three Minutes

ISBN 7-5001-0595-9

I. 宇… II. ①温… ②张… III. 宇宙-起源-研究  
IV. P159.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 45137 号

版权登记号图字 01 - 1999 - 1701

---

出版发行/中国对外翻译出版公司

地 址/北京市西城区太平桥大街 4 号

电 话/66168195

邮 编/100810

责任编辑/黄又林

封面设计/常燕生

排 版/北京市乾坤灰色系统工程研究院

印 刷/北京市通州区鑫欣印刷厂

经 销/新华书店北京发行所

规 格/850×1168 毫米 1/32

印 张/5.75

版 次/2000 年 1 月第一版

印 次/2000 年 1 月第一次

---

ISBN 7 - 5001 - 0595 - 9/G·116 定价：9.00 元

## “科学与人译丛”出版说明

英国著名科学专栏作家布赖恩·阿普尔亚德在其《理解现在——科学与现代人的灵魂》一书中有这样一段话：

“1609年，加利莱奥·伽利略使用一架望远镜观看月亮。这一时刻，对世界的意义如此重大，以至人们将它与耶稣的诞生相提并论。因为，就像在伯利恒，自这一时刻，人类生活中的不可能成为可能。”

阿普尔亚德据此将科学划分为伽利略之前的科学，或称“智慧”，以及从1609年开始的现代科学。前一科学建立在推理基础上，后一科学建立在观察与实验基础上。经过如此划分，我们习以为常的科学，竟然只有400年的历史。

但人类就在这400年内经历了飞速发展。

我们有了蒸汽机，有了轮船，有了电话、电报，有了飞机、火箭，有了电视、电脑、互联网络，我们还有重力场理论、元素周期表、量子力学、相对论乃至被称为“自然中最基本物体”的超弦。工业革命、农业革命、信息革命使人类的社会生活发生了前人难以想象的变化。

人类改造了自然，也改造了人类自己。回顾这一切，人类完全有理由感到自豪。因为，人类就像上帝，也有自己的“创世纪”。人说，要有科学，就有了科学。科学是好的，它行之有效。

然而，“创世纪”中写道“到第七日，上帝造物的工已经完毕，就在第七日歇了他一切的工，安息了”。而人类的工却没有完毕，400年后的今天仍然不能安息。

就像有光必有影，人在发现、发明、创造、拥有上述一切的

同时，还得到了原子弹、氢弹、核泄漏、酸雨、温室效应、臭氧层空洞乃至伴随科学技术而来的种种风险。

人类曾以为已找到了通往自由王国的必由之路，他将乘着科学的飞船，摆脱一切束缚，重新确立自己在宇宙中的位置。但在科学爆炸的 20 世纪，人类终于开始反思：

科学行之有效，但它是否就是真理？

为此，我们编辑了这套《科学与人译丛》，陆续分辑推出。其中，有对信息崇拜的批判，有对生命起源的求索，有对技术所导致风险的分析，有对世界最新科学动态和研究方向的展望。数学家用对策论证明，完全的民主实际上并无可能；物理学家提出全新的超弦理论，试图统一描述所有的力、物质的所有基本粒子和时空，继量子力学和相对论之后，成为“第三次物理学革命的重要标志”……《译丛》汇集了物理学家、数学家、生物学家、天文学家、哲学家、人类学家、伦理学家……自本世纪后半期、尤其是在本世纪末打通自然科学与社会科学之间的隔膜，对科学这一决定人类命运的工具的深刻思索。通过这套丛书，我们期望读者可以对科学的现状、科学的未来、科学的正面与负面效应，有一个较为全面的了解，更好地认识科学、掌握科学、利用科学。

中国对外翻译出版公司

## 前 言

本书的缘起是1973年11月我在哈佛大学本科生科学中心落成典礼上的一次讲话。通俗读物出版社的总裁兼出版人欧文·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讲话，于是敦促我将它改写成书。

