



1979年诺贝尔物理学奖得主的经典畅销书  
被评为“改变世界的25本科普书”之一

微百科丛书

# 最初三分钟

THE FIRST  
THREE MINUTES


Steven  
Weinberg

关于宇宙起源的  
现代观点

[美] 史蒂文·温伯格 著  
王丽 译



清华大学出版社



最初  
三分钟

## 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) 史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) 著；王丽译. -- 重庆：重庆大学出版社，2018.4

(微百科丛书)

书名原文: The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe

ISBN 978-7-5689-1053-8

I. ①最… II. ①史…②王… III. ①宇宙—起源—普及读物 IV. ①P159.3-49

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第069557号

### 最初三分钟：关于宇宙起源的现代观点

ZUICHU SANFENZHONG: GUANYU YUZHOU QIYUAN DE XIANDAI GUANDIAN

[美] 史蒂文·温伯格 (Steven Weinberg) 著

王丽译

策划编辑：王 斌 张家钧

责任编辑：文 鹏 姜 凤

责任校对：刘志刚

装帧设计：韩 捷

重庆大学出版社出版发行

出版人：易树平

社址：(401331) 重庆市沙坪坝区大学城西路21号

网址：<http://www.cqup.com.cn>

印刷：北京盛通印刷股份有限公司

开本：890mm×1240mm 1/32 印张：7.625 字数：141千

2018年6月第1版 2018年6月第1次印刷

ISBN 978-7-5689-1053-8 定价：54.00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

**1** □□□□ 导论：巨人和牛 / 1

**2** □□□□ 宇宙的膨胀 / 11

**3** □□□□ 宇宙微波背景辐射 / 49

**4** □□□□ 炽热宇宙的配方 / 87

**5** □□□□ 最初三分钟 / 111

**6** □□□□ 历史的题外话 / 133

**7** □□□□ 最初百分之一秒 / 145

**8** □□□□ 尾声：未来前景 / 163

附 录 / 171

词汇表 / 173

数学注释 / 187

后 记 / 201

参考文献 / 223

1

导论：巨人和牛

关于宇宙的起源，冰岛文学巨匠斯诺里·斯托里森在1220年左右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 秒的时间，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，我们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，更详细的解释将会在第 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，它能以电流的形式通过电线，它形成了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，我们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（ $4 \times 10^9$ ）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、光子）对一个质子和中子。为了设计宇宙的标准模型，需要确定的这个数值，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。我们在第3章中讨论的宇宙微波背景辐射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（ $3 \times 10^{10}$ ）摄氏度；约一秒后下降到100亿度；

约 14 秒后下降到 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新产生出来的速度还要快。物质在湮灭过程中所释放出来的能量暂时减慢了宇宙冷却的速度，但温度仍在持续下降，最终在最初三分钟结束时降到了 10 亿度。这种温度非常低，能使中子和质子开始组合成复合的原子核。首先形成的是重氢（或氘）核，它是由一个质子和一个中子组成。由于这时它的密度仍然非常高（比水的密度稍低），因此，这些轻核能迅速组合成最稳定的轻核，即氦核，它由两个质子和两个中子组成。

在最初三分钟结束时，宇宙的组成主要是光、中微子和反中微子。仍有少量的核物质，由 73% 的氢和 27% 的氦组成。此外，还有从电子与正电子湮灭时期遗留下来的少量电子，数量与核物质相同。这些物质继续迅速分离，温度变得越来越低，密度变得越来越小。几十万年之后，温度降到足够低。在这样的温度条件下，电子能够与核相结合，形成氢原子和氦原子。由此产生的气体在引力作用下开始形成气团，并最终凝聚形成当今宇宙的星系和恒星。然而，恒星在形成时期所包含的成分正是在最初三分钟里所产生的那些成分。

上述标准模型并非想象范围内关于宇宙起源的最佳理论。正如《新埃达》一样，它对宇宙的起点，或者大约最初百分之一秒的说法总是有些模糊不清，让人难以

理解。另外，还需要确定起始条件，特别是光子和核粒子的最初比例是否为 10 亿比 1，这是令人异常头痛的一件事情。如果这个理论能够提出更为准确的逻辑必然性，那就最好不过。

