



宇宙学

基督徒应该如何看待宇宙论？宇宙论是否完全受世俗世界观支配，还是它宣扬上帝的荣耀和他圣言的真理？

宇宙学的最新进展

自 20 世纪 70 年代以来，宇宙学领域发生了许多激动人心的变化。本文将探讨各种宇宙学观点。

直到 20 世纪 60 年代，许多人对宇宙学并不重视。尽管宇宙学家的思考引人入胜，但由于缺乏确凿的数据，这些思考始终停留在理论层面。1964 年宇宙微波背景辐射的发现改变了这一局面。随着这一发现，更多相关的数据开始被发现，许多新的理论也随之发展起来。其中一个较为独特的观点是，人们意识到粒子物理学能够为我们提供许多关于宇宙学的启示。这种独特性源于对微观世界（粒子物理学）和宏观世界（宇宙学）

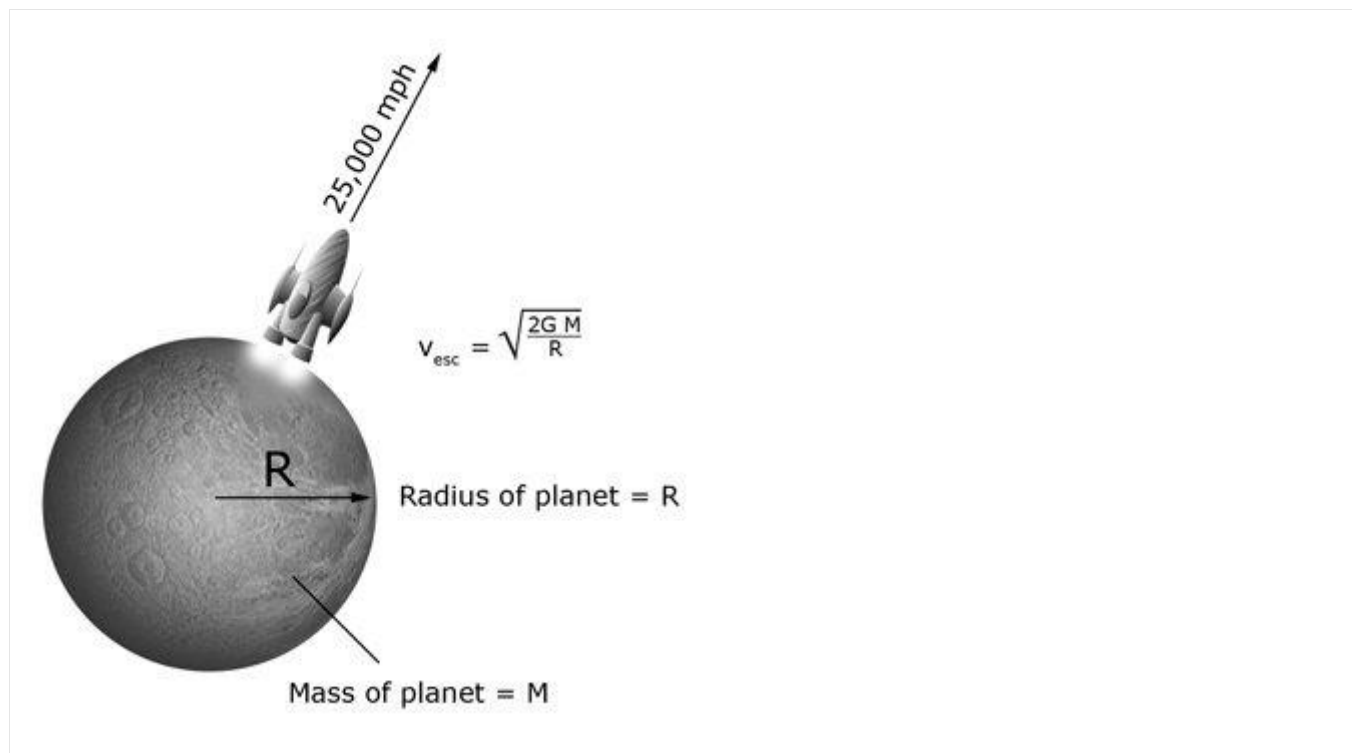
之间密切联系的思考。自 20 世纪 70 年代以来，宇宙学领域取得了许多令人振奋的进展。

本章接下来将探讨各种宇宙学观点，其中作者似乎常常赞同这些观点或大爆炸理论。我们必须强调，这仅仅是为了便于讨论。在[后面的章节](#)中，我们将看到这里讨论的大爆炸宇宙学及相关观点与《创世记》中的[创世](#)记载存在冲突。为了便于讨论，目前最简单的方法是先假设这些概念是可以接受的，暂时搁置它们是否符合圣经世界观的问题。换句话说，我们希望您暂时“戴上大爆炸理论的帽子”来参与讨论。请不要从本章的讨论中得出作者支持大爆炸模型或对其抱有任何热情的结论。

膨胀率与平坦性问题

随着宇宙膨胀，宇宙中物质的引力会减缓膨胀速度。我们可以用一个从地球表面向上抛出的物体来类比。由于地球引力的作用，物体的速度会减慢。速度较慢时，物体会迅速改变方向并落回地球。随着初始速度的增加，物体会上升到更高的高度，然后再落回地球。存在一个最小速度，称为逃逸速度，超过这个速度物体将不会返回地球表面。在地球表面，逃逸速度约为每小时 25,000 英里（约 40,000 公里）。理论上，以逃逸速度运动的物体最终会到达距离地球无限远的地方，速度为零。速度超过逃逸速度的物体永远不会返

回地球，但它们也永远不会静止。前往月球或其他行星的探测器必须加速到超过逃逸速度。它们的速度超过逃逸速度的幅度越大，飞行时间就越短。



图片由布莱恩·米勒提供

宇宙飞船的逃逸速度

宇宙的运行规律应该类似。如果膨胀速度过慢，引力最终会逆转方向，导致宇宙再次收缩。这大概会导致一种类似于**大爆炸**的逆转，通常被称为“大坍缩”。这也意味着宇宙的寿命是有限的。如果膨胀速度超过某个类似于逃逸速度的数值，膨胀速度会减慢，但不足以逆转膨胀。在这种情况下，宇宙将永远膨胀下去，其密度也会持续下降。

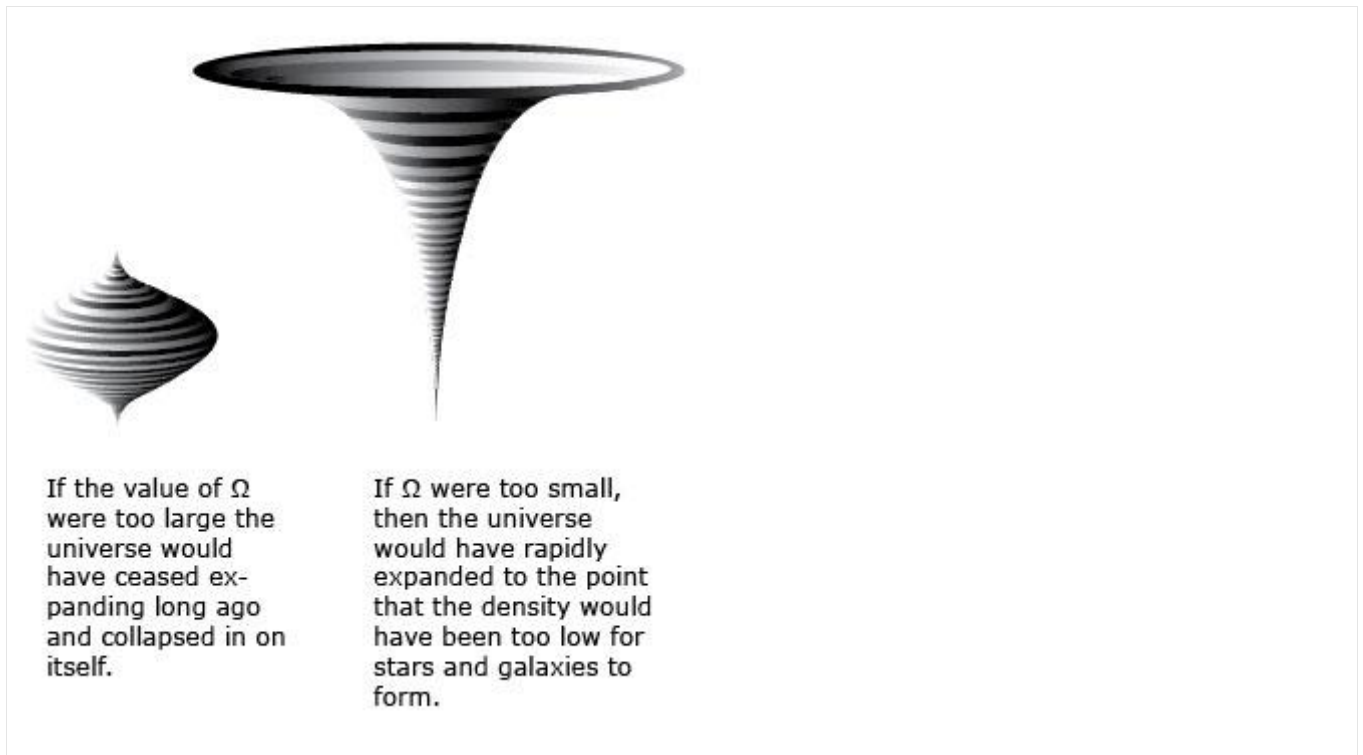
地球的逃逸速度取决于其质量和体积。类似地，宇宙是会永远膨胀还是会收缩自身，也取决于宇宙的体积和质量。更简便的表达方式是用一个变量（而非两个变量）来描述，例如密度，它同时取决于质量和体积。存在一个临界密度，高于该密度宇宙将永远膨胀，低于该密度宇宙将停止膨胀并最终收缩自身。如果宇宙的密度达到临界密度，其膨胀将渐近趋于零，并且永远不会收缩。

