

电子图书



信息技术的结晶

人类文明的载体

网络的基本资源

前 言

60年代初，在我还是个学生时就对宇宙的起源问题产生了非常浓厚的兴趣。大爆炸理论诞生于20年代，但直到50年代才引人注目。当时这种理论虽已广为流行，但远未使人信服。稳恒态学说与大爆炸理论相悖，它断然否认宇宙存在着起源问题。在半个多世纪里，稳恒态学说是最为流行的理论。

1965年，罗伯特·彭齐亚斯（Robert Penzias）和阿诺·威尔逊（Arno Wilson）发现了宇宙背景热辐射。这一发现，使大爆炸理论被更多的人所接受。那么，这能否被看作是宇宙在炽热的猛烈爆炸中突然诞生的确实证据呢？

宇宙学家们异常兴奋地在探索这一发现的意义。大爆炸100万年后的宇宙有多热？大爆炸1年之后、1秒钟之后情况又如何？在原初的炽热状态中曾出现过多少种物理过程？是否可能找到宇宙诞生时的遗物，而这种遗物还保留着当时曾压倒一切的极端条件的痕迹？

1968年，我曾参加了一次有关宇宙学的讲座。那次讲座对我来说依然记忆犹新。在即将结束演讲时，那位教授根据背景热辐射的发现这一事实，评估了大爆炸理论。“一些理论家已开出了宇宙化学成分的清单一”他微笑了一下说道，“这份清单的根据是大爆炸最初三分钟发生的核反应过程。”所有的听众哄然大笑。这给人一种印象，即试图描述宇宙刚诞生时的状态似乎是极其荒谬的。甚至就连那位异常仔细地研究了《圣经》之后宣称宇宙诞生于公元前4004年10月23日的詹姆斯·厄谢尔（James Ussher）大主教，也没有胆量列出宇宙最初三分钟所发生的事件的准确顺序。

在宇宙背景热辐射发现约10年之后，最初三分钟的理论已在大学里进行讲授，这是科学的进步。美国物理学家和宇宙学家史蒂文·温伯格（Steven Weinberg）在1977年写了一本畅销书，书名为《最初三分钟》（The First Three Minutes）。此书被公认为科普读物的里程碑。作为一位知名的权威和专家，温伯格在书中向世人描绘了一幅完全令人信服的宇宙起源图，包括在大爆炸之后仅仅数秒或几分钟内出现的详细过程。

当大众还陶醉于那些令人兴奋的成就时，科学家们却已在向前迈进。他们的注意力开始从对“早期宇宙”（大爆炸后数分钟）的研究转向了对“极早期宇宙”（大爆炸后极短暂一瞬间）的研究。约过了10年后，斯蒂芬·霍金（Stephen Hawking）大胆地在《时间简史》（A Brief History of Time）一书中提出了关于大爆炸后最初一万亿亿亿分之一秒时的最新观念。现在看来，1968年那次讲座结束时听众发出的哄笑显得是多么无知。

随着大爆炸理论逐渐被大众和科学界所充分接受，人们越来越注重对宇宙未来的研究。我们现在已有了宇宙如何诞生的很好的概念，但宇宙将如何结束呢？它最终的命运又将如何？宇宙是否会以爆炸或抽搐的形式终其一生，或甚至永久消失？那时人类又将如何？人类或其后裔——无论是机器人还是人类自己——能否幸免于难而永复存在？

即使哈米吉多顿（Armageddon）*正好不在附近，对这类事情如果不产生好奇是不可能的。由于近来因人为危机的困扰，我们不得不思考现实宇宙学尺度时，我们为在地球上生存下去而奋争便成为备受欢迎的新内容。《宇宙的最后三分钟》正是一本描述宇宙未来的书。此书根据一些著名物理学家和宇宙学家的最新研究成果，并尽我们所能来对宇宙的未来作一番预测。这种

预测绝非基督式的启示。事实上，经验的发展和累积蕴育着空前的潜能，而宇宙的未来使这种潜能充满了希望。然而，我们决不能忽视物之有生亦·哈米吉多顿是圣经《启示录》中3个魔鬼聚集天下众王的总称，作为世界末日的代名词或预言家——译者注必有死的事实。死亡或许正是为创生而不得不付出的代价。这本书是为普通读者撰写的，阅读时无需具备专业知识，也不需要数学。然而，在书中我有时不得不讨论一些很大或很小的数字。使用一种简洁的数学符号来表示这些数字是很有用的，这种符号就是“10的幂次方”。这里介绍一下它的用法。一个数，例如1000亿，完整地写出来是100000000000，这是相当麻烦的事。在这个数里1后面跟着11个零，因此我们可以用 10^{11} 来表示。类似地，100万为 10^6 ，10000亿是 10^{12} 。当幂指数增加时，这种符号会掩盖数字的增大速度。例如， 10^{12} 比 10^{10} 大100倍，前者是个大得多的数，尽管看上去它们几乎相同。也可以用10的负幂指数来表示很小的数。例如，十亿分之一，即 $1/1000000000$ 可写成 10^{-9} ，因为这个分数的分母为1后面有9个零。

最后，我要忠告读者，本书无疑在很大程度上是推测性的。宇宙的基本演化图象是建立在相当科学的基础上的，它先从大爆炸起源，随后膨胀并向某种物理终态退化冷却，或可能是灾变性地坍缩。但是，对于在所涉及的无限时标上可能会出现什么样的起支配地位的物理过程我们还很不清楚，天文学家对普通恒星的总体命运已有清晰的观念，对中子星和黑洞的基本特征也理解得越来越深刻。但是，如果宇宙能存在好几万亿年或更长的时间，或许会存在一些非常微妙的、我们仅能推测其存在的物理作用，而这种作用最终会变得极为重要。

既然我们面对着因对自然规律一知半解而产生的问题，因而试图推演宇宙最终命运的最好方法就是，利用现有最完善的理论来演绎出合乎逻辑的结论。然而问题在于，许多与推测宇宙最终命运有重大关联的理论仍有待于实践的检验。我在这里讨论的一些物理过程，如引力波发射、质子衰变和黑洞辐射等，虽然理论家已深信不疑，但这些过程至今尚未观测到。更重要的是，毋庸置疑还存在着一些我们一无所知的其他物理过程，这些过程或许会大大地改变我的结论。

