# 宇宙大爆炸理论

“大爆炸宇宙论”（The Big Bang Theory）是现代宇宙学中最有影响的一种学说。它的主要观点是认为宇宙曾有一段从热到冷的演化史。在这个时期里，宇宙体系在不断地膨胀，使物质密度从密到稀地演化，如同一次规模巨大的爆炸。

## 1 学说简介

“大爆炸宇宙论”（The Big Bang Theory）认为：宇宙是由一个致密炽热的奇点于137亿年前一次大爆炸后膨胀形成的。1927年，比利时天文学家和宇宙学家勒梅特（Georges Lemaître）首次提出了宇宙大爆炸假说。1929年，美国天文学家哈勃根据假说提出星系的红移量与星系间的距离成正比的哈勃定律，并推导出星系都在互相远离的宇宙膨胀说。

现代宇宙学中最有影响的一种学说。它的主要观点是认为宇宙曾有一段从热到冷的演化史。在这个时期里，宇宙体系在不断地膨胀，使物质密度从密到稀地演化，如同一次规模巨大的爆炸。该理论的创始人之一是伽莫夫。1946年美国物理学家伽莫夫正式提出大爆炸理论，认为宇宙由大约140亿年前发生的一次大爆炸形成。上世纪末，对Ia超新星的观测显示，宇宙正在加速膨胀，因为宇宙可能大部分由暗能量组成。

## 2 研究历程

### 2.1 发现阶段

但是自从1922年美国天文学家埃德温·哈勃开始观测到到“红移现象”开始，有关“宇宙膨胀”的观点开始形成。

1929年，埃德温·哈勃总结出了一个具有里程碑意义的发现，即：不管你往哪个方向看，远处的星系正急速地远离我们而去，而近处的星系正在向我们靠近。换言之，宇宙正在不断膨胀。这意味着，在早先星体相互之间更加靠近。事实上，似乎在大约100亿至200亿年之前的某一时刻，它们刚好在同一地方，所以哈勃的发现暗示存在一个叫做大爆炸的时刻，当时宇宙处于一个密度无限的奇点。 [6]

听闻此事的爱因斯坦很快来到哈勃工作的威尔逊天文台，在哈勃的带领下亲自进行了红移现象的观测。访问结束后，爱因斯坦公开承认了自己主观意识影响科学结论的错误，并去掉了场方程中的宇宙常数，于是就有了我们今天所熟知的爱因斯坦场方程（Einstein Field Equation）。

### 2.2 成熟阶段

1948年前后，伽莫夫第一个建立了热大爆炸的观念。这个创生宇宙的大爆炸不是习见于地球上发生在一个确定的点，然后向四周的空气传播开去的那种爆炸，而是一种在各处同时发生，从一开始就充满整个空间的那种爆炸，爆炸中每一个粒子都离开其它每一个粒子飞奔。事实上应该理解为空间的急剧膨胀。“整个空间”可以指的是整个无限的宇宙，或者指的是一个就象球面一样能弯曲地回到原来位置的有限宇宙。

根据大爆炸宇宙论，早期的宇宙是一大片由微观粒子构成的均匀气体，温度极高，密度极大，且以很大的速率膨胀着。这些气体在热平衡下有均匀的温度。这统一的温度是当时宇宙状态的重要标志，因而称宇宙温度。气体的绝热膨胀将使温度降低，使得原子核、原子乃至恒星系统得以相继出现。

## 3 爆炸简史

大爆炸开始时：约150亿年前，体积无限小，密度无限大，温度无限高，时空曲率无限大的点，称为奇点。空间和时间诞生于某种超时空——部分宇宙学家称之为量子真空（假真空），其充满着与海森堡不确定性原理相符的量子能量扰动。

大爆炸后10-43秒（普朗克时间）：约1032度，宇宙从量子涨落背景出现，这个阶段称为普朗克时间。在此之前，宇宙的密度可能超过每立方厘米1094克，超过质子密度1078倍，物理学上所有的力都是一种。（超对称）在这个阶段，宇宙已经冷却到引力可以分离出来，开始独立存在，存在传递引力相互作用的引力子。宇宙中的其他力（强、弱相互作用和电磁相互作用）仍为一体。

