

二十世纪宇宙学

现代物理学

在长达两个世纪的时间里，牛顿物理学取得了科学史上前所未有的成就，但在 19 世纪末，^{一些}实验产生了意想不到的结果。这些结果无法用牛顿物理学解释，而这一失败最终在 20 世纪初催生了^{所谓}的现代物理学。现代物理学有两大支柱：量子力学和广义相对论。量子力学研究的是微观系统，例如原子和亚原子粒子。广义相对论研究的是极高速度或极高质量或能量浓度的物理现象。这两个领域都超出了日常经验的范畴，因此量子力学和相对论效应通常难以被察觉。换句话说，牛顿力学——我们日常经验所理解的物理学——是现代物理学的一个特例。

一些**创造论**科学家对量子力学和广义相对论都抱有怀疑态度。这种对量子力学的怀疑部分源于哥本哈根诠释，这是一种对量子力学的哲学解读。在量子力学中，描述粒子位置、速度和其他性质的解是波函数。波函数本质上是一个概率函数。波函数值越高，找到该粒子的概率就越高；波函数值越低，找到该粒子的概率就越低。当考虑大量粒子时，这个结果很容易理解——概率高的地方，找到更多粒子的可能性也就越大。

然而，如果只考虑单个粒子，该如何解释实验结果呢？哥本哈根诠释认为，粒子同时存在于所有可能的状态中。只要无人观测，粒子就一直处于这种奇特的状态。一旦被观测，我们就说波函数坍缩，粒子呈现出某种特定的状态。如果实验进行足够多次，实验结果的分布就会与由波函数解推导出的概率函数的预测相吻合。

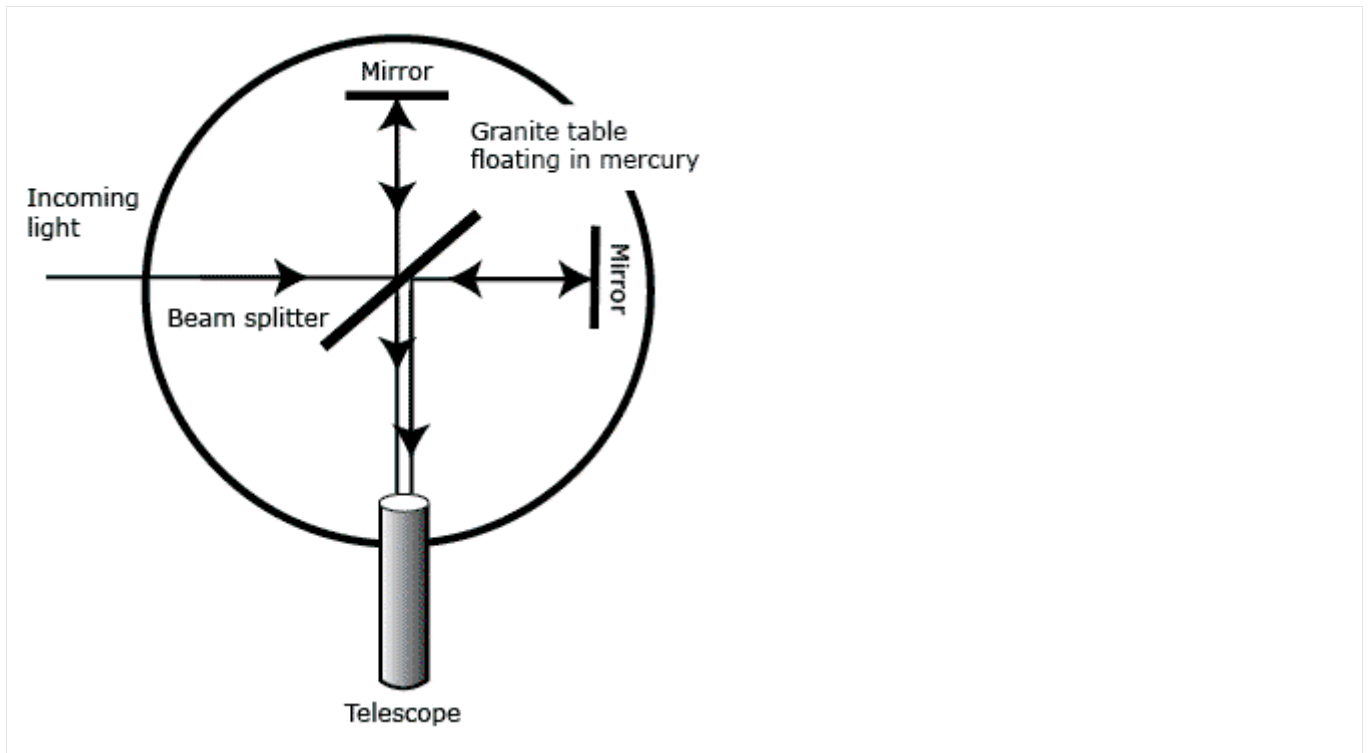
这表明宇宙存在一种根本性的不确定性，这与基督教的世界观和全知全能的上帝观相悖。全知全能的上帝理应知道任何实验的结果，这一观点得到了牛顿力学预定论的支持。在牛顿力学中，如果已知粒子在某一时刻的所有属性，例如位置和速度，那么在任何其他时刻，这些属性都可以被唯一确定。这种能力被称为决定论。量子力学似乎导致了一种连上帝都无法探究的根本性不确定性。不确定性通常源于无知，也就是说，我们缺乏足够的输入信息来计算系统的未来状态。然而，量子力学引入的不确定性并非源于无知，因此我们称之为根本性不确定性。所谓“根本性不确定性”，是指即使我们拥有所有相关变量的无限精确度，我们仍然无法预测未来实验的结果。针对这种反对意见，可能的回应是：要么哥本哈根诠释是错误的，要么量子力学是一个不完备的理论。菲利普·丹尼斯(Phillip Dennis)认为，量子力学很可能是一个不完备的理论，而这种不确定性对基督徒来说并非问题。

