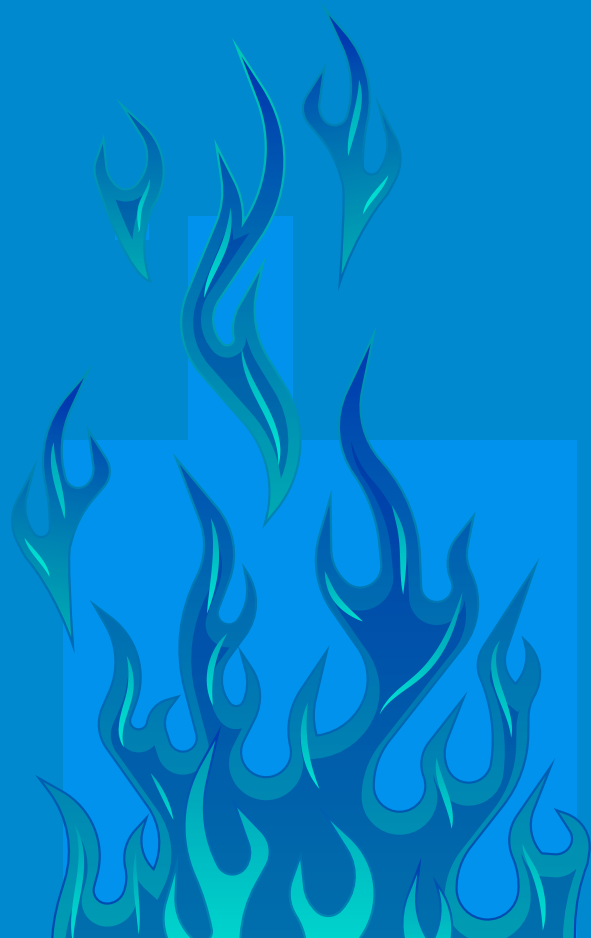




1

天火

开天辟地的宇宙大爆炸

奇点，照亮宇宙的火把

宇宙如何起源一直是人类在思考的复杂问题，而大爆炸理论是现今被最广泛接受的宇宙学模型。该理论详细解释了已知宇宙从早期到随后的演化过程，描述了宇宙如何从高密度、高温的状态膨胀，并成功解释了许多观测现象，包括轻元素的丰度、宇宙微波背景辐射和大型结构。

大爆炸宇宙模型的核心思想是宇宙在过去有限的时间内从一个极端高密度、高温的状态演化而来。根据 2015 年普朗克卫星的观测结果推算，大爆炸发生的时间距今约 137.99 ± 0.21 亿年，并且宇宙还是在不断地膨胀中演变成今天的状态。

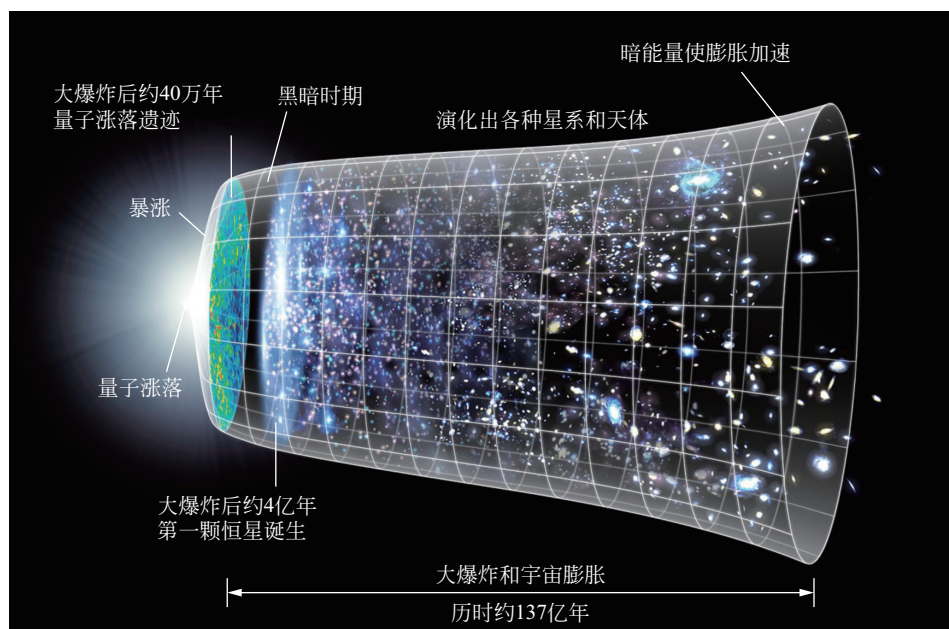
大爆炸理论基于爱因斯坦的广义相对论，对引力场方程进行了一定程度的简化，包括宇宙学原理的假设，即空间的均匀性和各向同性。在宇宙诞生的最初几天，宇宙处于完全的热平衡态，伴随着光子的不断吸收和发射，形成了黑体辐射的频谱。