这些不确定因素在技术领域以及宇宙智能生命的作用方面显得更为突出，在这一点上，我们将一起进入科学幻想的王国。不仅如此，我们还不能忽视这样一种情况：经过千秋万代之后，生命体或许能极大地改变空前巨大尺度上物理系统的特性。在本书中，我打算把宇宙中的生命体作为一个议题，这是因为就许多读者来说，对宇宙命运的关注是与他们对人类及其后裔的命运的关注紧密相连的。我们应该始终记住，科学家们还远没有真正认识人类意识的本质，以及能容许意识活动在宇宙遥远的未来继续下去所必需的物质需求。

在编写本书时，我曾与约翰·巴罗(John Barrow)、弗兰克·蒂帕勒(Frank Tipler)、贾森·特瓦姆利(Jason Twanley)和罗杰·彭罗斯(Roger Penrose)就本书的主要内容进行了有益的探讨，在此表示诚挚的谢意，并要感谢本系列丛书的编辑杰里·莱昂斯(Jerry Lyons)对书稿一丝不苟的审阅。

《科学大师佳作系列》中文版序

人类正在迎接世纪之交。即将消逝的 20 世纪，科学技术又有了过去无法比拟的巨大发展与进步。科学上的重大发现，与技术发明、创造相互交替影响与促进，使人们对客观世界的认识更深入、更丰富多采了。

以“宇宙演化”这一课题为例，《科学美国人》杂志 1994 年 10 月号以“宇宙中的生命”为题的专刊，登载了詹姆士·皮博(P. James E. Peebles)等 4 位科学家的综述文章，介绍了近年来对宇宙起源的演化问题的研究成果——大爆炸标准模型。按照这一理论，宇宙是在大约 150 亿年以前从炽热而且稠密的物质与能量“大爆炸”而形成，随着它急骤膨胀、冷却，逐渐衍生成众多的星系、星体、行星，直至出现生命。人类生活于其中的太阳系，约在 50 亿年前才开始出现。这篇文章指出，研究宇宙学问题的还有哲学家、神学家、神秘主义者；然而，与他们不同的是，科学家们只接受经过实验或观测检验过的事实。文章还指出：“我们对宇宙起源与演化的认识，是 20 世纪科学研究的重大成就之一，这正是基于几十年的创新实验与理论研究的结果。用地面和发射到空间的现代望远镜，可探测到远在数十亿光年之外的星系发出的光，它告诉我们宇宙年青时是何种模样。用粒子加速器可探索宇宙演化初期其高能环境的基础物理学。用人造卫星可探测到宇宙早期膨胀后留下的本底射线，使我们在能观察到的宇宙最大尺度范围内勾画出它的大致图象”。当然，由于观察和实验受到条件和能力的局限，正如过去许多理论认识仅是客观真实的一种近似那样，也还有许多问题尚不能由这一理论作出回答，需要科学家们继续努力进行创新研究，并通过更多的观察、实验来解决。

江泽民同志近年来多次指出，各级领导干部要努力学习与掌握现代科学技术知识。1994 年 12 月，中共中央、国务院发出了《关于加强科学技术普及工作的若干意见》，要求从科学知识、科学方法和科学思想的教育普及 3 个方面推进科普工作。问题是：当代科学之发展如此迅速，其前沿领域又如此艰深，究竟能不能凭借通俗的语言，使广大干部和社会公众对当代科学成就取得比较中肯的了解？

这很不容易，但回答仍是肯定的。已故美国科普泰斗艾萨克·阿西莫夫(Isaac Asimov)曾经说过：“只要科学家担负起交流的责任——对于自己干的那一行尽可能简明并尽可能多地加以解释，而非科学家也乐于洗耳恭听，那么两者之间的鸿沟便有可能消除。要能满意地欣赏一门科学的进展，并不非得对科学有透彻的了解。归根到底，没有人认为，要欣赏莎士比亚，自己就必须能写出一部伟大的文学作品。要欣赏贝多芬的交响乐，也并不要求听者能作出一部同等的交响乐。同样地，要欣赏或享受科学的成就，也不一定非得躬身于创造性的科学活动。”

这番话很有道理。而美国布罗克曼公司组织编写的《科学大师佳作系列》(Science Masters Series)则堪称贯彻这一宗旨的上乘之作。该系列的作者们，既是当代科学前沿研究领域中有盛誉的专家，又是成绩卓然的科普作家。他们的这些作品内涵丰富，深入浅出，水准确实是很高的。同时，该系列的选题布局也很有特色：既有选择地抓住了当前科学发展的若干热点或焦点，又从整体上兼顾了学科覆盖面。这从该系列第一辑 12 本书和第二辑 10 本书的选题即可见一斑。

《科学大师佳作系列》是世界科普出版界的一项盛举：它将在全球范围内的数十个国家中，以二十几种语言出版。上海科学技术出版社与布罗克曼公司签约，取得了出版中译本的版权。为确保中译本早日问世，出版社邀请了 10 余位专家、学者组成中文版编译委员会，决定每拿到一本英语原著打字稿，即着手组织本学科领域中既有学术专长、又有著译和科普写作经验的学者翻译。经过编译委员会诸同仁和全体译、校、编者的共同努力，《科学大师佳作系列》中译本中首先推出的 3 本已呈献于读者面前，即《宇宙的起源》、《宇宙的最后三分钟》与《人类的起源》。这 3 本书也正好是我前面举例讲到的介绍“宇宙的起源与演化”课题的精辟之作。作为中文版编译委员会的主任，我对此委实是不胜欣喜的。

该系列的作者之一、哲学家丹尼尔·丹尼特说过：“我将这项计划（按：即出版《科学大师佳作系列》）视为向这个世界撒下了一张网，它捕获的将是我们这颗行星的下一代思想家和科学家。”但愿果真如此。与此同时，我也衷心地企盼我国的科学家、科普作家、出版家们能并肩奋斗，不懈努力，写作和出版一批足以雄视世界科普之林的传世佳作，为我国科学事业的长足进步作出更大的贡献。

谨序如斯，愿与读者共勉。

朱光亚

1995 年 1 月 20 日于北京

宇宙的最后三分钟

第一章“世界末日”

日期：公元 2126 年 8 月 21 日，世界末日。

地点：地球。

绝望的人们在整个地球上四处寻觅藏身之处，数以十亿计的人已走投无路。一些人绝望地在寻找废弃的矿井、洞穴，甚至潜水艇，恐慌之中想在地下深处找到逃生之地，但另一些人却毫不在意，他们横冲直撞，杀气腾腾。然而，大多数人只是痴呆而静悄悄地坐着，等待死神的降临。世界末日来临了。