现代相对论的一个反对意见源于道德相对主义者对“相对论”一词的滥用。道德相对主义者声称一切事物都是相对的，而广义相对论已经提供了这方面的物理证据。然而，广义相对论并非如此。事实上，它恰恰相反，认为存在某些绝对真理。即便这种说法成立，这也是一种似是而非的论证。物理定律与道德伦理无关。一些神创论者对相对论的另一个保留意见是，他们认为相对论与大爆炸宇宙起源论有着密切的联系。他们的逻辑似乎是，如果大爆炸理论不成立，那么相对论也不成立。但大爆炸只是相对论的一种可能结果。基于创造论的宇宙起源论也可以用相对论来解释，正如拉斯·汉弗莱斯（Russ Humphreys）所尝试的那样。

那些对现代物理学两大支柱之一或两者都持怀疑态度的人，也会对它们感到不安，认为它们违背了“常识”。然而，世界上有很多事情都违背了常识。例如，本书作者始终对牛顿第三运动定律感到惊叹，该定律指出，当一个物体对另一个物体施加力时，第二个物体也会对第一个物体施加大小相等、方向相反的力。我们很快就会看到，广义相对论要解决的问题之一就是引力如何在真空中传递。牛顿物理学简单地假设，这种力能够瞬间且神秘地作用于遥远的距离。这同样违背了常识。对于任何理论而言，关键问题在于它对现实的描述程度。

现代物理学的两大理论都经过了大量的实验检验，并被证明是非常可靠的理论。在科学史上，这些理论的确立程度几乎超过了其他任何理论。因此，下文将假定这些模型是正确的，即便并非完美无缺。这两个理论在现代宇宙学中都扮演着重要的角色，但只有相对论在现代宇宙学的历史发展中具有重要意义，因此对量子力学的进一步讨论将推迟到[下一章](#)。

虽然现代相对论的奠基人众多，但阿尔伯特·爱因斯坦通常被认为是最杰出的贡献者。他的狭义相对论发表于1905年，广义相对论则发表于1916年。狭义相对论并不难理解。它研究的是接近光速的恒定速度的情况。假设一艘宇宙飞船以光速的60%向一个静止的人飞去。现在假设这个静止的人向飞船照射一束光。人们可能会认为，如果由这个运动的观察者来测量光束的速度，那么测得的速度应该是光速的160%。另一方面，如果飞船远离观察者，人们可能会认为测得的光速应该是光速的40%。然而，实际测量表明，无论观察者的运动速度如何，光速都是一个常数。1887年著名的迈克尔逊-莫雷实验就得到了这类结果。这一事实是最早证明经典牛顿力学失效的实验之一。



图片由布莱恩·米勒提供

迈克尔逊-莫雷实验

爱因斯坦以光速不变性为前提，并考察了其推论。他发现，接近光速时，时间流逝速度会比静止状态下测量的时间变慢。随着速度的增加，航天器的长度会缩短，质量也会增加。这些效应分别被称为时间膨胀、长度收缩和质量增加，并且都已在大量实验中得到证实。顺便一提，狭义相对论预言，当速度接近光速时，质量会趋于无穷大。因此，要达到光速，就需要无限的能量。这显然是不可能的，所以任何有质量的粒子都无法达到光速。