起初，我对这个主意并不热心。虽然我一直时不时地在宇宙学方面做一点研究，但我的工作涉及更多的却是基本粒子理论，即研究极小物质的物理学。再者，基本粒子物理学在过去几年中一直热闹非凡，而我却把过多的时间用在了别处，即为各种杂志撰写非专业性文章。我很想再次全身心地投入到本应属于我的领域——《物理学评论》。

但是，我发现无法控制自己，撰写一本关于早期宇宙的书的想法一直萦绕在我的脑际。有什么能比“创世纪”的问题更有意思呢？而且，恰恰是在早期宇宙方面，尤其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汇合在了一起。最重要的是，这是写一写早期宇宙的大好时机。在过去几十年中，一种详尽的关于早期宇宙中事态发展经过的理论，作为一种“标准模型”，得到了广泛承认。

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，那真是一件了不起的事情。对一个物理学家来说，令人兴奋的是能够在数值上把情况搞清楚，能够说出在某某时候，宇宙的温度、密度和化学成份是这样或那样的值。的确，我们对所有这些都无绝对把握，但我们现在谈论起来能够有一点信心，就

足以令人兴奋了。我想向读者表达的也正是这种兴奋。

我最好讲一讲本书针对的是哪些读者。它是为这样一些读者撰写的：他们愿意对一些详细的论证进行思索，但对数学或物理学又不在行。虽然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什么物理或天文学知识。对于初次用到的科学术语，我都小心地给出定义，此外，我还提供了一份物理学和天文学术语词汇表（见附录）。在可能的情况下，我还对数字采取了诸如“1000亿”的写法，而非使用更为方便的科学记法： $10^{11}$ 。

然而，这并不意味着我在尽力写一本简易读物。当一个律师针对普通公众写东西时，他的假设是他们不了解法律专用法语或“禁止永久拥有房产之规定”，但他并不将事情想到最糟，也不摆出一副屈尊俯就的样子。我想将这一句恭维话反过来使用：我心目中的读者是些精明的资深律师，他们讲的不是我的语言，但他们想先听一听某些令人信服的论点，然后再拿主意。

针对那些确实想了解作为本书论据基础的运算的读者，我编写了“数学补充材料”，附在本书正文之后。根据本书所用的数学程度，这些注释可为物理学或数学本科专业的任何人所理解。幸运的是，宇宙学的最重要运算是相当简单的；广义相对论或核物理更精妙的观点只是偶尔才发挥作用。想对这一论题进行更深的专业性探索的读者，可参阅书后所附的“推荐书目”中列出的一些高级论文（其中也有我自己的论文）。

我还应明确指出我想在本书探讨的主题是什么。它当然不是一本全面探讨宇宙学的著作。本书的主题中有一个“古典”部分，它涉及的主要是当前宇宙的大尺度结构：关于旋涡形星云的河外性质的辩论；遥远星系的红移的发现及其与距离的相依性；爱因斯坦、德西特、勒梅特和弗里德曼的广义相对论宇宙学模型；等等。好多优秀著作已对宇宙学的这一部分作了精辟的论

述，我不想在这里从头再叙述一遍。本书涉及的是早期宇宙，尤其是人们根据 1965 年宇宙微波辐射背景的发现，对早期宇宙提出的新认识。

当然，宇宙膨胀理论是我们当前早期宇宙观的一个基本组成部分，所以我不得不在第二章中对宇宙学更“古典的”方面作简要的介绍。我认为这一章可为理解早期宇宙理论的新近发展（本书其余部分讲述的就是这一内容）提供一个充分的背景，即使对一点也不熟悉宇宙学的读者来说也是如此。然而，如果读者想对更早的宇宙学有一个彻底的了解，那就得去参阅“推荐书目”中所列的那些著作了。

另一方面，由于没能找到任何条理清晰的有关宇宙学近来进展的历史记述，我不得不亲自做点挖掘工作，尤其是 1965 年以前为什么很长时间没有人对宇宙微波辐射背景进行搜寻这一令人着迷的问题。（第四章对此进行了讨论。）这并不是说我认为本书是对这些进展的权威性记述——我对人们在科学史工作中所付出的努力和对他们对各种事件所做的关注是非常尊敬的，不会在这方面有任何幻想。相反，假使某个真正的科学史学家要用本书作为起点，撰写一部真正关于过去 30 年的宇宙学研究史的话，我会很高兴的。