高空中，一道巨大的闪电印在天幕上。初时，一条轻絮般细管形辐射状星云逐日膨胀，形成一股气旋，翻滚着向空寂的天宇涌去。长条形气旋的顶部是一个外形狰狞、令人恐惧的黑团，这是一颗彗星，虽然头部不大，却携带着与其很不相称的、具有毁灭性的巨大能量。它夹带着 1 万亿吨冰块和岩石，以每小时 6.4 万公里，即每秒近 18 公里的惊人速度逼近地球。

人类唯一能做的就是坐以待毙。面对着已注定了的命运，科学家们早就抛弃了他们的望远镜，悄然地关上计算机。对灾难无休止的模拟，结果仍然模棱两可，而他们的结论又使人惊恐万分，无法公诸于世。一些科学家利用普通老百姓所没有的尖端技术优势，精心准备好了逃生计划。另一些科学家则打算尽他们所能来仔细观察这世界的末日，并把观察数据传至深埋于地球内部的时代信息密封器。他们在最后一刻，仍然起到一个真正的科学家应起的作用。

撞击时刻临近了。全世界成千上万的人都在紧张不安地看着手表。这正是**宇宙的最后三分钟**。

爆心投影点正上方的天空被劈开了，掀起几千立方公里的气浪。一条比城市还宽的灼热火焰沿弧线冲来，15 分钟之后急速击中地球。一万次地震才具有的巨大力量使地球不停地震颤。空气被挤压而产生的冲击波横扫地球表面，沿途所有建筑被夷为平地，一切的一切都被碾成粉末。撞击点周围的平地升起一个几公里高的液态环形山，在 100 多公里直径的撞击坑穴中，地球内层暴露无遗。熔岩壁波浪式地向外涌出，地面颠簸起伏，犹如一条因受拍打而缓慢蠕动的毛毯。

坑穴内部数以万亿吨计的岩石被汽化，而数量比这多得多的物质则被高高抛起，其中一部分直接抛入太空，更多的则被扔过半个大陆，暴雨般地撒落在数百乃至数千公里以外。受害之地万物尽遭严重毁坏。急射而出的熔岩一部分会落入大洋，激起巨大的海啸，从而加剧了悲剧的蔓延。大量的尘埃碎屑在地球大气中飘散，导致全球遮天蔽日。不过，当抛入太空的物质返回大气层时，照射地面的将不是阳光，而是由数以十亿计流星所发出的眩目不祥之光，这种强光所带来的无情的酷热将使大地变为焦土。

上述景象也许会发生，也许并不会发生。天文学家已经算出，一颗名为斯威夫特—塔特尔 (Swift — Tuttle) 的彗星，在公元 2126 年 8 月 21 日与地球相撞的概率为百万分之一。假若真的发生了，全球性的毁灭是不可避免的。全部人类文明便有可能毁于一旦。要是没有相撞，人类便会宽慰地舒一口气，并安心返回工作岗位。但是，斯威夫特—塔特尔彗星或者别的某个类似的天体早晚会撞击地球。人们作过估计，至少有 2 万颗直径为半公里或更大一些的天体的运动轨道与地球轨道相交。这些天外来客起源于寒冷的太阳系外部区域，有些来自位于火星和木星之间的小行星带，另一些则是彗星的残骸，后者可能是从一个极其巨大的碎片团中分离出来的。这个碎片团距太阳约 1 光年之远，称为奥尔特 (Oort) 云，它是以荷兰天文学家奥尔特的名

字命名的。

许多这类天体所能造成的破坏比全世界所有核武器所能造成的破坏的总和还大。因此，问题仅在于某个天体撞击前人类究竟还有多少时间作准备。要是真的发生这种事，对人类来说将是个糟透了新闻：人类的历史将会发生前所未有的突发性中断。然而，对地球来说这只是件颇为寻常的事。平均说来，这种量级的彗星或小行星撞击地球的事件每几百万年便会发生一次。人们普遍认为，6500 万年前的一次或数次这类事件的发生结束了恐龙时代。下一次轮到的可能就是人类了。

对世界末日深信不疑的观念深深扎根于大多数宗教和文化之中。圣经《启示录》中有一段关于死亡和毁灭的生动描写：“又有闪电、声音、雷轰、大地震。自从地上有人以来，没有这样大、这样厉害的地震...列国的城池都倒塌了...，众山也不见了。又有大雹子从天落在人身上，每一个约重 1 他连得。因为这雹子的灾难极大，人就亵渎上帝。”

宇宙中到处都有剧烈活动，地球只是宇宙中一个微不足道的天体，因而地球上以前很可能发生过许多可怕的事情。不过，我们的行星保持适宜生命的环境至少已有 35 亿年了，因而宇宙并非完全充满敌意。

我们在地球上得以生存的秘密在于空间——巨大无比的空间。我们太阳系只是在茫茫宇宙海洋中的一个极小的活动岛。距太阳最近的一颗恒星远在 4 光年之外。为了认识一下这段距离有多远，想一想光只需 8 分半钟就可从太阳超越约 150 百万公里到达地球。而在 4 年的时间内，光将越过 37 万亿公里的距离。

太阳是我们的星系——银河系中一个典型区域里的一颗典型恒星。银河系约包含 1000 亿颗恒星，它们的质量从太阳质量的百分之几到太阳质量的 100 倍。这些恒星，连同许多气体云和尘埃，还有不计其数的彗星、小行星、行星及黑洞一起，缓慢地绕银河系中心旋转。只要考虑到银河系可见部分的尺度达 10 万光年这一事实，这个巨大的天体集团就不会给人以银河系处处拥挤不堪的印象。银河系的形状像个盘子，中心部分鼓起，几条由恒星和气体组成的旋臂从中心向外伸展。我们的太阳位于一条旋臂之中，离银心约 3 万光年。

据目前所知，银河系毫无特殊之处。在仙女座方向上有一个名叫仙女星系的类似星系，它位于距地球 200 万光年之远处，它看上去像个模糊的光斑，肉眼勉强可见。点缀在可观测宇宙中的星系有好几十亿个之多，有的呈旋涡状，有的呈椭圆形，也有的很不规则。它们的距离非常遥远。高倍望远镜能够观测到几十亿光年远的单个星系的像。某些星系发出的光到达我们这里所需的时间比地球的年龄（40 亿年）还要长。

这样大的空间意味着宇宙中碰撞是罕见的。对地球的最大威胁可能来自我们自己的家园。小行星的轨道一般不靠近地球。大部分小行星都位于火星和木星之间的一条带上。但是，木星的巨大质量会干扰小行星的轨道运动，偶而将其中某个小行星推向太阳，从而对地球构成威胁。