广义相对论研究的是高速加速运动。遗憾的是，它需要运用复杂的数学抽象概念，因此并不容易理解。我

们不会讨论任何数学细节，而是会定性地描述该理论试图解决的问题。

如前所述，广义相对论试图解释的一个问题是引力如何在真空中传递。太阳距离地球 9300 万英里，然而地球不仅知道太阳的距离，还知道太阳的方向和质量。所有这些信息对于确定引力都至关重要。在牛顿理论中，引力作用于远距离物体，但对于必要信息或引力如何跨越距离传递却无从得知。广义相对论通过将空间视为一个真实存在的实体来解答这个问题，信息可以像波一样在其中传递。空间和时间的处理方式类似，因此空间可以被视为由四个维度组成：三个空间维度和一个时间维度。广义相对论的方程描述了如何处理空间的四个维度。空间的任意两个维度都可以用坐标纸上的线条来表示，但空间并非像坐标纸那样是平面的，而是弯曲的。弯曲空间的数学原理与弯曲的坐标纸类似。

是什么导致了空间的弯曲？从宏观尺度上看，空间弯曲可能是空间本身的属性；但在局部层面上，空间弯曲则是由物质或能量的存在造成的。弯曲空间需要大量的物质或能量。质量或能量越大，空间弯曲的程度就越大。广义相对论的数学表达式描述了由质量或能量引起的空间弯曲程度。需要注意的是，这里的空间指的是包含时间的四维流形，因此我们应该将其更准

确地称为时空。物体在空间中沿着称为测地线的直线路径运动。如果物体运动的时空是平坦的，那么在我们看来，该物体要么沿直线运动，要么保持静止。另一方面，如果存在大量的物质或能量，使得时空弯曲，那么物体在时空中的直线轨迹在我们观察时会呈现出加速的假象。

尽管引力仍然是一种神秘的力量，但广义相对论已经揭开了它的一些神秘面纱，并提供了一个比牛顿理论更根本的解释。牛顿认为引力可以在真空中传播很远的距离，却没有任何解释，而广义相对论则提供了一种超距作用机制。地球在时空中沿着一条测地线运动。如果没有太阳，时空就不会弯曲，地球在我们看来就会沿直线运动。也就是说，地球不会加速运动。然而，太阳巨大的质量会使时空弯曲，并将这种弯曲向外传递。在地球所在的位置，地球沿着弯曲时空中的测地线运动。地球在弯曲时空中的直线运动在我们看来就表现为加速运动。

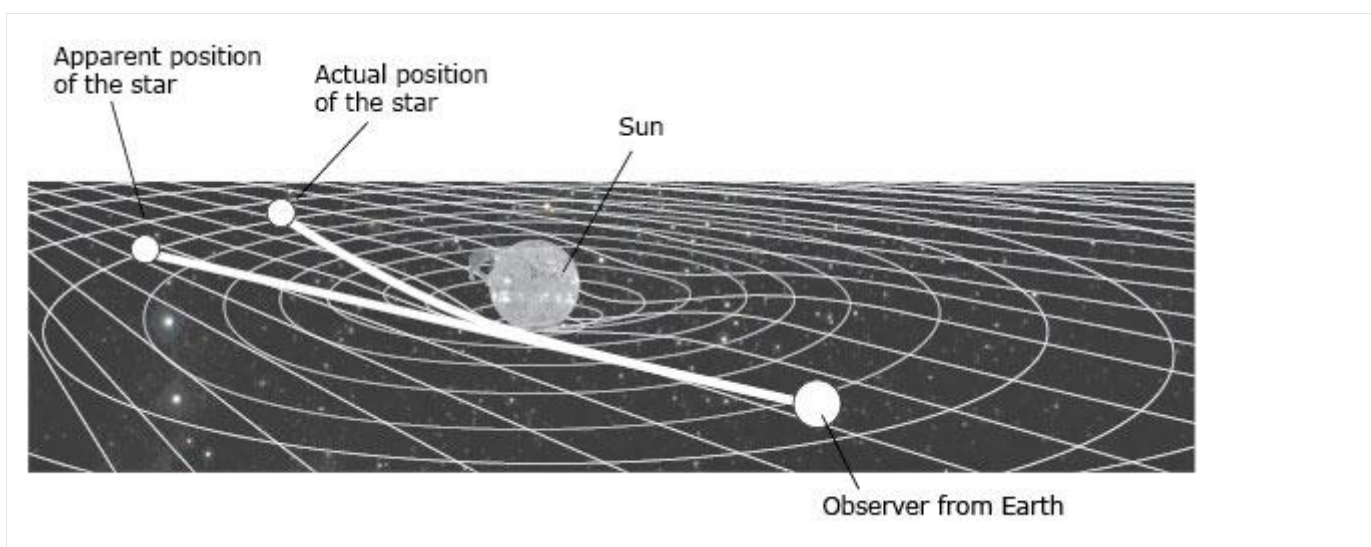
牛顿物理学和广义相对论对空间和时间的方式截然不同。在牛顿物理学中，空间只不过是物质随时间运动的背景。因此，空间、物质和时间是截然不同的三者。而在广义相对论中，空间和时间的方式则非常相似，两者都与物质和能量有着密切的联系。在牛顿物理学中，物质和能量的存在对空间和时间没有