描述宇宙的参数之一是 Ω （希腊字母 ω ），它被定义为总引力势能与总动能之比。引力势能是指物体由于其质量和所受引力作用而具有的能量。在地球上，一些具有一定高度的物体就具有引力势能。例如，停在山坡上的汽车或水坝后的水。山坡越高或水坝越高，所具有的能量就越多。水力发电大坝通常越高，蓄水量也越大。当水从其原始高度落下并流经涡轮机时，引力势能就转化为电能。动能是指运动所具有的能量。高速运动的子弹比低速运动的子弹包含的能量要大得多。

宇宙既然有质量，因而有引力，就必然有引力势能。宇宙的膨胀代表着运动，所以宇宙也必然有动能。随着宇宙膨胀，引力势能会发生变化。同时，引力会减缓膨胀的速度，因此动能也会发生变化。通常情况下，这两种能量的变化方向和幅度并不相同，所以 Ω 会随

时间变化。 $\Omega < 1$ 表示动能大于引力势能。反之， $\Omega > 1$ 表示引力势能大于动能。如果宇宙大爆炸开始时 $\Omega < 1$ ，那么 Ω 的值会逐渐减小，最小值为零。另一方面，如果宇宙之初 $\Omega > 1$ ，那么 Ω 的值应该会逐渐增大。因此，经过数十亿年的演化， Ω 的值 应该会与其初始值发生显著变化。几十年来，所有数据都表明，虽然 Ω 确实小于 1，但它与 1 的差距并不大。宇宙中所有可见物质的总和产生的 Ω 值约为 0.1。暗物质的出现使 Ω 值更接近 1。

如今 Ω 非常接近 1，这表明宇宙诞生之初 Ω 的值几乎等于 1，甚至可能正好等于 1。如果 Ω 最初只比 1 小几个百分点，那么自大爆炸以来宇宙的演化应该使 Ω 的值远小于今天的 1（相差几个数量级）。那么，宇宙诞生之初 Ω 的值 究竟要有多接近 1 才能形成我们今天所见的宇宙呢？这个数值取决于某些假设以及所使用的大爆炸理论版本，但大多数估计认为 Ω 的初始值在 小数点后 15 位以内都等于 1。也就是说， Ω 的初始值与 1 的偏差不可能超过小数点后第 15 位。为什么宇宙的 Ω 值会如此接近 1 呢？这个问题被称为“平坦性问题”。这个名称来源于 Ω 恰好等于 1 的宇宙几何结构。在这样的宇宙中，空间没有曲率，因此是平坦的。平面度问题有几种可能的解决方案。



图片由布莱恩·米勒提供

对于宇宙平坦性问题，一种可能的解释是，世界本来就是这样的。虽然这并非物理上的不可能，但至少对无神论者而言，它确实引发了一些令人不安的问题。似乎 Ω 的初始值可以是任何数字，但只有极小的数值范围才能造就我们存在的宇宙。如果 Ω 太小，宇宙就会迅速膨胀到密度过低，以至于无法形成恒星和星系。因此，就不会有行星，也不会有生命。所以，我们也就不可能进化到观察宇宙的阶段。另一方面，如果 Ω 的初始值太大，宇宙早就停止膨胀并收缩成“大坍缩”。这样一来，我们就没有足够的时间进化。无论哪种情况，我们都不应该存在。因此，宇宙从一开始就具备了允许我们存在的正确条件。

人择原理

Ω 的值并非宇宙中唯一适合我们存在的因素。科学家们已经确定了许多其他影响我们存在的参数。例如，基本粒子的质量和电荷，以及支配它们相互作用的常数，例如真空介电常数。如果这些常数的值稍有不同，那么我们所知的稳定原子就不可能存在，或者生命赖以生存的碳和水的独特性质也不会存在。所有这些量都是基本量，也就是说，它们不依赖于其他参数，而是必须取特定值的数值。这些常数取值的原因并非其他，仅仅是因为它们恰好如此。在所有可能出现的常数随机排列组合中，我们的宇宙以这些特定的数值存在。宇宙取值于有利于生命存在，甚至必然需要生命存在的参数的概率有多大？在某些人看来，宇宙似乎是被设计出来的；从一开始，宇宙就适合我们的存在。20 世纪 70 年代初，一位名叫布兰登·卡特的科学家将这种推理方式称为人择原理。

对许多基督徒来说，这构成了上帝存在的有力证据，并已成为他们护教论的一部分。当然，运用人择原理的前提是宇宙大爆炸起源论是正确的。要使宇宙大爆炸起源论与《创世记》的记载相符，存在诸多困难，我们将在后面的章节中探讨这个问题。

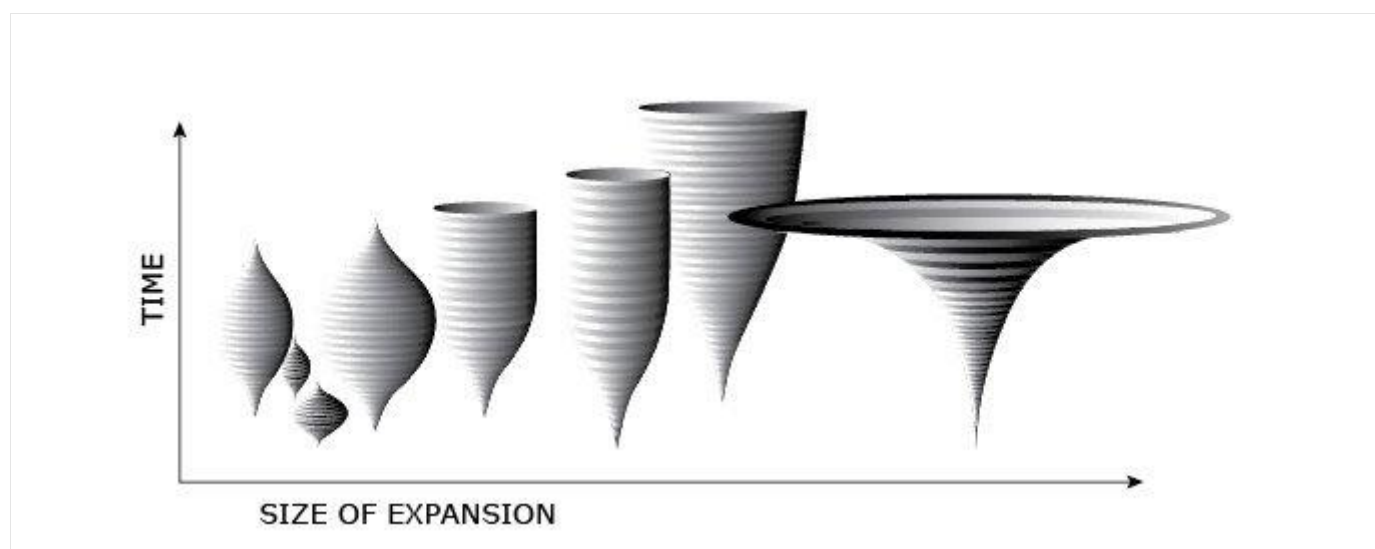
对无神论者和不可知论者来说，这个问题远没有那么清晰。他们如何解决这个问题呢？他们尝试了几种方法。其中一种方法是论证概率问题的表述不当。他们