随着宇宙的膨胀，温度逐渐下降，电子和原子核结合成原子的复合过程发生在大爆炸后大约 138 万年的“最终的散射”时期。在这个时期，光子的电磁辐射与物质脱耦使宇宙变得透明。

大爆炸理论不仅与哈勃 - 勒梅特定律相兼容，即星系离地球越远，其离开地球的运行速度越快，而且还提供了对宇宙膨胀率的详细测量方法。根据这些测量，大爆炸的奇点被推测发生在约 138 亿年前，这也被认为是宇宙的年龄。

这一理论的首创者是比利时天体物理学家勒梅特（G.É. Lemaître, 1894—1966），他在 1927 年首次提出了宇宙大爆炸起源论。该理论在美国天文学家哈勃（E.P. Hubble, 1889—1953）的观察下得到证实，相关发现一直被称为哈勃定律，直到 2018 年才更名为哈勃 - 勒梅特定律，以纪念勒梅特的贡献。

大爆炸宇宙模型得到了当今科学研究和观测最广泛且最精确的支持。在最初的膨胀之后，这个事件本身通常被称为“大爆炸”，宇宙冷却到足以形成亚原子粒子和后来的原子。这些原始元素的巨大云团——主要是氢，还有一些氦和锂——后来通过重力结合，形成了早期的恒星和星系，它们的后代今天依然可见。除了这些“原始建筑材料”，天文学家还观察到了星系周围未知暗物质的引力效应。



宇宙扩张的时间线

大爆炸（Big Bang）一词首先是由英国天文学家霍伊耳爵士（Sir Fred Hoyle，1915—2001）使用的。霍伊耳是与大爆炸对立的宇宙学模型——稳态学说的倡导者，他在1949年3月BBC的一次广播节目中将勒梅特等人的理论称作“这个大爆炸的观点”。虽然有很多通俗轶事记录霍伊耳这样讲是出于讽刺，但霍伊耳本人明确否认了这一点，他声称这么说只是为了着重说明

这两个模型的显著不同之处。

大爆炸发生之后，随着宇宙的膨胀，温度逐渐降低到光子不能继续产生或湮灭，不过此时的高温仍然足以使电子和原子核彼此分离。此时的光子不断地与这些自由电子发生散射，因此，早期宇宙对电磁波是不透明的。

当温度继续降低到大约 3000 K 时，电子和原子核开始结合成原子。由于光子被中性原子散射的概率很小，几乎所有电子都与原子核发生复合之后，光子的电磁辐射与物质脱耦。这一时期大约发生在大爆炸后 379 000 年，被称作“最终的散射”时期。

宇宙中的大部分引力势似乎都是这种形式，而大爆炸理论和各种观测表明，这种超重的引力势并非由重子物质产生，例如普通原子。对超新星红移的测量表明，宇宙的膨胀正在加速，科学家把这一观察结果归因于暗能量的存在。

勒梅特教授在 1927 年首次指出，膨胀的宇宙可以追溯到一个起源的单点，他称之为“原始原子”。他在《原始原子的假设》首先提出了宇宙大爆炸起源论，指出宇宙学红移可通过宇宙膨胀来解释，并于 1927 年估算出了哈勃常数。

1964 年，在德国出生的美国射电天文学家彭齐亚斯（Arno A. Penzias, 1933—2024）和威尔逊（Robert Woodrow Wilson, 1936— ）在使用贝尔实验室的一台微波接收器进行诊断性测量时，意外发现了宇宙微波背景辐射的存在。他们的发现为微波背景辐射的相关预言提供了坚实的验证——辐射被观测到是各向同性的，并且对应的黑体辐射温度为 3K，这为大爆炸假说提供了有力的证据。彭齐亚斯和威尔逊因这项发现获得了 1978 年的诺贝尔物理学奖。

这项理论后来被哈勃的观察所证实，故相关发现以前被命名为哈勃定律，直到 2018 年 10 月经国际天文联合会表决通过更改为哈勃 - 勒梅特定律（Hubble-Lemaître law），以纪念勒梅特的贡献。