影响，而在广义相对论中，它们却会产生影响。这不仅仅是哲学上的差异；它还会导致一些可检验的预测结果的显著差异，我们将在下文中讨论这些差异。

爱因斯坦提出广义相对论时，人们意识到即将到来的日全食为检验该理论提供了绝佳的机会。广义相对论预测，当光线经过大质量天体附近时，由于天体的引力作用，光线会略微偏向该天体。因此，如果广义相对论成立，那么在日全食期间观测到的太阳边缘附近的恒星，看起来应该比广义相对论不成立时更靠近太阳（见对面页插图）。1919年日全食期间，人们拍摄了一张日食期间太阳和太阳边缘附近一些恒星的照片。他们仔细测量了这些恒星的位置，并与六个月前拍摄的照片中的位置进行了比较。恒星位置的变化与广义相对论的预测相符，因此这被誉为该理论的首次验证。

有一小部分物理学家，虽然人数不多，但却声音响亮，他们反对广义相对论。他们反对这项实验的理由是，测量误差非常大，可能掩盖了所测量的效应。这种说法有一定的道理。相对论效应确实非常微弱，而测量误差以及地球大气折射造成的修正都相当大。如果事情仅止于此，那么反相对论者的确有理由提出异议。但事情远不止于此。自1919年以来，在多次日食期间都进行了类似的实验，每次实验的精度和结果都与广义相对论的预测越来越吻合。

此外，自 20 世纪 70 年代初以来，甚长基线干涉测量（VLBI）技术使我们能够以更高的精度重复这项实验。VLBI 结合了来自相距遥远的射电望远镜的同步观测，以前所未有的精度测量射电源的位置。位于黄道面（地球绕太阳公转轨道所在的平面）上的遥远点射电源的位置已通过 VLBI 测量。由于这些点射电源位于地球轨道平面上，太阳每年都会凌日一次。我们可以在凌日发生时重新测量这些点射电源的位置。位置测量值的差异可以得出射电波掠过太阳边缘所造成的偏移量。所测量的位置偏移精度比 1919 年日食偏移的精度高几个数量级。这项实验已经重复多次，每次观测到的偏移量都与广义相对论的预测非常吻合。



图片由布莱恩·米勒提供

当爱因斯坦将他的场方程应用于宇宙时，他的解表明，他的理论难以解释当时人们对宇宙的理解。在[前一章](#)中，我们看到牛顿认为宇宙是永恒的，但他的引力理论会导致宇宙早已坍缩。为了避免这个难题，牛顿假

设宇宙是无限的。他认为，只有这样，所有物质才会受到各个方向的等量引力，从而形成一个静态宇宙。静态宇宙是指物质既不收缩也不膨胀的宇宙。但在爱因斯坦的引力替代理论中，即使诉诸无限宇宙也无济于事。根据广义相对论，无限的宇宙最终会坍缩，导致宇宙各处的密度都趋于无穷大。这显然与实际情况不符，因此爱因斯坦必须解决这个问题。

爱因斯坦选择的答案是在他的解决方案中引入所谓的宇宙常数。宇宙常数用希腊字母 Λ (Λ) 表示，它起到一种反引力的作用。它相当于空间中存在的一种自斥力，但这种自斥力在局部非常微弱。然而，在大尺度上，这种微弱的空间斥力会累积，最终成为宇宙结构的重要因素。通过精细调节 Λ 以抵消引力的影响，爱因斯坦得以构建一个静态宇宙，正如大多数人在一段时间内所认为的那样。如果 Λ 没有被精细调节以平衡引力，那么宇宙要么膨胀，要么收缩。

Λ 的引入很快便遭到批评，爱因斯坦后来也承认这是他犯下的最大错误。然而，爱因斯坦在这点上对自己过于苛责。他的场方程是微分方程，一种基于微积分的数学形式，在物理世界中十分常见。微分方程的通解确实包含一个常数。微分方程在物理学中被广泛应用，其中涉及的常数通常由问题的初始条件决定。这些常数往往为零。宇宙的初始条件决定了 Λ 的值，但

我们并不知道这些初始条件。对宇宙的观测或许能够告诉我们 Λ 的值，但这并非易事。几十年来，大多数数据都表明 Λ 为零，但关于 Λ 非零的观点仍然层出不穷。如果 Λ 没有经过精细调节以平衡引力，那么宇宙必然会膨胀或收缩。