认为，只有在实际观察到某事物之前，才应该询问其存在的概率。一旦已知该事物存在，那么它具有特定特征的概率就是 1，无论在我们看来它多么不可能存在。

我可以以自己为例。如果考虑我父母的基因构成，显然他们原本可以生育数十亿种不同的孩子组合。每个潜在的孩子都会有独特的特征，例如性别、身高、体型、眼睛和头发的颜色等等。我的父母只生了两个孩子，所以我的出现似乎极其罕见。然而，当人们第一次见到我时，他们（通常！）并不会对我的存在感到惊讶。大多数人认为，既然我存在，那么我必然以某种形式存在。因此，我以现在这种状态存在的概率是 1。他们认为，只有在我受孕之前就考虑过我拥有这些特征的概率，我拥有这些特征的概率才会显得如此之低。同样，宇宙存在，所以它以现在这种状态存在的概率也必然是 1。因此，他们认为，我们不应该对宇宙以现在这种状态存在感到惊讶。

如何回应这个答案？我们将在[第四章](#)看到，类似的论点也被用来反驳天文学家哈尔顿·阿普的工作，因此那里的讨论也适用于这里。我们在此重复一些内容。我们经常使用概率论证来排除不太可能的解释。DNA 检测现在被应用于许多刑事案件中。如果犯罪现场遗留了犯罪嫌疑人的组织样本，通常可以提取出 DNA。

样本可能是皮肤或血细胞、毛发，甚至是烟头上的唾液。将样本中的 DNA 与从嫌疑人身上提取的 DNA 进行比较，可以揭示两个 DNA 样本的匹配程度。通常，这种匹配程度以随机选择的两个人拥有相同 DNA 的概率来表示。如果概率低至百万分之一，那么对大多数人来说，这将被视为确凿的犯罪证据。然而，辩护律师可能会辩称，尽管无辜的委托人与真正的罪犯匹配的可能性微乎其微，但匹配确实发生了，因此概率为 1。仅凭这一论点，而没有任何其他证据证明被告无罪，显然站不住脚，无法说服任何合格的陪审员。然而，对阿普著作的这一回应却要求我们相信类似的论点。



图中左侧是那些在生命开始之前就坍缩回去的宇宙，右侧是那些膨胀过快并将永远膨胀下去的宇宙。

图片由布莱恩·米勒提供

对于人择原理，还有其他可能的解释。例如，一些宇宙学家认为我们的宇宙可能并非独一无二。³ 我们的宇

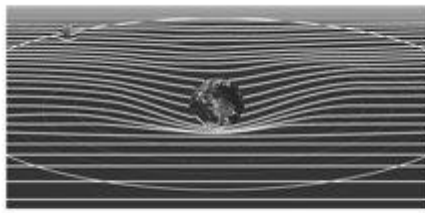
宙可能只是众多宇宙之一，甚至可能是无限多个宇宙之一。“多元宇宙”的概念将在稍后进一步讨论。在这种观点看来，每个独立的宇宙都有其独特的属性，少数宇宙具备孕育生命的条件，而大多数宇宙则不适宜生命生存。我们不可能存在于大多数宇宙中，因此我们存在于一个适宜生命存在的宇宙中也就不足为奇了。这种解释非常接近上文讨论的人择原理的本质。唯一的区别在于，这种解释试图通过诉诸大量样本来解释我们的存在。读者应该注意到，这种解释几乎称不上科学（它如何被验证？），充其量只能算是一种相当拙劣的哲学论证。

通货膨胀

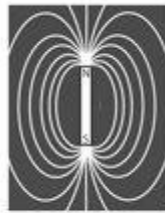
回到宇宙平坦性问题，20 世纪 80 年代初，人们提出了一个截然不同的解释。1979 年末，艾伦·古思提出早期宇宙可能经历过一次快速膨胀。根据这一理论，在大爆炸后不久（大约在大爆炸后 10^{-37} 到 10^{-34} 秒之间），
宇宙 仍然非常小的时候，其体积迅速膨胀了几个数量级（宇宙体积的增加可能从一个基本粒子的大小增长到大约一个葡萄柚的大小）。这种现象被称为暴胀。暴胀的速度远超光速。有些人认为这违背了爱因斯坦的狭义相对论，因为狭义相对论告诉我们，物质的运动速度不可能达到光速，更不用说超过光速了。然而，在暴胀模型中，物体的运动速度并非超过光速，而是

空间膨胀的速度超过光速，并带着物体一起膨胀。 Ω 的初始值 可能并不十分接近 1，但由于暴胀，它被推至几乎等于 1。因此，宇宙并非从一开始就经过精细调节，而是通过一个非常自然的过程被迫变得平坦。暴胀解决了平坦性问题，而无需引入人择原理这一潜在的难题。

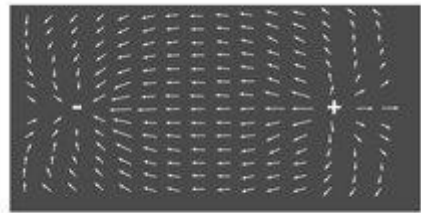
除了平坦性问题之外，暴胀理论还可以解释其他一些难题。其中之一是宇宙的均匀性。宇宙微波背景辐射（CBR）在各个方向上的温度似乎都相同。如果两个温度不同的物体被放在一起进行热交换，我们就说它们处于热接触状态。一旦这两个物体在保持热接触的情况下不再进行热交换，它们的温度必然相同，我们就说它们达到了热平衡。然而，宇宙中与我们位置完全相反的区域，也就是我们现在接收到宇宙微波背景辐射的区域，尚未发生热接触，但它们的温度却相同。如果它们之前从未发生过热接触，这怎么可能呢？这个问题通常被称为视界问题，因为宇宙中那些本不应该发生热接触的部分，应该位于彼此的视界之外。在暴胀宇宙中，宇宙中非常小的区域可能在暴胀发生之前就已经达到了热平衡。暴胀之后，这些区域可能脱离了热接触，直到很久以后才重新建立热接触。基于这种可能性，先前广泛分散的区域已经处于热平衡状态，因此它们仍然处于热平衡状态也就不足为奇了。



Gravitational field



Magnetic field



Electric field

图片由布莱恩·米勒提供

字段示例

是什么机制驱动了宇宙膨胀？目前提出了两类解释。一种可能性是宇宙中存在一种被称为“暴胀子”的能量场。在物理学中，场被用来描述许多现象。例如，围绕物体的引力场、围绕电荷的电场以及围绕磁体的磁场都是场。场可以被认为是渗透并改变空间的。暴胀子释放的能量驱动了宇宙膨胀。

另一种观点认为，宇宙膨胀是由一种有时被称为“对称性破缺”的过程驱动的。自然界存在四种公认的基本力：引力、电磁力、弱核力和强核力。所有观测到的力都可以被描述为这四种基本力之一的表现形式。物理学的历史就是一部各种看似截然不同的力逐渐统一的历史。例如，在 19 世纪早期和中期，一系列实验结果表明电现象和磁现象之间存在关联。詹姆斯·克拉克·麦克斯韦提出的四个方程将电和磁统一为一个单一的电磁理论。20 世纪 70 年代，人们建立了一个将电磁力与弱核力统一起来的理论。事实上，史蒂

文·温伯格因其对这一统一理论的贡献而荣获 1978 年诺贝尔物理学奖，他撰写了关于宇宙大爆炸的著名科普书籍《*最初的三分钟*》。虽然电磁力和弱核力在今天呈现出不同的表现形式，但将这两种力统一到一个理论中意味着，在早期大爆炸宇宙远高于现在的温度下，它们原本是一种单一的现象。有了这种统一，我们可以说自然界现在存在三种基本力。

大多数物理学家认为，自然界的所有力都可以被整合到一个统一的理论中。目前正在进行的研究旨在建立一个能够统一除引力之外所有基本力的理论。人们认为引力很难与其他力统一，因为引力比其他力弱得多。如果这样的理论最终被找到，它将被称为大统一理论（GUT）。物理学家希望有一天能够将引力与大统一理论结合起来，从而构建出万物理论（TOE）。大量的研究致力于寻找大统一理论，并且存在几种不同的研究方法。几乎所有参与者都认同，力的统一只有在极高的能量和温度下才会发生。这就是为什么发展大统一理论的尝试需要使用大型粒子加速器——更大的加速器能够产生更高的能量。宇宙学家认为，早期宇宙的温度足够高，足以使所有自然力统一。这种力的统一体现了一种对称性。随着宇宙的膨胀和冷却，各种力会逐渐分离。由于引力是最弱的力，它最先分离出来，然后其他力也相继分离。每一次分离都意味着偏离了

最初较为简单的状态，从而在自然力中引入了一种不对称性。因此，每一种力从单一的初始力中分离出来的过程被称为对称性破缺。

对称性破缺类似于物质的相变。冰融化时需要吸收能量，从而冷却周围环境。同样，水结冰时也会向周围环境释放能量。对称性破缺发生时，能量也会释放到宇宙中。这种能量驱动着宇宙的膨胀。许多宇宙学家认为，宇宙有可能再次经历对称性破缺，并可能给人类带来灾难性的后果。当然，在缺乏相关物理学知识的情况下，我们无法预测此类事件何时发生，甚至是否会发生。