1965 年，宇宙微波背景辐射的发现和确认更使绝大多数物理学家都相信：大爆炸是描述宇宙起源和演化最好的理论。现在宇宙物理学的几乎所有研究都与宇宙大爆炸理论有关，或是它的延伸，或是对它的进一步解释，例如，在大爆炸理论的框架下星系如何产生，早期和极早期宇宙的物理定律，以及用大爆炸理论解释新的观测结果等。

20 世纪 90 年代后期到 21 世纪初，望远镜技术的重大发展和如宇宙背景探测器（COBE）、哈勃太空望远镜（HST）和威尔金森微波各向异性探测器（WMAP）等空间探测器收集到的大量数据使大爆炸理论又有了新的大突破。宇宙学家从而可以更为精确地测量大爆炸宇宙模型中的各项参数，并从中发现了很多意想不到的结果，比如宇宙的膨胀正在加速。

1989 年，美国国家航空和航天局（NASA）发射了宇宙背景探测器卫星（Cosmic Background Explorer, COBE），并在 1990 年取得初步测量结果，结果显示大爆炸理论对微波背景辐射所做的预言和实验观测相符合。COBE 测得的微波背景辐射余温为 2.726 K，还在 1992 年首次测量了微波背景辐射的涨落（各向异性），其结果显示，这种各向异性在十万分之一的量级。

2006 年美国国家航空和航天局戈达德航天中心的高级天体物理学家马瑟（John Mather, 1946— ）和美国天体物理学家、宇宙学家、伯克利加州大学物理学教授斯穆特（George Smoot, 1945— ）因领导了这项工作而获得诺贝尔物理学奖。在接下来的十年间，微波背景辐射的各向异性被多个地面探测器以及气球实验进一步研究。2000—2001 年，以毫米波段气球观天计划为代表的多个实验通过测量这种各向异性的典型角度大小，发现宇宙在空间上是近乎平直的。

超新星的诞生

超新星是爆发变星的一种，其光度在爆发后会突然增加到原来的一百万倍以上。这种现象是恒星核心燃烧完氢和聚积氦后，由于重力崩溃而引起的爆炸。超新星分为两种主要类型：I型和II型，分别用SN I和SN II表示。

I型超新星通常是由较小的星体形成，而II型超新星则是由比太阳大得多的星体形成。

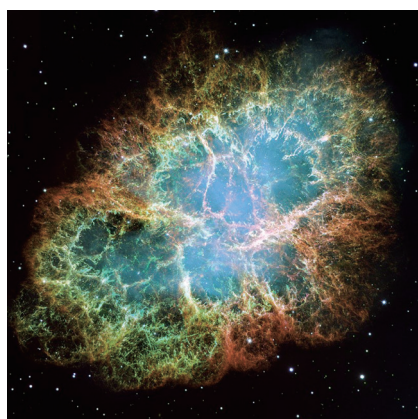
超新星一词源自新星（拉丁语：nova，“新”），即另一种爆炸恒星的名称。超新星在一些方面与新星相似。两者的特点是持续数周的巨大爆炸、快速变亮，然后缓慢变暗。从光谱上看，它们显示出蓝移的发射线，这意味着热气体被向外吹散。但超新星爆炸与新星爆发不同，它对恒星来说是一场灾难性事件，本质上结束了其活跃（即产生能量）的生命周期。当一颗恒星变成“超新星”时，它的相当于几个太阳的物质，可能会以非常大的能量爆炸进入太空，爆炸后碎片的影响范围甚至能够超过它的整个母星系。

超新星爆炸产生的能量不仅释放出大量的无线电波和X射线，还会释放宇宙射线，一些伽马射线爆发就与超新星有关。此外，超新星还将大量较重的元素释放到星际介质中，这些元素在爆炸过程中形成。光谱分析表明，这些元素的丰度高于正常水平。