早期大爆炸模型

在爱因斯坦广义相对论发表后的两年内，一位名叫勒梅特的比利时神父就利用它构建了第一个模型，这个模型预示了目前被广泛接受的宇宙学模型——**大爆炸理论**。勒梅特称他的模型为“宇宙蛋”，以现代标准来看，这个模型相当简单。他设想宇宙起源于一个极热的球体，球体中所有的物质和能量都集中在这个球体中，然后膨胀并冷却，最终形成了我们今天所看到的宇宙。人们可能会问，勒梅特是如何知道宇宙在膨胀，而不是在收缩或静止的呢？一种可能性是，他只是根据对宇宙起源的某种直觉，推测宇宙起源于有限的过去，并且具有确定性和神学意义。这样就排除了宇宙静止的可能性。对他来说，宇宙起源于小而膨胀的假设可能比起源于大而收缩的假设更合理，因为后者排除了宇宙收缩的可能性。

另一种可能性是，勒梅特可能早在几年前就了解了洛厄尔天文台天文学家维斯托·斯利弗的研究成果。1913年，斯利弗发现许多“星云”具有较大的红移，表明

它们以每秒数百甚至数千公里的速度远离我们。这比岛宇宙理论的证实早了十年，因此这些“星云”当时尚未被认为是外部星系。如果它们是我们银河系的一部分，那么这些“星云”的大红移就毫无意义；但如果它们是外部星系，那么根据爱因斯坦宇宙膨胀模型的预测，这些红移就完全说得通了。

哈勃在 1924 年证实了“岛宇宙”理论之后，无疑理解了其他星系红移的意义。如果红移是宇宙膨胀的证据，那么红移量和距离之间必然存在某种关系。为什么红移和距离会有关联呢？任何参加过或观看过 10 公里赛跑的人都能明白这一点。比赛开始十分钟后，跑者们就会分散在相当长的距离上。速度最快的跑者离起跑线最远，而速度最慢的跑者离起跑线最近。速度介于两者之间的跑者则会分散在这两个极端之间。因此，速度和距离起跑线的距离之间存在着直接的正相关关系。

星系的情况也类似。如今最遥远的星系是由宇宙诞生之初运动速度最快的物质构成的，而如今最近的星系则是由最初运动速度非常慢的物质构成的。需要强调的是，这个简单的类比虽然有助于说明问题，但存在一些缺陷。首先，这种“竞赛”只涉及一个空间维度，而宇宙膨胀则涉及三个维度。其次，这个类比暗示宇宙有一个中心，并且地球靠近中心。然而，目前大多

数字宇宙学模型并不认为宇宙存在中心。最后，这个类比暗示观测到的红移是由于空间运动引起的多普勒频移。这是不正确的；多普勒频移和红移是两个截然不同的概念。关于这一区别以及宇宙没有中心的问题，我们将在[第三章](#)进行讨论。

1928年，哈勃提出了距离与红移之间的关系。这种关系被称为哈勃关系，可以表示为 $Z = H_0 D$ ，其中 Z 是红移， D 是距离， H_0 是比例常数，称为哈勃常数。距离通常以百万秒差距（Mpc）为单位。1 Mpc 等于 100 万秒差距，1 秒差距等于 3.26 光年，因此 1 Mpc 等于 326 万光年。光年是指光在一年内传播的距离。 Z 可以用千米/秒（km/s）表示，因此 H_0 的单位是千米/秒·百万秒差距（km/s·Mpc）。 H_0 衡量宇宙的膨胀速率，其值是大量星系红移与距离关系曲线的斜率。利用光谱学测量红移简单明了，但测量距离却十分困难，且受诸多假设和潜在误差的影响。附录 简要讨论了一些测量天文距离的方法。哈勃最初测得哈勃常数 H_0 超过 500 公里/秒 Mpc，但到了 20 世纪 60 年代， H_0 已降至略高于 50 公里/秒 Mpc。20 世纪 90 年代，一些研究表明 H_0 增加到约 80 公里/秒 Mpc。这不仅仅具有学术意义，因为它会影响大爆炸宇宙的年龄，我们将在后文讨论。

宇宙学原理

在将广义相对论方程应用于宇宙之前，通常会做出一些假设。其中一个假设是宇宙是均匀的。均匀性意味着宇宙各处都具有相同的性质。当然，均匀性必须包含物理定律的普适性，否则科学根本无法存在。在宇宙学中，均匀性通常指的是宇宙的外观和结构以及物质分布。如果宇宙中的物质是团块状的，那么广义相对论方程就难以应用，因此这个假设主要基于我们进行数学运算的能力。在局部层面上，宇宙看起来非常团块状。例如，在恒星和行星内部，物质密度很高，但在恒星和行星之间广袤的空间中，物质几乎不存在。

这是物理学中一个常见的问题——我们经常会遇到物质呈团块状的情况。以气体为例。我们知道它是由许多被称为原子的微小粒子组成的，这些原子之间的距离远大于原子本身的大小。然而，从宏观角度来看，我们可以将气体视为某种连续流体。在宏观层面上，气体看起来是均匀的，其微观上的团块状结构可以忽略不计。类似地，人们假设宇宙在某个宏观尺度上是均匀的，但在目前探测到的最大尺度（星系团的星系团）上，宇宙仍然呈现出团块状结构。如果宇宙实际上是不均匀的，那么这将对我们的宇宙学产生什么影响，目前尚不得而知。