自暴胀理论诞生以来，已有数千篇论文探讨了这一理论，并提出了超过 50 种不同的暴胀理论变体。由于暴胀理论能够解释一些难题，它很可能在未来一段时间内继续在宇宙大爆炸理论中占据重要地位。几乎没有人注意到，目前尚无直接的观测方法来检验暴胀理论，而它的吸引力恰恰源于其解决某些宇宙学问题的能力。正如我们稍后将看到的，暴胀模型在宇宙大爆炸的起源假说中扮演着重要角色。

弦理论

宇宙学中另一个重要的新思想是弦理论。弦理论认为，所有物质都由极其微小的实体构成，这些实体如同微

小的振动弦一般。除了我们熟知的三维空间之外，弦理论还要求至少存在六个额外的空间维度。这使得宇宙的总维度达到十个，其中九个是空间维度，一个是时间维度。为什么我们没有注意到这些额外的维度呢？自宇宙早期以来，这些维度就被“卷起”成极其微小的尺寸，以至于我们无法观测到它们。然而，在宇宙早期，这些维度在物质和宇宙的行为中扮演了重要的角色。这就引出了宇宙学和粒子物理学之间的联系。物理定律的统一很可能存在于早期宇宙的高能环境中。由于基本粒子之间的相互作用在早期宇宙中非常强烈，因此，宇宙学模型中必须包含描述这些相互作用的理论。

关于弦理论的科普书籍汗牛充栋。就连基督教天文学家（同时也是进步创造论者）休·罗斯也发表过一篇论文，[其中](#)他运用弦理论来解释一些神学问题。然而，所有这些著作都忽略了一个事实：弦理论是一种高度推测性的理论，目前尚无任何证据支持。这种情况或许还需要一段时间才能改变。宇宙学家们普遍认识到弦理论的初步性质，并且还可能存在其他可能的粒子基本理论。

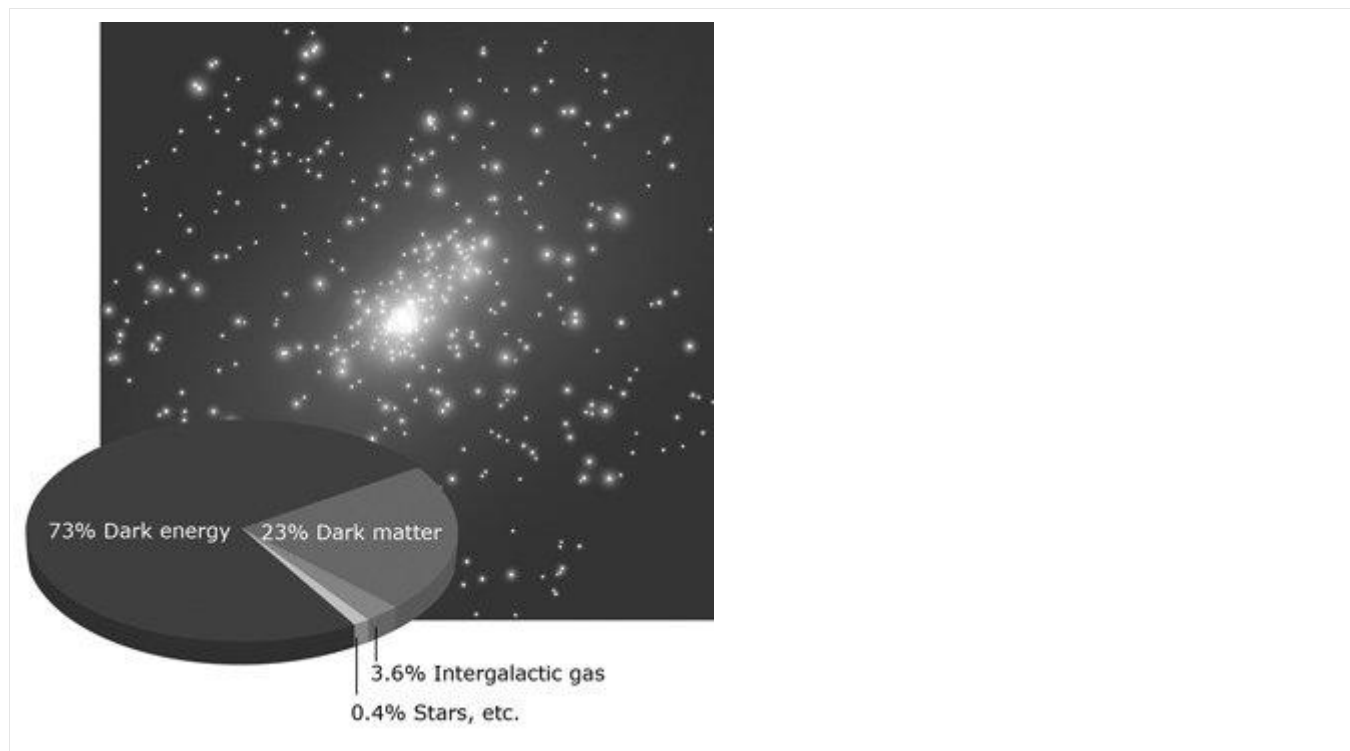
暗物质

星系通常成群出现，称为星系团。大型星系团可能包含超过一千个成员星系。天文学家假定这些星系团是

受引力束缚的；也就是说，星系团中的成员星系围绕着一个共同的质心做着稳定的轨道运动。20 世纪 30 年代，天文学家弗里茨·兹威基测量了一些星系团中星系的运动速度。他发现，单个星系的运动速度远超引力束缚的极限，这一事实后来在许多其他星系团中也得到了证实。这意味着星系团中的成员星系正在逐渐分离，随着时间的推移，这些星系团将不复存在。一个典型星系团的瓦解时间约为十亿年左右，远小于人们假定的星系团年龄。一些神创论者以此为证据，认为宇宙可能比普遍认为的要年轻得多。换句话说，动力学因素所限定的这些结构年龄上限，或许正是造物主留下的证据。

为了证明星系团的古老性，天文学家提出星系团包含的物质比我们想象的要多得多。测量星系团质量有两种方法。一种方法是测量星系团中星系发出的光量（发光质量）。通过统计星系的数量并测量它们的亮度，我们可以估算出星系团的质量。对太阳系附近恒星的质量和总光度的研究，可以帮助我们了解一定光量对应的质量。第二种估算质量的方法是计算在给定星系团成员运动的情况下，需要多大的质量才能将它们通过引力束缚在一起（动态质量）。比较这两种方法可以发现，几乎在所有情况下，动态质量都远大于发光

质量。在某些情况下，发光质量甚至不到动态质量的10%。



图片由美国国家航空航天局提供

如果动态质量计算能够真实反映星系团的质量，那么这表明宇宙中绝大多数的质量是无法观测到的。这部分质量被称为暗物质。如果这是支持暗物质存在的唯一数据，那么质疑暗物质的真实性就完全合情合理。然而，1970年，越来越多的证据开始支持暗物质的存在。那一年，一位天文学家发现仙女座星系外围区域的天体轨道速度比预期要快。这出乎意料。引力理论表明，在星系中心质量巨大的区域（大部分光线由此发出），天体的轨道速度应该随距中心距离的增加而线性增加。观测证实了这一点。然而，理论也表明，在远离星系中心区域（大部分质量似乎集中于此的区

域之外) 的地方, 天体的轨道速度应该遵循开普勒定律。如果绕轨道运行的天体遵循开普勒四百年前发现的行星运动三大定律, 则称其遵循开普勒运动。开普勒第三定律的另一种表述是: 轨道速度与距星系中心距离的平方根成反比。然而, 实际发现是, 远离星系中心的天体的速度与距离无关, 甚至会随着距离的增加而略微增加。在包括银河系在内的其他星系中也发现了类似的现象。

这种围绕遥远星系运行的天体所表现出的奇特行为, 不仅是暗物质存在的独立证据, 也揭示了暗物质的分布位置。如果这些天体确实在绕星系运行, 那么根据基本的物理学原理, 这些天体的轨道内, 也就是大部分光线照射到的星系内部区域之外, 必然存在大量的物质。这些外部区域被称为星系晕。由于星系晕发出的光很少, 因此这些物质必然是暗物质。对产生观测到的星系晕轨道所需的暗物质质量的估算, 与对星系团的估算结果相符。两者都表明, 就像冰山一样, 我们观测到的暗物质仅占其总质量的约 10%。

暗物质究竟是什么? 目前已有许多理论被提出。“普通”物质由原子构成, 原子又由质子、中子和电子组成。中子和质子的质量非常接近, 但电子的质量比质子或中子小约 1800 倍。质子和中子属于一类称为重子的粒子。由于原子的大部分质量都由重子构成, “普