另一种威胁来自彗星。人们认为，这些看上去很壮观的天体起源于离太阳约 1 光年远的一块观测不到的云团。彗星对地球形成的威胁并非源自木星，而是来自过路的恒星。银河系不是静止不动的，这是因为随着恒星绕银河核心作轨道运动，因而银河系呈现缓慢的自转。太阳连同它的行星小伙伴们每 2.5 亿年绕银心运动一周，沿途它们会有许多奇遇。附近的恒星或许会

掠过彗星云，把一些彗星引向太阳。当彗星穿入内太阳系时，彗星的某些易挥发物为太阳所蒸发，而后又被太阳风吹成长流，形成壮观的彗尾。在非常偶然的情况下，某颗彗星在内太阳系的逗留期内会与地球相撞。这颗彗星便造成了对地球的破坏。但是，真正的罪魁祸首应是那些过路的恒星。幸运的是，由于恒星间的距离相隔很远，这种恒星间交会是不多的。能造成全球性严重破坏的彗星撞击事件充其量也不过几百万年发生一次。

其他天体在环绕银心运转的途中也会穿越我们的轨道。当巨大的气体云缓慢地从附近飘过时，尽管它们比实验室里的真空还要稀薄，但仍会极大地改变太阳风或影响来自太阳的热流。更可怕的也许是潜伏在黑沉沉太空深处的那些天体。游离漂泊的行星、中子星、棕矮星、黑洞，所有这些天体可能会无声无息地向我们突然袭来，造成太阳系的浩劫。

要是换一种情况，威胁或许更为凶险。有些天文学家认为，我们的太阳可能与银河系里大多数恒星一样，实际上是个双星系统。太阳的这颗伴星——我们称之为复仇女神或死亡之星，可能因为太暗又太远，至今尚未被发现。但是，从引力效应上仍可察觉它的存在。在它绕太阳作缓慢转动的过程中，会周期性地影响那个遥远的彗星云，导致约每 3000 万年一次的彗星风暴，并进而引发一系列蹂躏地球的碰撞。幸好，太空再次成为我们的保护屏。银河系里的天体密度非常低，因而来自太阳系外的引力扰动尽管不是绝无可能，但也毕竟极为罕见。

更往远处看，天文学家可以观测到似乎正在碰撞中的两个星系所组成的系统。银河系与另一个星系碰撞的可能性有多大呢？某些快速运动恒星的存在证明，银河系也许已经与附近一些小星系发生过碰撞，受到了扰动。但是，两个星系的碰撞不一定会使其中的各别恒星招致灾难。星系内部恒星分布极其稀疏，星系可以彼此并合，却不发生恒星之间的直接碰撞。

大多数人为世界的末日——世界突然遭到大规模破坏——而惊慌失措。不过，与缓慢地衰亡相比，暴卒产生的恐惧要更少些。有许多种情况会使地球环境逐渐变得不宜居住。生态的缓慢退化，气候的变迁，太阳输出热量的少许变化，所有这些假如会使人类不能生存下去的话，那么都会令生活在这脆弱行星上的人寝食不安。

然而，这些变化发生在几千年甚至百万年的时间尺度上，人类有可能运用新技术与之搏斗。例如，只要有足够的时间采取措施去重新组织我们的活动，一个逐渐开始的新冰川期便不会招致人类种族的大灾难。如果我们认真地推测一下，在未来的几千年里技术得以继续飞速发展，则有理由相信，人类或者他们的后代将能控制越来越大的物理系统，并最终能避免那怕是天文尺度上的灾难。这是否意味着人类原则上能够万劫不朽吗？这是可能的。但是，我们将看到，永存并不那么容易实现，也许还可证明那是不可能的。宇宙作为整体必定受物理定律的支配，因此它也有自己的生命循环：诞生，演化，以及可能还有死亡。我们自己的命运不可避免地会与恒星的命运纠缠在一起。

第二章 走向死亡的宇宙

1856年，德国物理学家赫尔曼·冯·亥姆霍兹(Herman von Helmholtz)作过一项调查，以图了解在科学史上哪一个预言可能最令人灰心丧气。亥姆霍兹声称，那就是宇宙正在走向死亡。这种启示式断言的根据来自所谓热力学第二定律。这一定律(现在常简称为“第二定律”)最早是在19世纪初提出的，当时此定律专门用于说明热机的效率。人们不久就认识到它有着宇宙学意义；事实上也差不多就是宇宙的结局。

以最简洁的方式来说，第二定律认为热量从热的地方流向冷的地方。当然，对于物理系统来说，这是众所周知和显而易见的特性。无论是煮饭或让一杯热咖啡冷却，都可认识到这条定律在起作用：热量从温度高的地方流向温度低的地方，对此丝毫没有神秘奥妙可言。物质的热量以分子的无规则运动表现出来。在空气之类的气体中，分子作无规则运动并相互碰撞，在固体中，原子通常被束缚在一定的位置上，尽管如此，原子同时又在这一位置附近作强烈的振动。物体越热，分子运动的能量越大。要是让两个不同温度的物体相互接触，温度高的物体中比较强烈的分子运动很快会把它的活动性传递给温度低的物体的分子。

热流的这种方向性并非仅仅是冷的区域缺乏热能的缘故。例如，一个房间拥有大量的热能，但你决不会指望任何热能会自发地流入一杯热咖啡里而将它煮沸。我们会把这种逆向事件看作一种奇迹。强迫热量从冷处流向热处是可能的(这就是冰箱的原理)，但是，要做到这一点就必须不停地消耗能量。热量是不会自发地“误入歧途”的。因为热量沿一个方向(由热到冷)流动，所以这种过程在时间上是不对称的。要是放映一部记录热量从冷处流向热处的影片，那看上去就像河水流上高山，或者雨滴上升到云层一样荒唐可笑(参见图2·1)。所以，我们可以对热流确定一种基本的方向性，通常用从过去指向未来的箭头来表示。这种“时间箭头”表明了热力学过程的不可逆性，物理学家曾为此迷惑了150年。亥姆霍兹和其他一些学者发现了一个称为“熵”的物理量。在最简单的热流情况中，熵等于被传递的热能除以温度。当热量自发地从热处流向冷处时，