另一个常见的假设是宇宙是各向同性的。各向同性意味着宇宙在各个方向上的外观或性质相同。这确保了

宇宙在各个方向上的膨胀速度相同。如果存在一个方向的净流动，那么宇宙就不是各向同性的。宇宙可能并非各向同性还有其他表现形式。几年前，一些天文学家发现，遥远射电源的偏振会随着距离和天空方向的变化而改变。偏振是用来描述波振动方向的术语。波可以沿垂直于其传播方向的任何方向振动。通常，电磁波会向多个方向振动，但很多时候，波主要沿一个方向振荡。当这种情况发生时，我们称该波是偏振的。观测到遥远射电源的偏振取决于其在空间中的方向，这表明宇宙在不同方向上的性质存在根本差异，也就是说，它不是各向同性的。

宇宙均匀性和各向同性的假设被称为宇宙学原理。宇宙学原理结合对宇宙膨胀的观测，通常会得出大爆炸模型。然而，在广义相对论支配的膨胀宇宙中，大爆炸模型并非唯一可能的模型。大爆炸模型迫使人们接受宇宙有一个开端。然而，正如前文所述，许多人难以接受这种可能性，爱因斯坦为了得到一个静态永恒的宇宙而篡改 Λ 值也证明了这一点。

另一种试图构建永恒宇宙的尝试始于完美宇宙学原理的假设。完美宇宙学原理认为宇宙始终是均匀且各向同性的。“始终”意味着宇宙过去和现在都与现在一样。在这种观点下，恒星和星系不断地诞生、衰老和消亡，但宇宙本身却永远保持不变。由于在这个模型

中宇宙永不改变，因此被称为稳态理论。你可能会问：“如果宇宙在膨胀，它的平均密度应该会降低，那么根据稳态理论，宇宙怎么可能保持不变呢？”为了使稳态宇宙保持恒定的密度，物质必须自发产生。稳态理论的另一个名称是连续创造理论。有些人可能会反对说这违反了物质守恒定律，但物质守恒定律仅仅是对我们观察到的宇宙运行方式的一种描述。为了维持宇宙中恒定的密度，单位体积内新物质的产生速率非常小，以至于我们无法察觉。支持稳态理论的人认为，物质守恒定律只是对宇宙真实运行方式的一种近似描述。

在 1965 年之前的 20 年里，稳态宇宙论广受支持。它的吸引力在于它避免了宇宙起源的概念，以及其最终的简洁性和美感。它曾被形容为如此优美，以至于它必然是正确的。与此同时，与之竞争的宇宙大爆炸模型的细节也在不断发展。已故的弗雷德·霍伊尔爵士是稳态宇宙论最坚定的支持者之一，据说正是他为大爆炸模型命名。当时，他恼怒地宣称：“宇宙并非起源于大爆炸！”令霍伊尔懊恼的是，尽管他曾试图为大爆炸模型寻找一个更好的名称，但这个名字却一直沿用至今。

所谓宇宙大爆炸的证据

针对稳态理论，人们提出了诸多证据，但其中最具破坏性的莫过于阿诺·彭齐亚斯和罗伯特·威尔逊于1964年（1965年发表）发现的3K宇宙背景辐射（CBR）。1978年，彭齐亚斯和威尔逊因这项工作荣获诺贝尔物理学奖。当时，他们是新泽西州贝尔实验室的研究人员，致力于开发用于通信的微波传输技术。彭齐亚斯和威尔逊探测到了一种背景噪声，他们找不到其来源，而且这种噪声似乎来自四面八方。早在1948年，乔治·伽莫夫就预言这种辐射应该遍布整个宇宙，但当时还没有探测技术。到了20世纪60年代，探测技术已经出现，普林斯顿大学的罗伯特·迪克正计划建造观测宇宙背景辐射的设备，期间他与罗伯特·威尔逊偶然讨论了这个问题。迪克鼓励彭齐亚斯和威尔逊发表他们的发现，并附上迪克撰写的一篇论文，阐述了这一发现的意义。

根据大爆炸模型，宇宙微波背景辐射中的光子来自宇宙诞生后几十万年左右、温度约为3000K的时期。那时，宇宙中大部分物质是由质子和电子构成的，但温度和密度过高，氢原子无法形成。在这种高温气体中，光子不断被吸收和重新发射，物质和能量达到平衡，辐射呈现出黑体辐射光谱，其强度取决于当时的温度。随着宇宙膨胀，气体冷却，密度降低，最终稳定的氢原子开始形成，并以未电离的形式存在。宇宙历史上