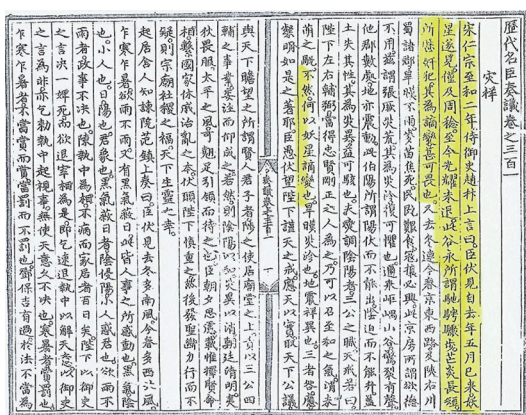
超新星可以由两种方式触发：突然重新点燃核聚变之火的简并恒星，或是大质量恒星的核心重力塌陷。在第一种情况下，一颗简并的白矮星可以通过吸积或合并从伴星那儿累积到足够的质量，提高核心的温度，之后点燃碳融合，并触发失控的核聚变，将恒星完全摧毁。在第二种情况下，大质量恒星的核心可能遭受突然的引力坍缩，释放引力势能，从而产生一次超新星爆炸。最近一次观测到银河系的超新星是1604年的开普勒超新星（SN1604）；回顾性的分析已经发现两个更新后的残骸。对其他星系的观测表明，在银河系平

均每世纪会出现三颗超新星，而且以现在的天文观测设备，这些银河超新星几乎肯定会被观测到。它们作用的角色丰富了星际物质与高质量的化学元素。此外，来自超新星向外膨胀的激波可以触发新恒星的形成。

1054 年 7 月 4 日，产生蟹状星云的一次超新星爆炸发生，这次客星的出现被中国宋朝的天文学家详细记录。《续资治通鉴长编》卷一七六中载：“至和元年五月己酉，客星晨出天关之东南可数寸（嘉祐元年三月乃没）。”日本、美洲原住民也有观测的记录。



蟹状星云是与 SN1054 超新星相关的一个脉冲星风云或它爆发后的遗迹



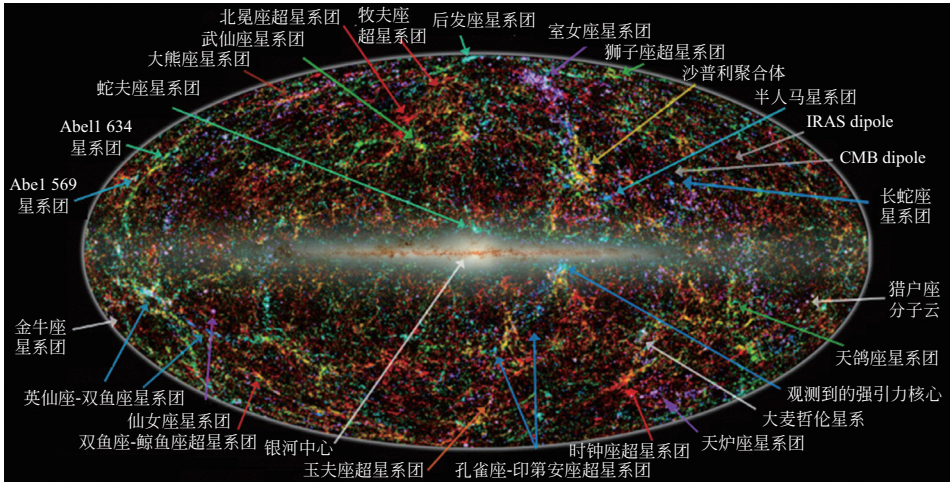
亮彩凸显的段落标示出在宋仁宗至和元年（1054 年）中国对 SN1054 的观测

出生于小亚细亚半岛西北尼西亚的古希腊天文学家、地理学家和数学家喜帕恰斯（希腊语：Ἱππαρχος，英语：Hipparchos，约公元前 190—前 125）开创了三角学和构建三角函数表，并解决了球面三角学的几个问题。凭借他的太阳和月球理论，他可能是第一个开发出一种可靠的方法来预测日食的人。他的其他著名成就包括在公元前 125 年发现和测量地球的进动（岁差），汇编出西方世界第一个综合性的星表，可能也发明了他在创建许多恒星目录时使用的星

盘、环形球仪。喜帕恰斯最著名的成就之一是建立了天文学中的“等价制度”，即将恒星按照亮度分为六个等级，这种制度后来被称为“等级制度”，成为天文学中最基本的分类方法之一，他在观测恒星时曾经观测到一颗超新星。

岁差，又称地轴进动（axial precession），是指某一天体的自转轴指向在其他天体的引力作用下相对于空间中的惯性坐标系所发生的缓慢且连续的变化。地球的岁差主要由太阳、月球及其他行星作用在地球赤道隆起部分的引力矩引起。在天文学和大地测量学中，岁差一般专指地球自转轴缓慢且均匀的变化，周期约 25 722 年。其他周期较短或不规律的变化则被称为章动。