熵便增加。当驱使热量从冷处流向热处时，系统的熵就减少，但由于外部媒介需要消耗能量，结果是媒介熵的增加比系统熵的减少要多，因而一个封闭系统的总熵总是增加的。这就是第二定律的本质。

如果你把宇宙看作一个整体，多数地方的熵是不断增加的。若哪个地方的熵在减少的话，作为代价，总有另外一个地方的熵要增加。总之，宇宙的熵始终是增加的。一个很好的例子就在我们的家门口，那就是太阳。太阳(它是热的)每天把热量倾入太空(它是冷的)。这些热量消失在宇宙深处，永不返回，因此这是一个十分壮观的不可逆过程。

一个明显的问题是：熵会永远不断地增加下去吗？想象一个绝热封闭容器，内有两个相互接触的热物体和冷物体。热量从热物体流向冷物体，熵便增加，最后是冷物体温度升高，而热物体的温度会下降，直到它们达到相同的温度。一旦到达这种状况，就不再会有热交换。容器内的系统便达到某个均匀的温度，这种稳定状态称为热动平衡。一旦热动平衡建立了，熵就不再增加，它代表最大熵状态。

只要系统保持与外界隔离，就不会再有进一步的变化。但如果通过某种方式对物体进行干扰，譬如从容器外向内再注入热量，那么热交换又将继续发生，熵也会增加到一个新的更大的最大值。这时，只要没有来自系统外部的任何干扰，熵就不会再继续增加。

对于太阳和大多数恒星来说，热量外流可以持续好几十亿年，但这种热量不是用不完的。太阳的热量产生于太阳内部的核过程。正如我们将会看到的那样，太阳最终会耗尽燃料，只要没有意外变故，它会一直冷却下去，直至与周围空间的温度相同。

虽然亥姆霍兹对热核反应一无所知（太阳巨大能量的来源在当时还是个谜），但是，他认识到这样一个普遍性原理：宇宙中所有的物理活动都是朝着热动平衡，或者说朝着最大熵这个最终状态发展的，随后，很可能再也不会发生任何有意义的活动。早期的热力学学家已经认识到这种向平衡态的单向变化过程，并称之为宇宙的“热寂”。单个系统也许可能通过外界干扰可使它复生，但整体宇宙按其定义不存在“外界”，所以没有东西可以挽救宇宙免遭万劫不复的热寂之难。这是无法逃避的！

宇宙正按这一方式走向死亡，这是热力学定律不可抗拒的推论。这项发现曾使几代科学家和哲学家为之悲观失望。例如，伯特兰·罗素（Bertrand Russell）在《为什么我不做个基督教徒》一书中写下了一段悲观而感人的评述：“……一切时代的结晶，一切信仰，一切灵感，一切人类天才的光华，都注定要随太阳系的崩溃而毁灭。人类全部成就的神殿将不可避免地会被埋葬在崩溃宇宙的废墟之中——所有这一切，几乎如此之肯定，任何否定它们的哲学都毫无成功的希望。唯有相信这些事实真相，唯有在绝望面前不屈不挠，才能够安全地筑起灵魂的未来寄托”。还有许多作者委婉地提到热力学第二定律和正在死亡中的宇宙的含义，断言宇宙的前景渺茫，认为人类的生存到头来也是毫无价值的。我将在第十章再回到这类悲观的议题上来，讨论这类带有悲观色彩的评论是否会是一种误解。

关于宇宙最终热寂的预言不仅使我们对宇宙的未来有了某种了解，也暗示了宇宙在过去的一些大事件。显然，如果宇宙一直在以某一有限速率不可逆地衰退，那么它不可能永远存在。理由很简单：假如宇宙无限老，那它应早就已死亡了。以有限速率演变的某种事物显然不可能永远持续下去。换句话说，宇宙必定是在某个有限时间之前诞生的。

值得注意的是，这个有深远意义的结论却没有被 19 世纪的科学家们很好地认识。宇宙以大爆炸形式突然起源的思想只能依托于 20 年代的天文观测，但是纯热力学研究似乎早已强烈暗示了宇宙的年龄有限，它是在过去的某个时刻创生的。

不过，因为这个简单的事实没有深入人心，19 世纪的天文学家，如海因里希·奥伯斯（Heinrich Olbers）就曾为一个难以理解的宇宙学佯谬而困惑不解。这个佯谬涉及一个简单却又十分重要的问题：夜空为什么是黑暗的？初看起来这个问题似乎不值一提。夜空之所以呈黑色是因为恒星离我们很远，光线又很弱。然而，要是空间无限，就会有无限多颗恒星。无限多颗暗弱的恒星可以迭加产生大量的光芒。

假设有无限颗恒星，它们没有光变，而且大体呈空间均匀分布，那么要计算这些恒星所产生的累积星光强度并不困难（见图 2·2）。恒星的亮度与距离的平方成反比。这意味着距离增大一倍，星光减弱为四分之一；距离增

大 3 倍，亮度减小为九分之一，依次类推。另一方面，给定距离越远，你看到的恒星数目就越多。事

实上，简单的几何学就可以证明这一点。譬如说，200 光年远处的恒星数是 100 光年远处恒星数的 4 倍，而 300 光年远的恒星数则是后者的 9 倍。因此，恒星数按距离的平方增加，而亮度则按距离的平方减少。这样，两个因素相互抵消，便引出一个简单的结果：来自给定距离上所有恒星的累积星光强度全都一样，与距离远近无关。200 光年远恒星的总亮度与 100 光年远恒星的总亮度是相同的。当我们把各种距离上全部恒星的光累加时，问题就来了。如果宇宙没有边界，地球上所接收到的总的星光量好像是无限制的。夜空根本不会是黑的，而应当是无限地亮！

要是考虑到恒星实际上有一定的大小，情况会稍有改善。虽然肉眼看来恒星都是一些光点，但实际上都是些球体。离地球越远，恒星的视直径越小。如果两颗恒星位于相同的视线上，则近的一颗便会遮住较远的那颗。在一个无限宇宙中，这种情况会出现无限多次。考虑到这一点，前面计算的结论就变了，到达地球上的光通量不再是无限大，而只是很大而已。事实上，这等价于把太阳圆面充满整个天空。这种情况相当于把地球放在离太阳表面一百万公里的地方一样。这实在是个十分不舒适的地点！地球会很快被酷热所汽化。