通”物质被称为重子物质。我们最希望暗物质的解释是重子物质，但重子物质很难被观测到。虽然暗淡的恒星是迄今为止最常见的恒星类型，因此占据了大部分恒星质量，但低质量恒星非常暗淡，以至于星系的光芒主要来自更亮、质量更大的恒星。然而，即使暗物质完全由极其暗淡的恒星构成，它们共同发出的光芒也很容易被观测到。如果暗物质存在于尘埃等更小的粒子中，那么尘埃的红外辐射就很容易被探测到。有人提出，暗物质存在于许多行星大小的天体中。这种被称为 MACHO（大质量致密晕状天体）的方案，避免了前面提到的更大或更小天体发出的可探测辐射。人们已经对 MACHO 进行了广泛的搜寻，并且有一些数据支持这种观点，尽管它仍然存在争议。

暗物质的候选者种类繁多，其中不乏一些奇特的候选者。有人认为暗物质由许多黑洞组成，这些黑洞与周围环境的相互作用不足以被辐射探测到。另一种观点认为，如果中微子具有质量，那么星系晕中巨大的中微子云或许可以解释暗物质的存在。2001 年夏天，人们发现了强有力的证据，证明中微子确实具有质量。此外，还有人提出了此前未知的粒子。其中一种被称为 WIMPS，即弱相互作用大质量粒子。显然，MACHO 的命名正是为了与 WIMPS 竞争。暗物质的本质是宇宙学和粒子物理学密切相关的又一例证。

暗物质与宇宙学的关系显而易见。宇宙的命运与 Ω 值息息相关，而 Ω 值 又取决于宇宙中物质的总量。如果宇宙中 90%的物质是暗物质，那么 Ω 值可能非常接近 1，暗物质将在数十亿年的时间里对宇宙的演化产生深远的影响。暗物质的存在对于早期宇宙结构的形成至关重要。人们普遍认为，宇宙在大爆炸之后非常均匀。这种假设部分是基于计算的简便性，但也基于质量不均匀性的不稳定性。如果宇宙中的物质发生了显著的团块化，那么这些团块就会像引力种子一样吸引更多的物质，从而导致质量的增长。如果这些引力种子最初过于强大，那么宇宙中几乎所有的物质都会被吸入巨大的黑洞，最终只剩下极少的质量来形成星系、恒星、行星和人类。另一方面，如果早期宇宙的质量分布过于均匀，就不会有有效的引力种子，星系、恒星、行星和人类等结构也就不可能出现。大爆炸初始条件所处的均匀性范围，以及由此产生的我们今天所看到的宇宙，必然非常小。这又是宇宙经历精细调节的一个例子，而这种精细调节在某些人看来似乎与人择原理相符。

如果暗物质存在，那么就必须评估它在大爆炸宇宙中的作用。大多数考量都集中在暗物质的含量和存在形式上。暗物质可能是热的，也可能是冷的，这取决于其运动速度。如果暗物质运动速度很快，则被称为热

暗物质；否则，它就是冷暗物质。暗物质的运动速度取决于其质量和种类。显然，目前暗物质在宇宙学中仍是一个相当自由的参数。

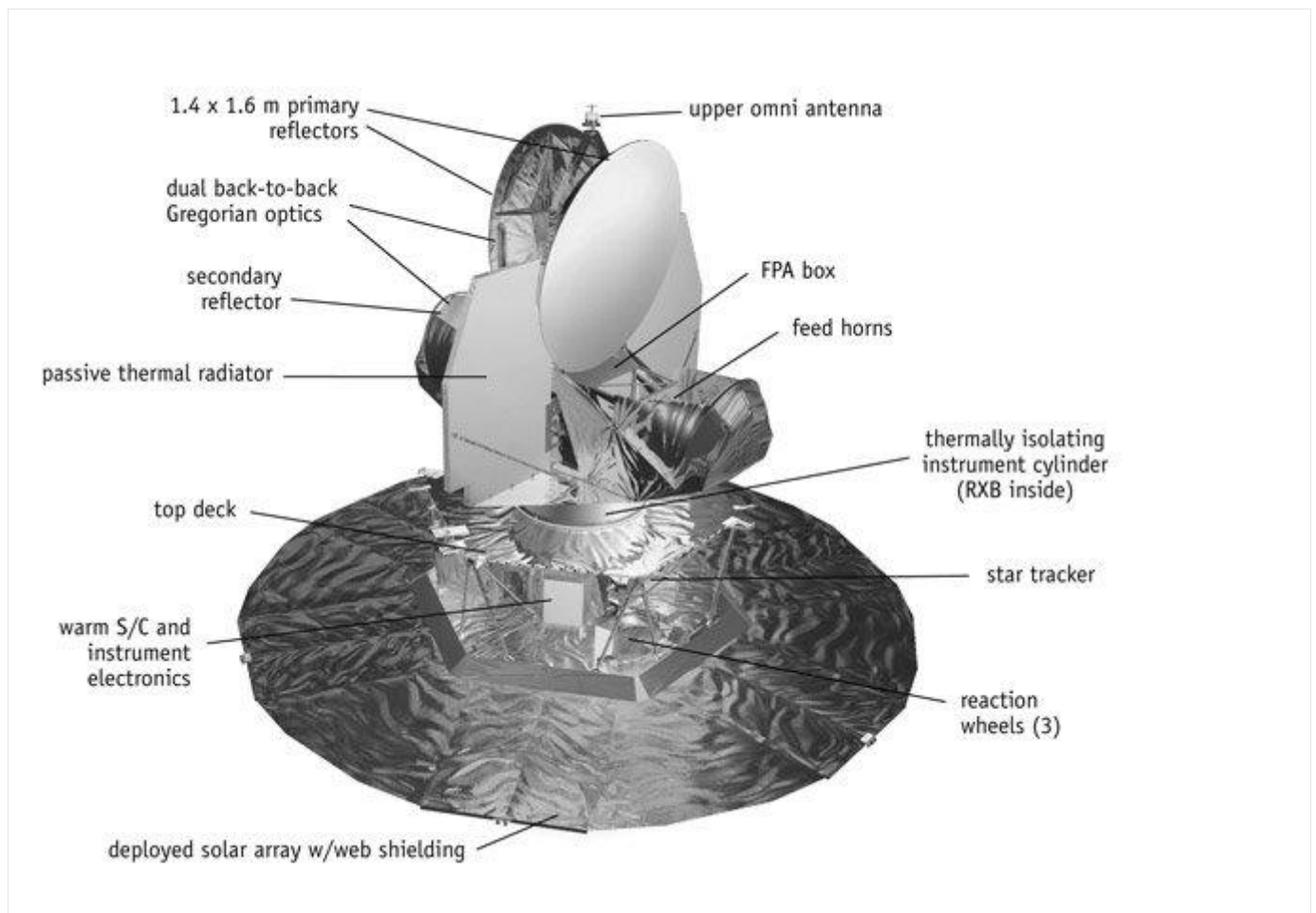
COBE 和 WMAP 实验

早期宇宙必然存在一些轻微的不均匀性，才能形成我们今天所见的结构。如果没有引力种子聚集物质，我们就不会存在并观测宇宙。宇宙学家已经能够计算出大爆炸中宇宙不均匀性的程度。这种不均匀性在复合时期就已经存在，而宇宙微波背景辐射（CBR）据称正是在那时发射出来的。宇宙微波背景辐射原本应该是非常均匀的，但这种不均匀性会在宇宙微波背景辐射中留下痕迹，表现为一些温度略高于或低于平均水平的局部区域。对这种不均匀性程度的预测促成了宇宙背景探测器（COBE，发音为 KOB-EE）卫星的设计。COBE 旨在精确测量整个天空的宇宙微波背景辐射，并测量预测的温度波动。

为期两年的 COBE 实验于 20 世纪 90 年代初结束，实验结果显示宇宙微波背景辐射（CBR）非常平滑。这意味着当时现有模型预测的温度波动并未被发现。最终，一组研究人员运用非常复杂的统计分析方法，在平滑的数据中发现了细微的温度波动。他们声称波动幅度约为 10^5 分之一。随后一些规模较小的实验也被认为验证了这一结果。这些实验被誉为对标准宇宙学的证实。

然而，仍有一些疑问悬而未决。例如，尽管 COBE 实验旨在测量温度变化，但据称观测到的变化比预测值小一个数量级。然而，这却被誉为对大爆炸模型的有力佐证。有人声称 COBE 的结果与预测完全吻合，但这并非事实。自 COBE 实验结果公布以来，一些理论学家重新计算了大爆炸模型以得出与 COBE 测量结果相符的数据，但这远非完美匹配。更确切地说，是数据指导了理论的发展，而非理论预测了数据。