大爆炸后10-35秒：约1027度，暴涨期（第一推动），引力已分离，夸克、玻色子、轻子形成。此阶段宇宙已经冷却到强相互作用可以分离出来，而弱相互作用及电磁相互作用仍然统一于所谓电弱相互作用。宇宙也发生了暴涨，暴涨仅持续了10-33秒，在此瞬间，宇宙经历了100次加倍（2100），得到的尺度是先前尺度的1030倍（暴涨的是宇宙本身，即空间与时间本身，并不违反光速藩篱）。暴涨前宇宙还在光子的相互联系范围内，可以平滑掉所有粗糙的点，暴涨停止时，今天所探测的东西已经在各自小区域稳定下来，而这被称为暴涨理论。

大爆炸后10-12秒：约1015度，粒子期，质子和中子及其反粒子形成，玻色子、中微子、电子、夸克以及胶子稳定下来。宇宙变得足够冷，电弱相互作用分解为电磁相互作用和弱相互作用。轻子家族（电子、中微子以及相应的反粒子）需要等宇宙继续冷却10-4秒才能从与其他粒子的平衡相中分离出来。其中中微子一旦从物质中退耦，将自由穿越空间，原则上可以探测到这些原初中微子。

大爆炸后0.01秒：约1000亿度，光子、电子、中微子为主，质子中子仅占10亿分之一，热平衡态，体系急剧膨胀，温度和密度不断下降。

大爆炸后0.1秒后：约300亿度，中子质子比从1.0下降到0.61。

大爆炸后1秒后：约100亿度，中微子向外逃逸，正负电子湮没反应出现，核力尚不足束缚中子和质子。

大爆炸后10秒后：约30亿度，核时期，氢、氦类稳定原子核（化学元素）形成。当宇宙冷却到109开尔文以下（约100秒后），粒子转变不可能发生了。核合成计算指出，重子密度仅占拓扑平宇宙所需物质的2%~5%，强烈暗示了其他物质能量的形式（非重子暗物质和暗能量）充满了宇宙。

大爆炸后35分钟后：约3亿度，原初核合成过程停止，尚不能形成中性原子。

大爆炸后1011秒（104年），温度约为105开尔文，物质期。在宇宙早期历史中，光主宰着各能量形式。随着宇宙膨胀，电磁辐射的波长被拉长，相应光子能量也跟着减小。辐射能量密度与尺度（R）和体积（4πR3/3）的乘积成反比例减小，即安1/R4减小，而物质的能量密度只是简单地与体积成1/R3反比例减小。一万年后，物质密度追上辐射密度且超越它，从那时起，宇宙和它的动力学开始为物质所主导。

大爆炸后30万年后：约3000度，化学结合作用使中性原子形成，宇宙主要成分为气态物质，并逐步在自引力作用下凝聚成密度较高的气体云块，直至恒星和恒星系统。

量子真空在暴涨期达到全盛，之后便以暗能量的形式弥漫于全宇宙，且随着物质和辐射密度迅速减小，暗能量越来越明显。暗能量可能占据宇宙总能量密度的2/3 [1]，从而推动了宇宙加速膨胀。

2021年6月1日，欧洲科学家团队利用大型强子对撞机（LHC），揭示了宇宙大爆炸第一个0.000001秒内发生的新细节，即第一个微秒内一种特殊的等离子体发生了什么，这种等离子体不但是宇宙有史以来的“第一种物质”，其相关细节还为我们今天所知的宇宙演变提供了一块重要“拼图”。

2023年4月4日，一个国际天文学家团队在《自然·天文学》杂志上刊发两篇论文指出，他们利用詹姆斯·韦布空间望远镜，发现了4个迄今已知最古老的星系，其中一个星系形成于宇宙大爆炸后3.2亿年，当时宇宙仍处于婴儿阶段。