一个无限宇宙应当是一个宇宙熔炉这个结论，实际上是前面讨论过的热力学问题的另一种表现形式。恒星把热量和光辐射倾注入太空，这种辐射慢慢地真空中堆积起来。假如恒星可以一直燃烧下去，那么这种辐射看来必定会达到无限大的强度。但有些辐射在太空中旅行时，会因碰到其他恒星而被再吸收（注意这等价于近距恒星遮挡住远距恒星的星光）。因此，一旦建立起某种平衡，辐射的强度便不再上升，这时发射率正好同吸收率相平衡。当空间中辐射达到恒星温度（几千开）时，就会出现这种情况，即处于热动平衡状态。因此，整个宇宙应当充满温度为几千开的热辐射，夜晚的天空应当在这个温度上发光发热，而不是漆黑一片。

奥伯斯提出了解决这个问题的一种方法。他注意到宇宙中存在大量的尘埃，指出这种物质会吸收大部分的星光，因而天空就变黑了。遗憾的是，他的思想虽然富于想象力，然而从根本上说是不能成立的。这种尘埃最终也会热起来，并开始发光发热，其强度与它们吸收的辐射强度相同。

另一种可能的解决办法是放弃宇宙空间上无限的概念。假定恒星很多，但数量有限，这样宇宙便由一个巨大的恒星集团组成，四周为无限的黑暗真空所包围。于是，大部分星光会通过流往外部空间而损失掉。

可惜，这个简单的解答也有致命的缺陷。对于这一点，事实上在 17 世纪艾萨克·牛顿（Issac Newton）就已很熟悉了。问题涉及到引力的本质。每颗恒星通过引力作用吸引其他所有恒星，这样，在这个集团中所有恒星会一起向引力中心跌落、集聚。因此，如果宇宙有一个确定的中心和边界，它似乎一定会自行向内坍缩。一个无支撑的、有限而静止的宇宙是不稳定的，不能阻止引力坍缩。

以后本书还要讨论这个问题，这里我们只要注意一个巧妙的方法。牛顿就是试图用它来回避困难，其推理方式如下：宇宙会向它的引力中心坍缩，仅仅是因为假定它有一个引力中心。如果宇宙既是无限延伸的，而平均来说

恒星又处于均匀分布，那么宇宙将既无中心也无边界。某颗恒星会受到它周围许多相邻恒星来自四面八方的引力作用，这情况就好比一场巨大的、四周全是绳子的拔河游戏。平均说来，所有的拉力会彼此抵消，结果恒星保持不动。

因此，如果我们接受牛顿关于坍缩宇宙佯谬的解答，我们会再次退回到一个无限的宇宙，出现奥伯斯佯谬的问题。看来我们必然面临进退维谷的两难境地。但是，利用以后的认识，我们可以在进退两难的夹缝中找到一条出路。错的并不是假定宇宙在空间上无限，而是假定它在时间上无限。火焰般天空的佯谬是由于天文学家假定宇宙不变而产生的，即假定恒星是静止的，并以相同的强度永恒燃烧。但是，现在我们知道，这两个假定都是错误的。首先，宇宙不是静止的，而是在不断膨胀，对此后面我还要略作解释。其次，恒星不能永恒燃烧，尽管它们在用完燃料后还会长久存在。它们现在正在燃烧的事实意味着宇宙必定诞生于过去某个确定的时刻。

如果宇宙年龄有限，奥伯斯佯谬马上可以解决。为了说明这一点，不妨考虑一颗非常遥远的恒星。因为光以有限的速度(每秒 30 万公里)穿越空间，我们看不到今天的这颗恒星，看到的只是光离开它时的星象。例如，亮星参宿四位于约 650 光年处，所以现在看到的其实是大约 650 年前的星象。如果宇宙诞生于 100 亿年以前，那么我们不可能看到任何离地球距离远于 100 亿光年的恒星。宇宙在空间范围上也许是无限的，不过要是它的年龄有限，那么在任何情况下，我们都不能看到某个有限距离以外的东西。因此，有限年龄而无限数目的恒星所累积的星光应是有限的，而且可能很微弱。

从热力学角度得到了同样的结论。恒星的热辐射充满空间，并达到相同的温度所需要的时间非常之长，原因在于宇宙空间茫无边际。简单地说，从宇宙创生至今还没有足够的时间来达到热动平衡。

因此，所有的证据表明：宇宙的寿命是有限的。它诞生于过去某个确定时刻，虽然现在充满着活力，但正不可避免地朝未来某个阶段将发生热寂的方向衰退。然而，这立刻会产生一大堆问题。末日何时来临？末日的形式怎样？末日是缓慢地到来还是突然降临？再则，按科学家现在对热寂说的认识，是否可以想象出结果也许证明它是错误的呢？

第三章 最初三分钟

像历史学家一样，宇宙学家认识到开启未来的钥匙在于过去。前一章已经解释了热力学定律是如何指出宇宙寿命是有限的。整个宇宙起源于大约 150 亿年前的一次大爆炸，而且这个事件确定了宇宙朝着它最终归宿演变的方式。这已是几乎所有科学家公认的观点。只要考虑到宇宙是怎样开始的，再研究一下原初阶段出现的各种过程，就可找到有关遥远未来的一些关键性线索。

宇宙并非永恒存在，而是从虚无创生的思想在西方文化中可以说是根深蒂固。虽然希腊哲学家曾考虑过永恒宇宙的可能性，但是，所有西方主要的宗教一直坚持认为宇宙是上帝在过去某个特定时刻创造的。

大爆炸理论的科学性令人不得不信服。最直接的证据来自对遥远星系光线特征的研究。20 年代，天文学家埃德温·哈勃 (Edwin Hubble) 研究了维斯托·斯里弗 (Vesto Slipher) 所作的观测。他注意到，远星系的颜色比近星系的要稍红些。哈勃仔细测量了这种红化，并作了一张图。他发现，这种红化是系统性的，星系离我们越远，它就显得越红。

光的颜色与它的波长有关。在白光光谱中蓝色光位于短波端，红色光位于长波端。遥远星系的红化意味着它们的光波波长已稍微变长了。在仔细测定许多星系光谱中特征谱线的位置后，哈勃证实了这个效应。他认为，光波变长是由于宇宙正在膨胀的结果。哈勃的这个重大发现奠定了现代宇宙学的基础。

膨胀中宇宙的性质使许多人困惑不解。从地球的角度来看，好像遥远的星系都正飞快地远离我们而去。但是，这并不意味着地球是宇宙的中心。平均而言，宇宙不同地方的膨胀图象都是相同的。每个星系，或更准确地说每个星系团都彼此远离。我们最好把它想象成星系间的空间在伸长或膨胀，而不是星系在空间中运动。