许多人忽略的另一个事实是，所谓的温度变化低于 COBE 探测器的灵敏度。实验如何能测量低于设备灵敏度的事物呢？这些变化只有在对 COBE 数据进行大量高统计处理后才能被识别出来。一位 COBE 研究人员承认，他无法指出天空中任何方向存在明显的冷热区域。这是一个非常奇怪的结果。没有人知道这些冷热区域究竟在哪里，但参与研究的研究人员却被统计数据说服，认为这些区域确实存在。不幸的是，这正是目前科学研究日益普遍的方式。



图片由美国国家航空航天局提供

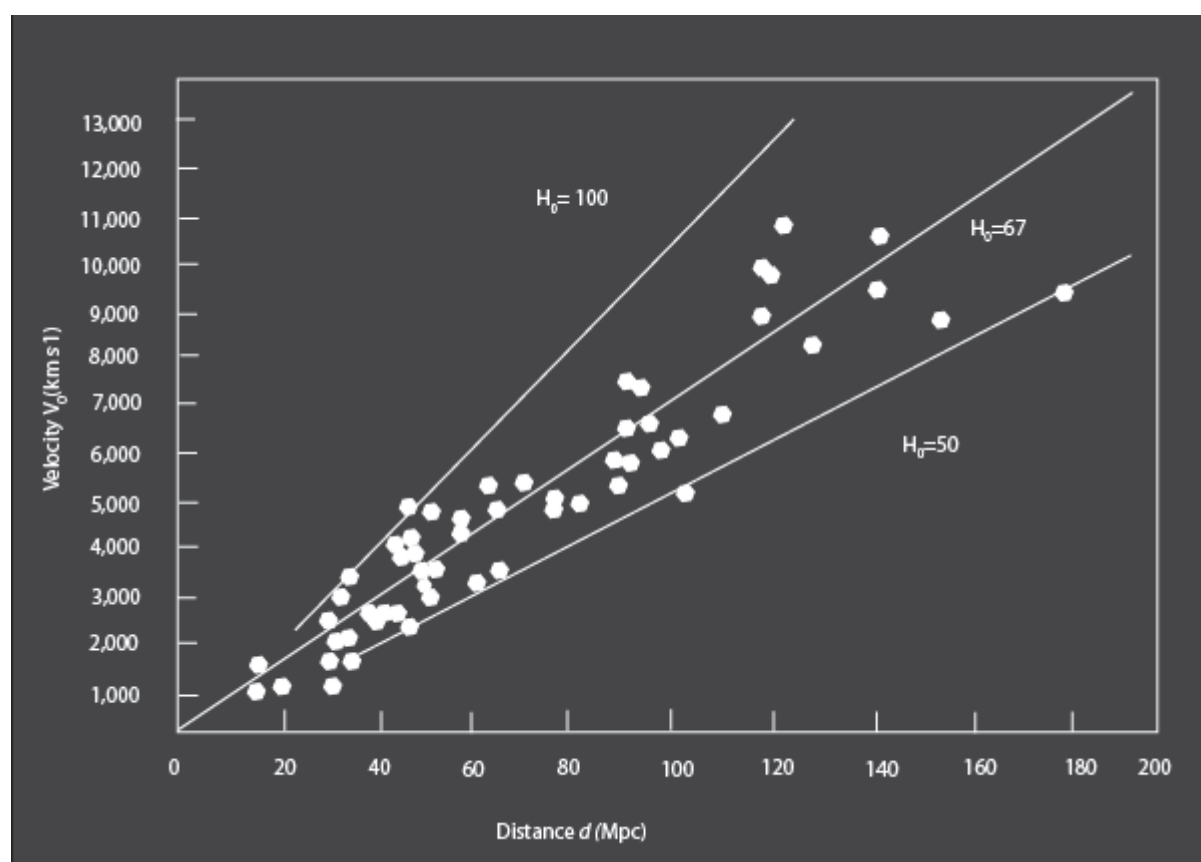
WMAP（威尔金森微波各向异性探针）

为了验证 COBE 卫星据称发现的温度波动，WMAP 卫星于 21 世纪初设计并发射升空。WMAP 是威尔金森微波各向异性探测器的缩写，最初命名为 MAP，但为了纪念任务的主要设计者之一大卫·威尔金森（David Wilkinson），在任务进行期间不幸去世，卫星更名为 WMAP。WMAP 旨在探测 COBE 所揭示的微弱温度变化，并且确实证实了这些波动的存在。2003 年初，一个研究团队利用 WMAP 的首批观测结果以及其他数据，对宇宙进行了一些最新的测量。这项研究得出宇宙年龄为 137 亿年，误差在正负 1% 以内。研究还

确定，可见物质仅占宇宙质量的 4%多一点。在剩余的质量中，约 23%是暗物质，其余 73%是一种被称为“暗能量”的奇异新物质。暗能量将在后文详述。

哈勃常数

在第一章中，我们看到哈勃最初测得的哈勃常数 H_0 大于 500 km/s Mpc ，但到 1960 年， H_0 的值已降至 50 km/s Mpc 。此后三十多年， H_0 的值一直保持不变。20 世纪 90 年代初，新的研究表明 H_0 应该更接近 80 km/s 。多年来一直支持旧 H_0 值的天文学家强烈反对这一新值，因此，围绕这一问题争论了数年之久。



哈勃常数描述了物体相对于我们银河系的视退行速度与距离的关系。如果将视退行速度与距离作图（如上图所示），哈勃常数就是穿过这些数据点的直线的斜率。

除了职业尊严之外，还有什么更重要的事？哈勃常数不仅可以告诉我们星系的距离，还可以用来估算宇宙的年龄。哈勃常数的倒数， T_{H} ，被称为哈勃时间，它告诉我们宇宙大爆炸发生至今已有多久，前提是 Λ 为零，并且忽略宇宙中物质自引力导致的膨胀减缓。由于宇宙必然经历过某种引力减速，哈勃时间是宇宙大爆炸年龄的上限。如果你仔细观察 H_0 的单位，你会发现它的量纲是距离除以时间和距离，这样距离就相互抵消，最终得到时间的倒数。因此， T_{H} 的单位是时间，但百万秒差距（Mpc）必须转换为公里，秒必须转换为年。

例如，哈勃常数为 50 km/s Mpc ，对应的 T_{H} 为 $1/50 \text{ Mpc sec/km}$ 。1 秒差距包含 $3 \times 10^{13} \text{ km}$ ，因此 1 Mpc 等于 $3 \times 10^{19} \text{ km}$ 。一年大约有 $3 \times 10^7 \text{ 秒}$ 。综合以上信息，我们得到

$$T_{\text{H}} = (1/50 \text{ Mpc 秒/公里}) (3 \times 10^{19} \text{ 公里/Mpc}) (\text{年} / 3 \times 10^7 \text{ 秒}) = 2 \times 10^{10} \text{ 年}。$$

因此，哈勃常数为 50 公里/秒 Mpc 时，哈勃时间为 200 亿年。考虑到合理的引力减速，就得到了人们常说的自大爆炸以来的年龄，即 160 亿至 180 亿年。

宇宙弦

需要简要提及宇宙弦，切勿将其与粒子弦理论混淆。对星系和星系团的观测表明，它们的分布并不均匀。相反，星系团往往沿着长长的、相互连接的弦状结构排列。如果星系和宇宙中的其他结构是围绕质量大于平均水平的点凝聚而成的，这些点充当了引力种子，那么为什么现在星系会沿着长长的弧线分布呢？一种可能的解释是宇宙弦。宇宙弦是一种假想的结构，它延伸到宇宙中极其广阔的距离。这些弦非常细，但长度却很长，并且在其延伸范围内蕴含着惊人的质量密度。显然，宇宙弦并非由“普通”物质构成。宇宙弦被认为是星系和星系团围绕其形成的引力种子。目前尚未发现宇宙弦存在的证据，因此这一观点仍存在争议。

由于哈勃时间与哈勃常数成反比，哈勃常数 H_0 加倍会使哈勃时间 $T \propto 1/H$ 减半。有人建议将 H_0 增加到 80 km/s Mpc，这将使哈勃时间缩短至约 125 亿年。引力减速效应会将宇宙的实际年龄缩短至仅 80 亿年。这通常可以被接受，但问题在于天文学家确信，球状星团（其中包含被认为是银河系中最古老的恒星之一）的年龄接近 150

亿年。因此，更高的哈勃常数会使天文学家陷入尴尬的境地：他们观测到的恒星年龄竟然比宇宙还要大。

解决这一难题有几种可能的方法，天文学家最终采用了两种方法的结合。首先，主张不同哈勃常数（ H_0 ）值的天文学家团队找到了一些共同点，并就各自的数值达成了一致。在本书撰写之时（2003 年），公认的哈勃常数（ H_0 ）值为 72 km/s Mpc 。由此得出宇宙年龄在 120 亿至 150 亿年之间，当时的首选值为 137 亿年。其次，对球状星团的年龄进行了重新评估。我们在此不赘述具体方法，但其涉及对球状星团的颜色-星等图进行精确校准。校准需要知道距离，而哈勃太空望远镜提供的新数据使我们能够更精确地了解球状星团的距离。重新校准后，球状星团的年龄范围缩小到仅略小于宇宙新年龄。大多数宇宙学家估计，这两个年龄的不确定性足以让最早的恒星在大爆炸后的某个时间形成。