我非常感谢欧文·格莱克斯和法雷尔·菲利普斯，他们在本书作出版准备的过程中向我提出了非常宝贵的建议。在我撰写本书时，我的物理界和天文学界的同仁们也向我提出了善意的忠告，他们的帮助是我难以用语言表达的。我尤其想感谢拉尔夫·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·瓦戈纳，他们不辞辛劳，分别阅读了本书的各个部分并提出了建议。我还想感谢伊萨克·阿西莫夫、I. 伯纳德·科恩、马撒·利勒和



菲利普·莫里森，他们向我提供了有关各个专题的信息。我尤其感激奈杰尔·考尔德，他从头到尾阅读了整个初稿，并提出了深刻的见解。我不敢奢望本书现已没有任何差错和晦涩之处，但我敢肯定，若非我有幸得到所有这些慷慨帮助，它是不会像现在这样清晰、易懂和准确的。

史蒂文·温伯格  
于马萨诸塞州坎布里奇大学  
1976年7月

## 第二版平装本前言

近来天文知识的发展业已基本证实，在《宇宙最初三分钟》首次出版的1977年，人们所理解的宇宙理论的总体思想是正确的。但在过去的16年中，各种没有把握的问题已得到解决；新的问题也已出现；对最初一秒之前这段时间的早期宇宙史，又提出了全新的思想。因此，我很高兴能借这次出版新版的机会增补后记，使本书的内容得以更新。感谢通俗读物出版社的马丁·凯斯勒对这一新版所作的指导，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  
于得克萨斯州奥斯汀  
1993年4月

# 目 录

前言	(1)
第二版平装本前言	(5)
第一章 导论：巨人和牛	(1)
第二章 宇宙的膨胀	(7)
第三章 宇宙微波辐射背景	(38)
第四章 炽热宇宙的配方	(66)
第五章 最初三分钟	(83)
第六章 历史的题外话	(98)
第七章 最初百分之一秒	(106)
第八章 尾声：未来前景	(119)
图表：	(123)
表 1. 一些基本粒子的特性	(123)
表 2. 一些辐射类型的特性	(124)
词汇表	(125)
数学注释	(135)
后记：1977 年后的宇宙学	(147)

## 第一章

### 导论：巨人和牛

冰岛巨匠斯诺里·斯图鲁松于 1220 年左右编纂的斯堪的那维亚神话集《新埃达》对宇宙的起源作了解释。书中说，起初，什么都没有。“看不到大地，也看不到苍天，倒是有一个大大的缺口，但没有草。”在空空如也的北面和南面，坐落着霜区和火区。火区的热融化了霜区的霜，从水滴中诞生了巨人伊美尔。伊美尔吃什么？似乎还有一头牛——厄伊德许姆拉。她又吃什么？噢，还有些盐。等等。

我可不能触犯宗教情感，哪怕是北欧海盗的宗教情感也是如此，但我认为，要说这样描述宇宙起源不能令人满意却是公正的。即便抛开所有那些对传闻证据的异议，这个故事产生的问题也同它所提供的答案一样多，而且每个答案都使原有情况变得更为复杂。

我们不能仅对该书报以微笑，而坚决放弃所有的宇宙学推测——对宇宙史溯本求源的迫切心情是难以抑制的。自 16 和 17 世纪现代科学诞生以来，物理学家和天文学家们就一直不断提出宇宙的起源问题。

然而，一种不体面的氛围一直笼罩着这种研究。我记得，当我还是个学生及后来我在 1950 年代自己开展研究工作（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。这种论断也不无道理。纵观整个现代物理学和

天文学历史，赖以构建早期宇宙史所需的充分的观测与理论基础根本就不存在。

然而，在刚刚过去的十年中，所有这一切都发生了变化。有一种早期宇宙理论已被人们广泛接受，以致于天文学家常常将之称为“标准模型。”它与人们有时所说的“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。这种早期宇宙理论正是本书的论题。