## 4 观测事实

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（红移）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。在白光光谱中蓝光位于短波端，红光位于长波端。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就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，这并不意味着地球就是宇宙的中心。平均而言，宇宙不同地方的膨胀图像都是相同的。可以说每一点都是中心，又没有一点是中心（解释得最好的是一幅画：三维空间的切割）。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。这一点与我们日常生活中见到的源于一点的爆炸不同。

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，具体情况取决于物质的排列。这个思想已为观测所充分证实。

2023年5月消息，由英国南安普顿大学领导的一个天文学家团队捕捉到了有史以来最大的宇宙爆炸，这一事件被认为是由超大质量黑洞吞噬的巨大气体云引发的。

## 5 主要证据

2014年3月17日美国物理学家宣布，首次发现了宇宙原初引力波存在的直接证据。

原初引力波是爱因斯坦于1916年发表的广义相对论中提出的，它是宇宙诞生之初产生的一种时空波动，随着宇宙的演化而被削弱。科学家说，原初引力波如同创世纪大爆炸的“余晖”，将可以帮助人们追溯到宇宙创生之初的一段极其短暂的急剧膨胀时期，即所谓“暴涨”。

然而，广义相对论提出近百年来，源于它的其他重要预言如光线的弯曲、水星的近日点进动以及引力红移效应等都被一一被证实，而引力波却始终未被直接探测到，问题就在于其信号极其微弱，技术上很难测量。

美国哈佛-史密森天体物理学中心等机构物理学家利用架设在南极的BICEP2望远镜，观测宇宙大爆炸的“余烬”—微波背景辐射。微波背景辐射是由弥漫在宇宙空间中的微波背景光子形成的，计算表明，原初引力波作用到微波背景光子，会产生一种叫做B模式的特殊偏振模式，其他形式的扰动，都产生不了这种B模式偏振，因此B模式偏振成为原初引力波的“独特印记”。观测到B模式偏振即意味着引力波的存在。

南极是地球上观测微波背景辐射的最佳地点之一。研究人员在这里发现了比“预想中强烈得多”的B模式偏振信号，随后经过3年多分析，排除了其他可能的来源，确认它就是原初引力波导致的。

2016年年初，美国激光干涉引力波天文台（LIGO）和欧洲引力波天文台（VIRGO）的科学家联合宣布，他们探测到了两个约为30倍太阳质量的黑洞在13亿年前的并合产生的引力波，这一发现被称为“世纪发现”。

## 6 现存问题

对于大爆炸后最初的几分钟，相关的观测严重缺乏，最早期宇宙物质——能量的实际形式很大程度上仍只是猜测。大一统理论预测了特定类型的粒子（如难以捉摸的磁单极子），而超弦、超对称、超引力以及其他多维理论都预测了各自原初粒子及作用力。

物质对反物质的绝对优势也是一个需要透彻说明的经验性事实。

其他主要问题都与暗物质和暗能量的产生和本质有关（通常认为量子真空是二者的主要提供方）。

7 现代争论

美国的的科学家在2014年9月28日用数学的方法证明了“黑洞是不存在的”。

据美国物理学家组织网站报道，美国北卡罗来纳州大学教堂山分校的理论物理学家劳拉·梅尔西尼·霍顿在在线物理学知识库ArXiv发表文章称，她已经用数学证明了“黑洞是不存在的”。一旦她的观点被科学界论证是正确之后，现代物理学对于宇宙的起源学说将可能被全部推翻。

报道指出，劳拉的理论使用了数学方法，将万有引力理论和量子力学理论和谐地融合在了一起：得出的结论就是认为“黑洞并不存在”。她和霍金都认为当恒星死亡坍塌时，会释放出霍金提出的辐射。在这个过程中，星球自身也将流失一大部分的质量，最终，死亡的星球所剩的密度不足以形成黑洞。