这一事件确实展现了科学的演变本质，以及科学家们常常对当时的理论抱有的盲目自信。在宇宙年龄和球状星团年龄的危机爆发之前，大多数天文学家都坚信这两个年龄都是正确的。任何提出球状星团年龄小于 150 亿年的人都会很快被驳斥。然而，当其他数据要求我们做出改变时，需求催生了发明，人们找到了降低球状星团年龄的方法。如今，更年轻的年龄的绝对

真理已经取代了更古老年龄的绝对真理。大多数科学家忽略的是，如果没有这些危机，新的真理永远不会被发现。我们会一直浑然不觉，长期以来，我们对球状星团年龄的“客观方法”其实一直未能给出“正确”的数值。

宇宙常数的回归

正如第一章所述，爱因斯坦为了维护宇宙的静态性，赋予了宇宙常数 Λ 一个非零值，但他后来对此感到后悔。一段时间内， Λ 等于零的观点盛行一时，许多宇宙学家对任何相反的观点都持反对态度。事实上， Λ 非零的概念从未真正消失。例如，到了 20 世纪 50 年代，许多地质学家坚持认为地球的年龄接近目前公认的 46 亿年，但当时的哈勃常数却远大于这个数值，无法解释宇宙的年龄。一些宇宙学家提出，较大的 Λ 值 加速了宇宙过去的膨胀速度，导致相应的哈勃时间无法准确反映宇宙的真实年龄。正如引力减速会导致宇宙的实际年龄远小于哈勃时间一样，由 Λ 驱动的加速膨胀也会导致宇宙的实际年龄大于哈勃时间。20 世纪 50 年代中期，宇宙距离尺度进行了修正，哈勃常数减小到与今天大致相同的值，哈勃时间相应增加，从而得出宇宙年龄远大于 46 亿年的结论。因此，似乎没有必要使用非零的 Λ 值。

在沉寂了四十年后，宇宙常数 Λ 重回人们的视野。1998年，一些非常精妙的宇宙学研究利用 Ia 型超新星的距离，并将宇宙的多个参数联系起来，结果表明，最符合数据的解释是 Λ 具有一个较小的非零值。自其重新出现以来，天文学家开始将宇宙常数称为“暗能量”。宇宙常数对应于能量，因为它确实代表了一种排斥力，而这种力总是可以表示为势能。爱因斯坦证明了能量和质量是等价的，因此宇宙排斥力可以类似于质量来看待。由于宇宙排斥力和暗物质都无法直接观测到，而且两者都对宇宙的结构产生着至关重要的影响，因此将二者视为相似是恰当的。尽管这可能令一些人感到不适，但宇宙学家们已被迫重新审视宇宙常数。截至本文撰写之时，这最终将走向何方尚不得而知。

Λ 的值对宇宙的未来有着深远的影响。在大多数宇宙学讨论中，宇宙的未来都与宇宙的几何形状息息相关。这些讨论基于俄国数学家亚历山大·弗里德曼于 1922 年提出的模型，即弗里德曼宇宙模型。弗里德曼宇宙模型假设 Λ 的值为零。在弗里德曼模型中，如果宇宙的平均密度低于某个临界密度，那么宇宙在空间上是无限的，并将永远膨胀下去。这对应于负曲率，即通过某一点的直线可以无限多条平行于任何其他直线。如果宇宙的平均密度高于临界密度，那么宇宙在空间上是有限的，但它并非无限膨胀。这样的宇宙最终会

停止膨胀并开始收缩。这种宇宙的几何形状具有正曲率，因此不存在平行直线。临界密度取决于哈勃常数。目前公认的哈勃常数值导致宇宙中存在一个临界密度，该密度高于宇宙中可见物质的密度。暗物质和暗能量使宇宙的总密度非常接近临界密度，但没有人预期它会超过临界密度。

一个会永远膨胀的宇宙被称为开放宇宙，而一个会停止膨胀的宇宙被称为封闭宇宙。严格来说，“开放”和“封闭”这两个术语实际上指的是宇宙的几何结构，但在弗里德曼宇宙模型中，它们也可能指宇宙的最终命运。然而，当 Λ 不为零时，这种关系就会发生改变。在这样的宇宙中，宇宙的开放或封闭状态直接通过密度与几何结构相关联。例如，一个封闭宇宙可以永远膨胀下去。许多宇宙学书籍都忽略了这一点，因为它们只考虑弗里德曼模型。多年来，人们只认真研究弗里德曼模型。自 1998 年以来，非弗里德曼模型主导了宇宙学思想，随着时间的推移，这一细微差别可能会被纳入许多宇宙学书籍中。

宇宙的起源

宇宙的起源是一个神秘的话题。例如，物质和能量的突然出现似乎违反了能量守恒定律（热力学第一定律）和物质守恒定律。科学建立在我们能够观察到的事物之上。无论宇宙是如何或何时产生的，它都是一个在

时间尺度上（就我们所知的时间尺度而言）只发生过一次的事件。宇宙诞生之初并没有人类存在，因此人们可能会认为宇宙的起源根本不是一个科学问题，但这并没有阻止科学家们探究大爆炸的起源。正如下一章将进一步讨论的那样，一些[基督教](#)护教士认为大爆炸是[上帝](#)存在的证据。他们的理由是，无中不能生有，因此必然存在一位造物主。宇宙学家们非常清楚这一难题，他们提出了几种理论情景，解释宇宙如何在没有外部力量的情况下产生。

爱德华·特赖恩（Edward Tryon）于 1973 年提出的一个假说是，宇宙起源于所谓的量子涨落。正如[第一章](#)开头所述，量子力学告诉我们，粒子具有波动性，因此在微观世界中存在着显著的基本不确定性。波的本质决定了它是扩散的，因此我们无法确定波的具体位置。通常，这一原理被称为海森堡不确定性原理，以最早推导出该原理的德国物理学家海森堡的名字命名。不确定性原理可以用几种不同的方式表述。其中一种表述涉及粒子位置的不确定性和粒子动量的不确定性。动量是粒子质量和速度的乘积。无论我们测量什么，测量结果都存在不确定性。海森堡不确定性原理指出，粒子位置不确定性和粒子动量不确定性的乘积必须不小于某个基本常数。这种不确定性原理的数学表述形式如下：

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2$$

其中 Δx 是粒子位置的不确定度， Δp 是粒子动量的不确定度。基本常数是 $\hbar$ ，称为 $\hbar$ ，等于 1.055×10^{-34} 焦耳·秒。

不确定性原理的含义是：我们对一个量的了解越精确（其不确定度越小），我们对另一个量的了解就越不精确（其不确定度越大）。如果我们非常精确地测量像电子这样的小粒子的位置，那么我们对该粒子的动量就知之甚少。由于我们对电子的质量了解得相当清楚，动量的不确定性主要源于我们对电子速度的未知。另一方面，如果我们非常精确地知道粒子的速度，我们却无法非常精确地知道粒子的位置。回想一下[第一章](#)的讨论，这是一种根本性的不确定性，而不仅仅是我们测量技术的限制。也就是说，即使我们的测量技术拥有无限的精度，我们仍然会受到不确定性原理的限制。

这种现象看似十分怪异，因为在日常生活中并不常见。原因在于，大物体的波长非常小，以至于我们无法观察到宏观物体的波动性。换个角度来看， $\hbar$ 非常小，小到宏观系统位置和动量的不确定性完全被与不确定性原理无关的宏观测量误差所掩盖。因此，尽管不确定性原理适用于所有系统，但其影响仅在 $\hbar$ 值与相关

物体的性质相当的极小系统中才能显现出来。尽管不确定性原理看似怪异，但它已在众多实验中得到证实。

不确定性原理的另一种表述涉及测量粒子能量的不确定性以及进行实验所需时间的不确定性。用数学形式表示为：

$$\Delta E \Delta t \geq \hbar/2$$

其中 ΔE 表示能量的不确定度， Δt 表示时间的不确定度。这句话的基本意思是，我们可以较为精确地测量微观系统的能量，也可以较为精确地测量测量时间，但我们无法同时高精度地测量两者。