为了便于理解，或许应首先对当前按照标准模型所理解的早期宇宙史作一概述。这里仅仅是一个简要说明——在以后的各章中，我还要对这一历史的详细情况以及我们相信它的理由作出解释。

起初，发生了一次爆炸。这个爆炸不同于地球上所常见的那些爆炸，即先从一个明确的中心开始，然后向四周扩展，周围被吞噬的空气越来越多；而是一种各个地方同时发生的爆炸，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回到自身的整个有穷宇宙。任何一种可能性都不易为人理解，但这并无妨碍；在宇宙形成的初期，太空是有穷的还是无穷的并不重要。

在大约百分之一秒的时间（这是我们能够自信地谈论的最早的时间）里，宇宙的温度达到大约 1,000 亿摄氏度 ( $10^{11}$ )。这一温度甚至比最热的恒星的中心还热得多，事实上，它热得使寻常物质的组成部分——分子、原子、甚至是原子核——没有一个能聚集在一起。相反，在这一爆炸中迅速分离的物质是由各种类型的所谓基本粒子组成的。基本粒子是现代高能核物理的研究课题。

我们在本书中将多次谈到这些粒子，更详细的解释将在第三和第四章中讨论，这里仅指出早期宇宙中最多的那些就足够了。

大量存在的一类粒子是电子，即以电流形式流过电线并形成当前宇宙中所有原子和分子的外壳的带负电的粒子。早期宇宙中数量巨大的另一类粒子是正电子，即体积与电子完全相同的带正电的粒子。在当前的宇宙中，正电子只有在实验室中，在某类放射线和诸如宇宙射线以及超新星这样剧烈的天文现象中才能找到，但在早期宇宙中，正电子的数量与电子的数量几乎不相上下。除了电子和正电子外，还有数量大致相同的各类中微子，即没有任何质量或电荷的幽灵似的粒子。最后，宇宙中还充满光线。对此，不必与粒子分别对待——量子理论告诉我们，光线是由零质量、零电荷、被称为光子的粒子组成的。（每当灯丝中的一个原子从高能状态转变到低能状态时，就会发射出一个光子。灯泡中发射出的光子非常之多，因此他们看上去就像汇集成了一条连续的光束一样，但通过光电池，可一个一个地计算出单个光子的数量。）每个光子都携带着一定数量的能量和动量，数量多少取决于光的波长。为了概述早期宇宙中无所不在的光线，我们可以说，光子的数量和平均能量与电子、正电子或中微子大致相同。

这些粒子——电子、正电子、中微子、光子——不断地从纯能量中创造出来，短暂存在后即再次湮灭。因此它们的数量不是早就注定的，而是由创造与湮灭过程中的平衡所决定。根据这一平衡，我们可以推断，温度高达1,000亿度的这一宇宙汤的密度约为水的40亿（ $4 \times 10^9$ ）倍。此外，还有少量的杂质，它们由较重的粒子、质子和中子组成，在当今世界中，它们是原子核的组分。（质子带正电；中子稍重且不带电。）比例大致为每10亿个电子、正电子、中微子或光子，对一个质子和一个中子。为了设计标准的宇宙模型，这个数值——每有一个核粒子，就有10亿个光子——是必须从观测中获得的关键数值。在第三章讨论的宇宙辐射背景的发现实际上就是对这一数值的说明。

随着爆炸的继续，温度开始下降，大约十分之一秒后下降到

300 亿 ( $3 \times 10^{10}$ ) 摄氏度；大约一秒后下降到 100 亿度；大约 14 秒后下降到 30 亿度。这一温度已低到足以使电子和正电子开始以快于它们从光子和中微子中再次创造出来的速度归于湮灭。物质的这一湮灭所释放出来的能量，暂时降低了宇宙的冷却速度，但温度继续下降，最后，在最初三分钟结束时，降到了 10 亿度。这时，温度已低得足以使质子和中子开始形成复杂的核，首先形成的是重氢（或氘），它由一个质子和一个中子组成。其密度这时仍非常高（比水的密度稍低），所以这些轻核能迅速地结合成最稳定的轻核，即氦核，它是由两个质子和两个中子组成的。