如果这条理论被证实是正确的，大爆炸理论可能会因此而被推翻，甚至于现代物理学对于宇宙的起源学说可能将被全部推翻，亦或是融合万有引力理论和量子力学理论的新理论中设定“黑洞不存在”。

## 7 相关人物

**乔治·爱德华·勒梅特**：（Georges Henri Joseph Éduard Lemaître，1894年7月17日生于比利时沙勒罗伊，1966年6月20日卒于比利时卢文），比利时神父、宇宙学家。教育背景：剑桥大学，麻省理工大学。

乔治·爱德华·勒梅特(1894.7.17-1966.6.20)比利时天文学家和宇宙学家。他提出现代大爆炸理论。该理论认为宇宙开始于一个小的原始“超原子”的灾变性爆炸。第一次世界大战期间，勒梅特作为土木工程师在比利时军队中担任炮兵军官。战后进入神学院并于1923年接受神职,担任司铎。1923-1924年间在剑桥大学太阳物理实验室学习，后到美国麻省理工学院学习，在那里他了解了美国天文学家E.P.哈勃的发现和H.沙普利有关宇宙膨胀的研究。在1927年任卢万大学天体物理学教授时，勒梅特提出勒梅特宇宙模型，用这一理论，星系的退行可在爱因斯坦广义相对论框架内得到解释。虽然宇宙膨胀模型已早有人提出过，但经伽莫夫修改过的勒梅特理论在宇宙论中已居于主导地位。勒梅特根据施瓦西度规（Schwarzschild vacuum solution）通过坐标变换得到勒梅特度规，这是一个引力作用下的自由下落度规。这个度规是勒梅特宇宙模型的基础。其后罗伯逊与沃克发展了勒梅特度规，得到更高维度（三维）对称的罗伯逊-沃克度规，作为伽莫夫提出的大爆炸宇宙模型的度规基础。勒梅特还研究过宇宙射线和三体问题，三体问题是用数学方法描述三个互相吸引的物体在空间中的运动。勒梅特的主要著作有《论宇宙演化》(1933)和《原始原子假说》(1946)。

重要贡献：提出有关宇宙起源的大爆炸理论。

**爱德文·鲍威尔·哈勃**（Edwin Powell Hubble，1889年11月20日—1953年9月28日），美国著名天文学家，研究现代宇宙理论最著名的人物之一，河外天文学的奠基人和提供宇宙膨胀实例证据的第一人。

他发现了大多数星系都存在红移的现象，建立了哈勃定律，被认为是宇宙膨胀的有力证据。同时，他也是星系天文学的创始人和观测宇宙学的开拓者，被称为星系天文学之父。

爱德文·哈勃出生于密苏里州一个保险从业员的家庭，1898年移居到伊利诺伊州。他在少年时代擅长运动，在运动比赛常常进三甲，曾在跳高项目刷新州际纪录。他曾在芝加哥大学修读数学及天文学，1910年取得理学士学位，及后于英国牛津大学修读法律硕士学位，亦是首批罗德学者之一。1913年，由于父亲过世他回到美国，并在印第安纳州一中学担任教师及篮球教练。一年的教学生涯过后，他回到芝加哥大学攻读博士学位，于叶凯士天文台研究天文，1917年毕业获得博士学位。第一次世界大战后，他应征入伍，并快速晋升为少校。战争结束后的1919年，哈勃获威尔森天文台的海耳聘用，成为其终身职位。该天文台曾建造一台200英吋口径的望远镜，哈勃是第一个使用者。哈勃曾发现河外星系的红移与距离的关系，即哈勃定律，为宇宙大爆炸理论提供了有力的支持。此外，他曾发现小行星1373。为纪念哈勃对世界天文学所做出的贡献，小行星2069、月球上的哈勃环形山以及世界上最大的天文望远镜哈勃太空望远镜均以他的名字来命名。1953年9月28日，哈勃于加州圣玛利诺因脑血栓逝世。哈勃逝后并未举行任何丧礼，其妻子葛蕾丝·哈勃也未向大众公开哈勃的死讯。