比如，从哲学角度来看，另一个更有吸引力的理论是所谓的“稳恒态模型”。20 世纪 40 年代末，赫尔曼·邦迪、托马斯·戈尔德和弗雷德·霍伊尔（其表述方式与其他人稍有不同）提出了这一理论。根据这个理论，宇宙基本上就一直是现在这个样子。随着它的膨胀，新物质不断被创造出来，填补了星系间的空隙。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方法。宇宙起源问题被排除了，因为根本就不存在早期宇宙。

那我们是如何得出“标准模型”的呢？它又是如何取代其他理论，如稳恒态模型的呢？这个共识的取得不是因为哲学倾向的转变，也不是因为受天体物理学界名流的影响，而是从经验中得到的数据结果，是对现代天体物理学必备的客观性的赞美。

接下来的两章将说明让我们得出标准模型的两个重要线索，即发现遥远星系后退和发现充斥在宇宙中的微弱无线电静电，它们都是从天文观测中发现的。对科学史学家来说，这是一个内容丰富的故事：既有错误的开端，错失

的良机，又有理论上的先入为主和个性的展示。

综述完科学家们观测到的宇宙学现象之后，我试图将零散的数据汇总在一起，刻画出一幅连贯清晰的早期宇宙物理状况图。这样，我们就能追溯到更为详细的宇宙最初三分钟的状况了。在追溯过程中，可以采用电影似的处理方法，即一格一格地观察宇宙如何膨胀、如何冷却、如何形成。另外，我们还试图窥探对我们来说仍是谜一般的时代——最初百分之一秒以及之前的那段时间。

我们对这个标准模型真的有把握吗？会不会有新的发现推翻它，并使用其他宇宙起源学说取代当前的标准模型？甚至会不会复兴稳恒态模型？我无法否认在描述最初三分钟时，总有一种不真实感，我们是否真的知道自己在谈论什么。

然而，即使标准模型最终会被取代，它仍然在宇宙学史上发挥过非常重要的作用。目前，人们很是推崇通过标准模型去检验物理学和天体物理学的理论思想（尽管这只是近十年的事情）。另外，使用标准模型作为理论基础来证明天文观测项目是否可行也已成为司空见惯的事情。因此，标准模型提供了一种不可或缺的语言，使理论家和观测人员能够互相理解各自所做的工作。如果标准模型有朝一日被一种更好的理论所取代，那或许也是因为人们根据标准模型得出了更好的观测结果或计算结果。

在最后一章中，我会简单谈一谈宇宙的未来。它可能

会一直膨胀下去，变得越来越寒冷、越来越空旷、越来越死寂；或者，它也有可能再次收缩，将星系、恒星、原子和原子核分解，使它们重新恢复到原本的组成粒子。到那时，在预测最后三分钟的事件进程时，我们在理解最初三分钟所面临的所有问题又将重新出现。



2

# 宇宙的膨胀



黑夜的星空，一眼望去，宇宙似乎一成不变。的确，浮云掠过月亮，天空绕着北极星旋转，天长日久，月亮盈亏，与行星一道，在恒星组成的背景上运动。但我们清楚，这些只不过是太阳系内部的运动所产生的局部现象而已。在行星背后，恒星似乎静止不动。

事实上，恒星是运动的，运动速度高达每秒钟几百千米。因此，速度快的恒星一年内可运行约 100 亿千米。这比到最近的恒星的距离还少 1 000 倍，所以它们在天空中的表面位置变化非常缓慢（例如，被称为伯纳德星的这颗恒星的运动速度较快，它的距离约为 5 600 万千米；伯纳德星以 89 千米 / 秒或 280 亿千米 / 年的速度穿越视线，即使是以这样的速度运行，它的表面位置在一年内也仅改变  $0.0029^\circ$ ）。天文学家称天空中临近恒星的表面位置变化为“自行”。较远的恒星在天空中的表面位置变化得非常缓慢，即使是用最耐心的观测法也无法检测到它们的