空间可以伸长这一事实看上去似乎离奇古怪，不过这却是 1915 年爱因斯坦广义相对论发表以来科学家们早就熟知的概念。广义相对论认为，引力实际上是空间（严格地说是时空）弯曲或变形的一种表现。从某种意义上来说空间是有弹性的，可以按某种方式弯曲或伸长，具体情况取决于引力的排列。这种思想已为观测所充分证实。

膨胀空间的基本概念可通过一项简单的模拟来加以理解。想

象在一条松紧带上缝有一排钮扣（图 3.1）。现在假定从松紧带的两端把它拉长，结果所有的钮扣都彼此远离。不论我们选择从哪个钮扣来看，它邻侧的钮扣似乎都在远离，而且这种膨胀是处处相同的，不存在特殊的中心。当然，我们在画这排钮扣时，它有一个中心钮扣，但这与系统的膨胀方式毫不相干。只要把这条带钮扣的松紧带无限加长，或环成一个圆圈，这个中心点便不存在了。

从任意一个钮扣来看，离它最近的钮扣以某种速度退行，再下一个钮扣则以 2 倍速度退行，依次类推。在你看来，钮扣离得越远，它退行得越快。因此，这种膨胀意味着退行速率与距离成正比——这是一个极为重要的关系。借助这个图象，我们现在就可想象出光波是如何在膨胀空间中或星系间传播的。当空间伸长时，光波波长也跟着变长，这就解释了宇宙学红移现象。

哈勃发现，红移量与距离成正比，同这个简单的图象模拟结果完全一致。

如果宇宙正在膨胀，它在过去必定比较小。哈勃的观测和后来进行的大量更好的观测提供了测量膨胀速度的方法。如果能倒放这部“宇宙影片”，我们会发现，所有的星系在遥远的过去是聚合在一起的。根据现在的膨胀速度，我们可推断这种聚合状态必定出现在好几十亿年前。不过，这个数字要说得准并不容易。原因有两个。首先，因受到各种误差的影响，很难测得精确。即使现代望远镜已大大扩展被研究星系的数目，但测定膨胀速度仍有上下一倍的不确定性，而且这还是有个有激烈争议的问题。

其次，宇宙膨胀的速度会随时间而发生变化，这一点与引力有关。引力作用于星系之间，实际上它作用于宇宙中一切形式的物质和能量之间。引力起刹车的作用，阻止星系往外跑，这使膨胀速度随时间逐渐变小。结论是宇宙在过去必定比现在要膨胀得快，如

果就宇宙某个代表性区域画出一张尺度对应时间的关系图，我们便得到一条由图 3·2 表示的普通曲线。从这幅图我们可以看出，宇宙从高度压缩的状态开始十分迅速地膨胀，随着时间的推移，物质密度会因体积的增大而逐渐减小。如果把这幅图一直追溯到宇宙创世时刻（图中原点），它意味着宇宙起源时尺度为零，而膨胀速度为无限大。换句话说，组成今天我们见到的所有星系的物质都是从一个点以极快速度爆炸而产生的！这是对所谓大爆炸理论的理想化描述。根据这一观点，今天我们所观测到的宇宙膨胀是原初爆炸的某种遗迹。

把这条曲线一直追溯到宇宙创世时刻是不是有道理呢？许多宇宙学家对此深信不疑。根据我在上一章中讨论过的，假定宇宙曾有过一个开端，那么大爆炸肯定是真实的。如果确实如此，则曲线的起点所标志的不仅仅是一次爆炸，记住这里图中所表示的爆炸是空间本身的爆炸，所以零体积并不意味着物质被压缩至无限大的密度，而是指空间被压缩到不复存在。换句话说，大爆炸是空间的起源，也是物质和能量的起源。最重要的是要认识到，事先并不存在使大爆炸得以发生的空虚的东西。

现在把同样的基本思想用到时间上来。物质的无限大密度和无限压缩的空间也标志着时间的边界，其理由是，在引力的作用下，时间和空间都拉长了。这个效应也是爱因斯坦广义相对论的结论，并已得到实验验证。大爆炸时的条件意味着时间的无限弯曲，所以，时间（还有空间）的实际概念不能外推到大爆炸之前。看来我们不得不得出这样的结论，即大爆炸是一切——空间、时间、物质和能量的最初开端。如果要问（许多人就是这样问的）大爆炸以前发生了什么，或者问什么引起了大爆炸，这显然是没有意义的。不存在以前。在没有任何时间的地方，也没有任何常识中的因果关系。

如果大爆炸理论仅仅依托于宇宙膨胀这单一证据的话，那末很可能许多宇宙学家会抛弃它，因为这种宇宙起源理论有着奇特的内涵。然而，1965 年出现了另一个支持大爆炸理论的重要证据，即发现宇宙沐浴在一种热辐射之中。这种辐射以相同的强度从空间的各个方向射向地球。它的谱与达到某种热动平衡态的熔炉内的发光情况精确相符。这种辐射就是物理学家所熟知的“黑体”辐射。由于符合程度非常之好，因而不可能是一种巧合。由此我们得出这样的结论：宇宙曾一度处于平衡状态，处处都有相同的温度。对背景热辐射的测量表明，它的温度大约比绝对零度（约等于—273 度）高 3 开，但这个温度随时间在缓慢变化。随着宇宙的膨胀，它按一个简单的公式冷却：

半径增加一倍，温度下降一半。这是红移效应的另一个结果，它表明辐射波长随宇宙膨胀而变长。平均而言，低温辐射的波长比高温辐射来得长。还有，要是把这部影片往回放，宇宙在过去必然要热得多。大爆炸后 30 万年左右，宇宙的温度约为 4000 开，这足以使所有物质汽化，并创造出热平衡所必需的熔炉条件。宇宙背景热辐射至今仍然保持完美的黑体谱这一事实表明，从大爆炸后的 30 万年以来，辐射几乎一直在平稳地传播着，没有受到任何干扰。与大爆炸后已过去的 150 亿年左右的历史比起来，30 万年是很早的时期。这意味背景热辐射是宇宙原初阶段的直接遗迹，可以把它看作为宇宙诞生时炽热光焰的余辉。宇宙背景辐射的特性不仅仅是有黑体谱的形式，而且在整个天空中它极其均匀。这种辐射的温度和强度在空间不同方向上的变化之小甚至不超过十万分之一，表明宇宙在大尺度上必定是极其均匀的，因为在某个空间区域或某个特殊方向上有任何系统性的物质成团，都会通过温度的变化反映出来。另一方面，我们知道宇宙不是完全均匀的。物质集聚成星系，星系常常形成星系团。这些星系团又进一步构成超星系团。在好几百万光年的尺度上，宇宙呈一种泡状结构，也就是在一些巨大的空洞周围包围着星系膜和星系纤维。