的这一时期被称为复合时代，但或许更准确的说法是结合时代，因为原子在此之前并不存在。

根据该模型，在复合时代之后，宇宙中的物质不再吸收和重新发射所有辐射，宇宙首次变得透明。在复合时代之前，物质和能量是耦合的，辐射无法逃逸出物质。由于光极易被吸收和重新发射，光子的平均自由程极短。复合时代之后，光子的平均自由程几乎与宇宙的尺度相当，能量首次得以逃逸出物质。我们称物质和能量已经解耦。在复合时代释放的光子在随后的100亿至150亿年间几乎没有发生相互作用。这些光子保持着黑体辐射光谱，但自复合时代以来，宇宙的体积已经膨胀了1000倍，因此黑体辐射光谱发生了1000倍的红移。红移使黑体的有效温度从3000K降低到3K。

稳态宇宙学理论无法预测宇宙微波背景辐射（CBR），因为在稳态宇宙学理论中，宇宙始终保持着与今天相同的状态，因此宇宙从未达到过3000K的温度。一些人将宇宙微波背景辐射誉为20世纪天文学最伟大的发现之一，因为它推翻了稳态宇宙学理论，并“证明”了大爆炸理论。自20世纪60年代中期以来，大爆炸模型在大多数宇宙学家看来是唯一可行的模型，因此被称为“标准宇宙学”。但这并不意味着所有反对标准宇宙学的人都放弃了。多年来，霍伊尔不断修正稳

态宇宙学理论，试图使其也能预测宇宙微波背景辐射，但最终未能成功。霍伊尔及其一些同事，例如杰夫·伯比奇和哈尔顿·阿普，指出了大爆炸理论的诸多问题。其中一些问题将在[第四章](#)中进行讨论。

标准宇宙学一直是一个非常稳健且定量的模型，每年发表的大量相关技术论文就证明了这一点。当被问及天文学家如何确定大爆炸是宇宙起源的正确理论时，通常会提出三个证据。其中一个证据是刚才讨论过的宇宙微波背景辐射（CBR）。另外两个证据是宇宙膨胀和轻元素的丰度。但是，这些证据的可靠性如何呢？在回答这个问题之前，我们应该先探讨一下科学中证明和预测的本质。

证明与预测

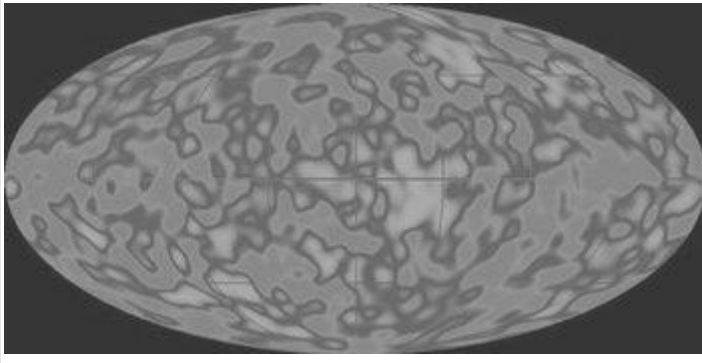
科学理论的好坏取决于它对数据的解释能力。数据可以分为两类：理论构建时已有的数据，以及受该理论启发而开展的实验所产生的新数据。已有的数据用于指导理论的构建。一个好的理论应该能够解释所有或至少大部分数据。换句话说，一个理论应该能够解释我们已知的知识。如果它能够做到这一点，我们就说这个理论具有良好的解释力。如果一个理论的解释力不好，那么就应该对其进行修正，使其能够很好地解释已知知识，或者用另一个解释力更强的理论来替代它。

一旦理论建立起来，就可以用它来对实验结果做出某些预测。当进行实验时，可以将理论的预测与实验数据进行比较。如果预测与数据相符，我们就说该理论已被“证明”，尽管这里的“证明”与演绎推理甚至日常用语中的“证明”略有不同。更准确的说法是该理论已被“证实”。如果理论的预测与数据不符，那么该理论就被“证伪”，必须对其进行修正或替换。科学的一个奇特之处在于，虽然我们可以证伪理论，但却不可能完全确定任何理论绝对正确。科学史上充满了曾经被证明或证实，最终却被证伪的理论。这些被摒弃的理论的例子包括燃素燃烧理论、热质理论和生命起源论。

如果一个理论的预测已经过实验验证，我们就可以说它具有预测能力。许多理论具有解释力，但缺乏预测能力。历史科学领域尤其如此。许多所谓的生物**进化论**证据本质上是解释性的，而非预测性的。进化论声称可以解释我们观察到的现象，但很难设想出能够清晰检验过去发生的事情的实验。创造论也是如此。在这两种情况下，都会出现可证伪性的问题。如果无法进行任何可能反驳该理论的实验，那么该理论就是不可证伪的。我们可以设想无数种情景来解释某种现象，但仅仅解释现有事实很难构成证据。一个好的理论应该同时具备解释力和预测力。