在最初三分钟结束时，宇宙的成分大多表现为光、中微子和反中微子。仍有少量的核材料，它们现在是由大约 73% 的氢和 27% 的氦组成的，此外，还有数量相同的、从电子 - 正电子湮灭时代遗留下来的电子。这种物质继续迅速分离，温度越来越低，密度越来越小。很久之后，即几十万年后，它的温度降低到足够的程度，使电子能够与核相结合，形成氢原子和氦原子。由此产生的气体开始在引力的作用下形成团，并最终凝聚成当今宇宙的星系和恒星。然而，恒星形成时的成分完全是在最初三分钟的时间里所形成的那些成分。

以上简要叙述的这一标准模型，并非想象范围内的最令人满意的宇宙起源理论。同《新埃达》一样，它对宇宙的起点，也就是对最初大约百分之一秒的说法有些笼统，让人摸不着头脑。此外，令人为难的是，还需要明确当初的情况，尤其是当初的光子与核粒子 10 亿比 1 的比例。如果这一理论能提出更大的逻辑必然性，那就更好了。

比如，另一个在哲学上似乎更有吸引力的理论是所谓的恒稳态模型。在由赫尔曼·邦迪、托马斯·戈尔德和弗雷德·霍伊尔（其表述方式与他们稍有不同）于 1940 年代末提出的这一理论中，宇宙基本上一直就是现在这个样子。随着它的膨胀，新物质

不断被创造出来，填补了星系间的空白。从潜在可能性上讲，有关宇宙为何是目前这种状况的问题都可用这一理论来回答，可以说，它之所以是这样，是因为这是它能够保持不变的唯一一种办法。早期宇宙问题被排除了，因为本来就没有早期宇宙。

那我们是如何得出这一标准模型的？它又是如何取代其他理论（如恒稳态学说）的？这一共识的取得，不是因为哲学倾向的转变或天体物理学界名流的影响，而是从经验中得出的数据的结果，是对现代天体物理学必须具备的客观性的赞许。

下面两章将描述导致我们得出这个标准模型的两个重要线索，即对遥远星系后退的发现和充满宇宙的微弱无线电静电的发现，它们都是从天文观测中发现的。对科学史学家来说，这可是个内容丰富故事：既有错误的开端、良机的错失、理论上的先入为主，又有个性的展示。

在对观测宇宙学作了这一概述之后，我将力图将零散的数据汇总在一起，对早期宇宙的物理状况作一连贯清晰的描述。这样，我们就能更为详细地重温一下最初三分钟了。采用电影式的处理方法似乎很合适：我们可以一格一格地观看宇宙膨胀、冷却和形成的过程。我们还将力图对一个仍笼罩在神秘中的时代——最初百分之一秒及其之前——作一番小小的探索。

我们对这个标准模型真的有把握吗？会不会有新的发现将它推翻并用其他宇宙起源学说取代当今的标准模型，甚至是复兴恒稳态学说？或许会。我不能否认我在描述最初三分钟时有一种虚构感，好象我们真的知道我们在谈论什么似的。

然而，即使标准模型最终被取代，它也在宇宙学的历史上发挥过巨大的重要作用。通过标准模型环境去检测物理学或天文物理学的理论思想的做法，现已得到人们的推崇（尽管这只是近十年左右的事）。用标准模型作为理论基础来证明天文观测计划的价值，已成为司空见惯的事。因此，标准模型提供了一种不可或



缺的共同语言，从而使理论家和观测人员能够彼此理解各自所做的工作。假使有一天标准模型被一个更好的理论所取代，那或许也是因为人们根据标准模型获得了别的观测结果或计算结果。

在最后一章，我将简单谈一谈宇宙的未来。它可能会永远膨胀下去，变得越来越冷，越来越空旷，越来越缺乏生机。它也有可能再次收缩，将星系、恒星、原子和原子核分解，使之重新变成它们的组分。那样一来，在预测最后三分钟的事态发展时，我们在理解最初三分钟时所面临的所有问题又将重新出现。