必定有某种原因使宇宙的大尺度成团性从非常均匀的原始状态成长起来。虽然科学家们提出过各种可能的物理机制，但最可能的解释也许是引力的缓慢吸引作用。如果大爆炸理论是正确的，我们可望找到隐匿在宇宙背景热辐射中初期成团过程的某些证据。1992 年，美国宇航局的 COBE 卫星（宇宙背景探测卫星）揭示这种辐射并不是完全均匀的，在天空的不同区域，它们无疑有着强度的起伏或者说变化。这些极小的不规则性看来就是超级成团过程温和的开端。背景辐射可靠地保存了极早时期原初凝聚的痕迹，它所记录的内容证明了宇宙并不是始终以我们今天所见到的特定方式构成的。物质聚集成星系和恒星是一个演化过程，从几乎完全均匀的原初状态开始便长时间来一直在发生着。

最后还有一个证实炽热高密度宇宙起源理论的证据。只要知道今天热辐射的温度，很容易计算出宇宙诞生后约 1 秒时各处的温度约为 100 亿度，这对现有的原子核的合成来说也是太高了。那时，物质必定被撕裂成最基本的成分，形成一锅基本粒子汤，诸如质子、中子和电子。但是，随着这锅汤变冷，核反应就可能出现了。特别是，中子和质子就很容易成对聚合在一起。接下来，这些粒子对便合成元素氦的核。计算表明，氦核的活动延续了大约 3 分钟（这就是温伯格一书书名的由来），并大约有四分之一物质的质量聚合成氦。这个过程用完了所有可利用的中子。余下的核子——没有聚合的质子——自然就成了氢原子核。因此，这一理论预言宇宙应当由大约 75% 的氢和 25% 的氦组成，这与天文测量结果极为吻合。

原初核反应也可能产生极少量比较重的元素，如锂和碳。重元素的总量不到宇宙物质的百分之一，但它们大多数并不是大爆炸的产物。相反，它们的形成要晚得多，而且是在恒星内部形成的，形成方式我将在第四章中进行讨论。

把宇宙膨胀、宇宙背景热辐射和化学元素的相对丰度综合在一起，便成为支持大爆炸理论的强有力的证据。不过，还存在许多悬而未决的问题。例如，现在宇宙为什么恰恰以这样的速度在膨胀，换句话说，大爆炸为什么如此之大？早期宇宙为什么如此均匀？空间各个方向和不同区域中的膨胀速度

为什么这样类同？宇宙背景辐射探测卫星所发现的少量密度涨落对星系形成至关重要，而这又是如何起源的？

近年来为揭开这些奥秘，人们付出了巨大的努力，所采取的途径是把大爆炸基本理论与高能粒子物理的最新概念相结合。需要强调的是，这种“新宇宙学”所依赖的科学基础，其可靠性还远不及前面所讨论的话题。特别是，这些饶有趣味的过程所对应的粒子能量大大超过了迄今任何已直接观测到的结果，而涉及的宇宙时期所对应的是宇宙刚诞生后远小于一秒的极短暂时刻。那时的条件很可能异常极端，因而唯一合适的途径就是几乎完全只根据理论思想来建立数学模型。

这种新宇宙学的关键假设是，可能发生过一种称之为暴胀的过程。它的基本思想是，在第一秒刚开始的某一时刻，宇宙的尺度突然急剧猛增（暴胀）。为弄清楚这个假设带来些什么，再看一下图 3·2。图上的曲线始终是向下弯的，这表明尽管任意给定的某个空间区域的尺度在增加，但这种增加的速率在减小。与此相反，暴胀意味着在一个很短的时期内，膨胀速度实际上在加快。图 3·3（不按比例地）表示了这种情况。最初，膨胀是缓慢的，然后它加快速度，有一小段曲线笔直向上，最后曲线恢复它的正常走向。但是，图中表示的空间区域的尺度大大超过图 3·2 曲线上同一位置的尺度（比这里画的大得多）。

为什么宇宙表现出这样诡异的行为？请记住，曲线向下弯曲是由于引力的吸引对膨胀起刹车作用的结果。向上弯曲可设想成一种反引力，或斥力，它造成宇宙的尺度增长得越来越快。虽然反引力似乎是一种异端邪说，但一些近代纯理论研究表明，在极早期宇宙由于极端温度和极端密度条件占主导地位，这种效应可能曾经出现过。

在讨论暴胀是怎么回事之前，先说明一下为什么能用暴胀说来解开前面列举的一些宇宙难题。首先，逐步升级的膨胀可以令人信服地说明大爆炸为什么如此之大。反引力效应是一种不稳定过程，即失控过程，这就是说宇宙尺度呈指数式增加。从数学上说，这意味着一个给定的空间区域在每个固定时间周期里尺度扩大一倍，我们称这种周期为 1 个滴答。2 个滴答之后尺度增大到 4 倍；3 个滴答，尺度增加到 8 倍；10 个滴答，这个空间区域膨胀到 1000 倍以上。因此，一个给定空间区域以逐步升级的速率如气球般地膨胀。计算表明，暴胀纪元末的膨胀速度非常接近于测量值（我将在第六章中严格地解释它的含义）。

暴胀造成的尺度急剧猛增也为宇宙均匀性提供了一种现成的解释机制。任何初始不规则性会被这种空间扩展平滑掉，这非常像一只汽球，当它胀大时其上的皱纹便会消失。同样，不同方向上早期膨胀速度的任何变化也很快被暴胀所淹没，因为暴胀在各个方向上都有相同的作用力。最后，宇宙背景辐射探测卫星所揭示的微小不规则性可用暴胀也许并不是处处都在同一瞬间结束这一事实得到解释（其理由后面马上就要讨论），所以某些区域比其他区域会暴胀得稍多一些。

现在来举一些数字。在最简单的暴胀理论中，暴胀力（反引力）变得异常之强，使得大约每隔 100 亿亿亿亿分之一秒（ 10^{-34} 秒）宇宙尺度就扩大一倍。这几乎是个无限小的时间间隔，它就是前面所说的 1 个滴答。仅仅 100 个滴答后，一个原子核大小的区域就会暴胀到大约 1 光年的直径。这足以轻