大爆炸理论的三大证据本质上是解释性的还是预测性的？宇宙膨胀无疑是解释性的，而非预测性的。广义相对论表明宇宙应该在膨胀或收缩，但它无法预测究竟是哪一种。宇宙膨胀这一事实只能通过观测来确定。很久以后，人们发展出了大爆炸模型来解释宇宙膨胀这一事实。其实，人们可以构建许多模型来解释宇宙膨胀。稳态模型就是其中之一。这两种宇宙学理论都没有预测到宇宙膨胀，它们只是对这一事实的一种解释。

关于轻元素丰度的证据更为微妙，但这似乎也更多的是解释性的而非预测性的。这里涉及的元素包括氢、氦、一种稀有的较重氢同位素、氦的两种同位素（氦⁻³和氦⁻⁴）以及锂。这些元素都可能在大爆炸后的最初几分钟内产生。所有较重的元素都被认为是在恒星内部形成的。大爆炸宇宙学确实能够预测轻元素的丰度，但大多数人没有意识到，在构建该模型时，元素丰度信息是输入的。对轻元素丰度的了解对于限定哪些可能的模型子集是可行的至关重要。事实上，我们对这些丰度理解的微小变化使得宇宙学家能够对他们的模型进行微调。如果一个模型无法“预测”其理论输入的参数，那将是非常奇怪的。这表明该模型内部存在矛盾。



图片由美国国家航空航天局提供

宇宙背景辐射（CBR）图像

宇宙微波背景辐射（CBR）似乎是大爆炸模型的一个清晰预言。早在发现宇宙微波背景辐射之前近二十年，人们就已经预言了它的存在。尽管彭齐亚斯和威尔逊的发现带有偶然性，但当时已有其他人计划开展对宇宙微波背景辐射的搜寻。大爆炸模型无法预测宇宙微波背景辐射的确切温度，但可以估算其温度范围。测得的温度接近该范围的下限。宇宙微波背景辐射是真实存在的，其存在已被多次证实。因此，否认它的存在是不可行的。宇宙微波背景辐射光谱极其平滑的形状很难用其他方式解释。宇宙微波背景辐射提升了标准宇宙学的预测能力。它是该理论唯一的预言。下一章将讨论对宇宙微波背景辐射的进一步[研究](#)。

宇宙的几何学

在探讨其他主题之前，有必要先了解一些关于宇宙几何的概念。空间可以是有界的，也可以是无界的。有界指的是空间具有边缘或边界。在二维空间中，桌面

是有界的，因为它有明确的边界，即桌面的边缘。另一方面，数学平面则是无界的，因为它向各个方向无限延伸，因此没有边界。我们很难想象我们所处的三维空间是有界的。如果空间有边界，人们不禁要问，这个边界的本质是什么？它会是一堵禁止我们跨越的墙吗？如果是，这堵墙是由什么构成的？为什么我们不能跨越它？是否存在另一侧？如果存在，它会是什么样子？信息能否穿过这堵墙？如果这些问题真的有答案，那么边界的另一侧似乎也是我们宇宙的一部分，所以这堵墙实际上并不是真正的边界。另一方面，一个没有边界的宇宙似乎会无限延伸，因此其大小也是无限的。尽管有边界的宇宙的概念可能难以理解，但一个没有空间终点的宇宙对人类来说也同样难以理解。

因此，我们似乎陷入了无限无界宇宙和有限有界宇宙之间的两难境地。有没有办法摆脱这种困境呢？答案是肯定的。回想一下，根据广义相对论，空间可能具有一定的曲率。空间有可能自身弯曲，从而没有边界，但其大小是有限的。考虑一个二维的例子。一个平面的二维物体，例如一张纸，通常大小有限且有边界。另一方面，地球表面是二维的，但它自身弯曲。因此，地球表面没有边界或边缘，但其大小是有限的。如果你沿着地球表面的直线行进，最终会回到起点。同样地，如果宇宙自身弯曲，如果你沿着直线行进，最终

也会回到起点。这样的宇宙大小有限且无界，因此我们可以避免无限宇宙和有限宇宙。

检查你的理解

1. 现代物理学的两大支柱是什么？
2. 牛顿物理学和现代物理学对引力的看法主要有什么区别？
3. 爱因斯坦广义相对论的首次证实是什么？
4. 什么是静态宇宙？
5. 什么是宇宙常数？
6. 同质性是什么意思？
7. 各向同性是什么意思？
8. 什么是宇宙学原理？通常基于宇宙学原理的假设会衍生出什么样的模型？
9. 什么是完美宇宙学原理？基于完美宇宙学原理的假设，通常会推导出什么样的模型？
10. 宇宙背景辐射的意义是什么？
11. 为什么宇宙膨胀和轻元素的丰度不能作为大爆炸理论的充分证据？
12. 宇宙受束缚意味着什么？

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。