不确定性原理的一个应用是产生一对虚粒子的过程。质量和能量守恒（它们通过爱因斯坦著名的质能方程 $E = mc^2$ 相关联）似乎阻止了粒子凭空产生。然而，并没有其他因素阻止这种情况发生，而不确定性原理提供了一种绕过这一限制的方法，即使只是在很短的时间内。例如，在真空中，电子及其反粒子——正电子可以自发形成。这将导致能量守恒的违反，即 ΔE 。由于电子和正电子是反粒子，它们带相反的电荷，因此相互吸引。当这两个粒子接触时，它们会湮灭，并释放出与产生它们时相同的能量。粒子对形成时发生的能量守恒违反恰好被粒子湮灭时释放的能量所抵消。也就是说，宇宙的能量没有净变化。只要粒子对存在

的时间足够短， Δt ，使得 ΔE 和 Δt 的乘积不违反不确定性原理，那么这种短暂的、微不足道的能量/质量守恒违背现象就会发生。这种现象被称为量子涨落。许多量子力学效应已被解释为量子涨落的表现形式。

能量守恒定律的较大违背持续时间不可能像较小违背那样长。例如，由于质子的质量（以及能量）几乎是电子的 2000 倍，因此通过这种方式产生的质子/反质子对的持续时间不会超过电子对和正电子对产生的持续时间的 1/2000。宏观层面的能量守恒定律违背持续时间极短，以至于无法被观测到。然而，如果一个宏观现象的能量恰好为零会发生什么呢？更具体地说，假设宇宙的总能量为零？那么宇宙可能已经存在并持续了非常长的时间，因为如果 ΔE 为零， Δt 可以取任何有限值，仍然满足不确定性原理。因此，宇宙可能在不违反能量守恒定律的情况下产生。如果这是真的，那么宇宙只不过是一种量子涨落。

关键在于找到某种方法，使宇宙中的能量总和等于零。宇宙显然包含大量的能量，以物质（ $E = mc^2$ ）和辐射能（各种波长的光子）的形式存在，此外还包含中微子等更奇异的粒子。许多宇宙学家认为，存在一些负能量形式，可以平衡所有这些正能量。这种负能量最显而易见的选择是引力势能。靠近大质量物体的粒子的引力势能具有以下形式：

$$E = - GmM/r$$

其中 G 为万有引力常数， m 为粒子的质量， M 为大质量物体的质量， r 为粒子到大质量物体的距离。该方程可以对宇宙所有质量求和，从而得到宇宙的总引力势能。由于引力势能为负值，所有项均为负值，因此总和也必须为负值。由此推断，引力势能恰好等于宇宙的总正能量，因此宇宙的总能量为零。

然而，这种方法至少存在两个问题。首先，我们对相关变量的了解还不够深入，无法准确评估能量，从而确定宇宙能量是否真的为零。因此，宇宙能量总和为零更多地是一种信念。第二个问题，也是更棘手的问题，在于引力势能方程中的负号。负号的出现是因为参考点位于无穷远处。所有势能都需要选择一个任意的参考点，在该点势能为零。为了简化数学计算，引力势能的参考点被设定为无穷远处。这导致有限距离上的所有引力势能均为负值。虽然可以选择其他零点，但这会使数学计算更加复杂。任何其他参考点都会导致至少部分引力势能为正值。或者，也可以在势能项中添加一个任意常数，因为零点是任意的。这适用于所有势能。换句话说，我们不能诚实地说宇宙的引力势能具有任何特定的价值来平衡其他形式的能量。

爱德华·特赖恩（Edward Tryon）在其 1973 年发表的关于宇宙大爆炸起源的量子涨落理论论文中写道：

“我提出一个温和的观点：我们的宇宙只不过是偶尔发生的事件之一。” 艾伦·古思（Alan Guth）也表达了类似的观点，他认为整个宇宙可能就是“一顿免费的午餐”。事实上，古思的暴胀模型正是基于量子涨落作为宇宙大爆炸的起源。在暴胀模型中，宇宙诞生于一种被称为“假真空”的量子涨落，这种“假真空”是某些粒子物理学家预测但从未被观测到的存在。真正的真空表面上是空的，但它可以通过粒子对产生产生幽灵粒子。而假真空则不仅能做到这一点，还能做得更多。假真空会拥有强大的排斥性引力场，从而使早期宇宙发生爆炸式膨胀。假真空的另一个奇特之处在于，它在膨胀过程中能够保持恒定的能量密度，几乎凭空创造出巨大的能量。

宇宙起源的量子涨落理论已被扩展，允许存在许多其他宇宙。在这种观点下，宇宙并非凭空产生，而是由其他宇宙中的量子涨落演化而来。那个宇宙中一个微小的量子涨落立即脱离自身，成为我们所在的宇宙。据推测，那个宇宙也源于先前宇宙中的量子涨落。或许我们的宇宙正以类似的方式频繁地孕育新的宇宙。这条由无数宇宙组成的长链，某种程度上是对永恒宇宙的回归，尽管任何一个特定的宇宙，例如我们所在

的宇宙，都可能拥有有限的寿命。这种观点就是前文提到的多元宇宙，它被用来解释人择原理。每个宇宙的物理常数都会有所不同。只有在那些物理常数有利于生命存在的宇宙中，才会存在能够感知这些变化的有意识的生命。因此，我们能够存在的宇宙选择范围可能是有限的。

一些宇宙学家提出了振荡宇宙理论来解释宇宙的起源。在这种观点下，宇宙的质量密度足以减缓并最终逆转宇宙的膨胀。这将导致前文提到的“大坍缩”。大坍缩之后，宇宙会“反弹”，并重生为另一次大爆炸。这次大爆炸之后又会发生另一次大坍缩，如此循环往复，永无止境。因此，我们所处的有限年龄的宇宙仅仅是永恒振荡宇宙中的一个阶段。一些人甚至设想，物理定律可能在每次重生之间发生改变。

振荡宇宙理论存在几个问题。首先，目前最佳证据表明， Ω 太小，不足以阻止宇宙膨胀。其次，即使宇宙注定有一天会收缩，目前也没有任何已知的机制能使其反弹。我们预期，一旦宇宙坍缩，它会保持某种黑洞状态（顺便一提，如果大爆炸起源于这种状态，那么单一大爆炸模型也会面临同样的问题）。第三，我们无法验证这一理论，因此它很难算得上是一个科学概念。

最后，我们不妨再尝试解释一下宇宙的起源（或者说，宇宙无起源）。如果宇宙的大小是无限的，那么它过去是、现在是、将来也永远是无限的。随着宇宙的膨胀，它变得更大、更冷，密度也随之降低。如果宇宙一直在膨胀呢？一种可能性是，支配宇宙的物理定律会随着平均温度的变化而变化。这正是之前提到的大统一理论（GUT）的精髓所在。大多数物理学家认为，我们今天观测到的基本力是同一力的不同表现形式，只是它的对称性被打破了。或许在宇宙远比现在热得多、密度也大得多的早期，存在着我们完全无法理解的其他物理定律。如果真是这样，那么我们所说的大爆炸只不过是宇宙从一个密度和温度都高得多的状态过渡到现在的状态。大爆炸就像一道墙，我们现有的物理学理论无法越过它，到达更早的时期。在大爆炸之前，宇宙的密度和温度都高得难以置信，而当时的物理定律对我们来说也完全陌生。因此，宇宙一直在经历各种演化过程而不断膨胀，并不存在一个可以解释的终极开端。这也代表着一种回归，回归到人们长期以来认为大爆炸已经终结的永恒宇宙观。

近年来，大爆炸理论的研究方向是完全用物理和自然的方式来解释宇宙的起源，而无需借助造物主。任何不提及造物主的纯粹物理起源解释都等同于非神论进化论、自然主义和世俗人文主义。所有这些观点都与

圣经基督教教义背道而驰。那些未能认识到这一点的基督教护教者，仅仅是因为他们没有理解近年来宇宙学的发展方向。

读完这篇文章，你心里是否有一些触动？有没有一些新的想法，或者值得你认真思考的问题？或许，你也开始重新思考自己的信仰和人生的方向。

如果你愿意，现在就可以向上帝祷告，打开心门，成为祂的儿女。祷告不需要华丽的言辞，只要一颗真诚的心。你可以这样祷告：

天父上帝，今天我来到你面前，愿意立定心志，宣告我相信耶稣基督是我的救主，是我生命的主。我愿意离开过去那些不讨你喜悦的生活方式，求你赦免我的过犯。靠着你的恩典，帮助我学习顺服你、爱人如己，活出你所赐的新生命。求圣灵每天引导我、扶持我，使我一生荣耀你的名。奉主耶稣基督的名祷告，阿们。

如果你已经做了这个祷告，愿你知道，你并不孤单。信仰的道路需要陪伴和成长。鼓励你在自己居住的地方，寻找一间合适的教会，与弟兄姐妹一同聚会、学习和成长。

如果你有任何疑问，或在信仰上需要帮助，欢迎随时写信与我们联系。我们愿意倾听，也愿意与你一同前行。