人类最早的超新星观测记录是中国天文学家于公元 185 年看见的 SN185，有记载的最亮超新星是 SN1006。对此，中国和伊斯兰天文学家都有详细的记述。185 年 12 月 7 日，中国天文学家观测到了 SN185，该超新星在夜空中照耀了八个月。《后汉书·天文志》载：“中平二年（185 年）十月癸亥，客星出南门中，大如半筵，五色喜怒，稍小，至后年六月消。”



整个近红外天空的全景图揭示了银河系以外的星系分布，星系通过红移进行颜色编码

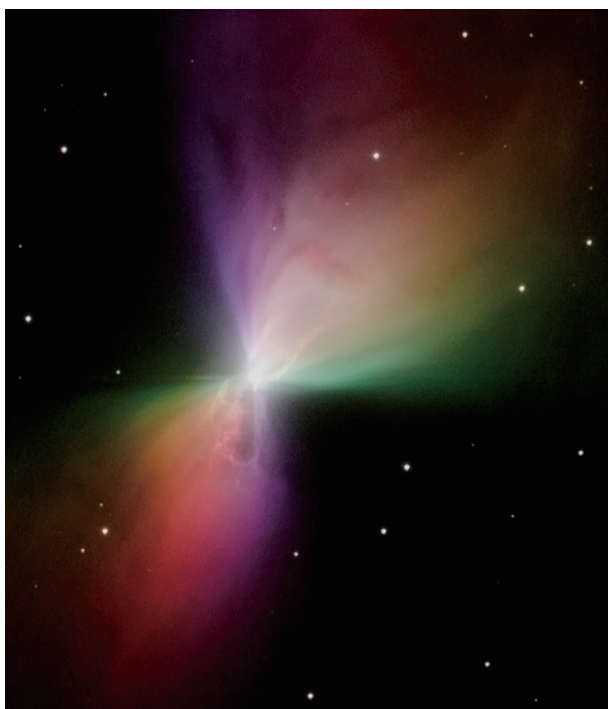
人们观测次数最多的超新星是 SN1054，它形成了蟹状星云。超新星 SN1572 和 SN1604 是目前为止以肉眼观测到的最后两颗银河系内的超新星，这些超新星的发现对欧洲天文学的发展有显著的影响，因为这些发现被用来反驳在月球和行星之外是不变的亚里士多德宇宙观点。约翰·开普勒在 1604 年 10 月 17 日观测到超新星 SN1604 达到亮度峰值，并且在此期间一直估计它的亮度，直到第二年亮度暗淡到裸眼看不见才停止。它是那个时代人们所观测到的第二颗超新星（继第谷·布拉赫的仙后座 SN1572 之后）。

燃烧的太阳温暖了地球 46 亿年

太阳是太阳系的中心恒星，形成于约 45.7 亿年前，起源于一个坍缩的氢分子云。太阳的直径约为 1.392×10^6 km，相当于地球直径的 109.3 倍，质量约为 2×10^{30} kg，占太阳系总质量的 99.86%。其化学组成的质量分数主要包括约 3/4 的氢（约 73%）和 1/4 的氦（约 25%），其余包括氧、碳、氮、铁等重元素（约少于 2%）。

太阳形成的时间以两种方法测量：太阳目前在主序带上的年龄，使用恒星演化和太初核合成的电脑模型确认，大约就是 45.7 亿年。这与放射性定年法得到的太阳最古老的物质是 45.67 亿年非常吻合。

太阳在其主序的演化阶段已经到了中年期，在这个阶段的核聚变是在核心将氢聚变成氦。每秒有超过 400 万吨的物质在太阳的核心转化成能量，产生中微子和太阳辐射。以这个速率，到目前为止，太阳大约转化了 100 个地球质量的物质成为能量。太阳在主序带上耗费的时间总共大约为 100 亿年，剩余的燃料预计还可以维持 60 亿年。它不会爆发成为超新星，而是将在约 50 亿年后进入红巨星阶段。在这个阶段，氦核心因抵抗重力而收缩，外层膨胀，最终进入渐近巨星分支阶段。地球的命运在这一过程中是不确定的，当



哈勃望远镜利用偏极化滤镜拍摄的回旋镖（回力棒）星云照片，不同的偏极化角度与不同的颜色结合起来呈现

太阳成为红巨星时，其半径可能会增大至现在的 200 倍，这将直接影响地球轨道。

地球绕太阳公转的轨道呈椭圆形，离太阳最近的点在每年 1 月（近日点），最远的点在每年 7 月（远日点），平均距离为 1.496 亿 km，即 1 天文单位（1 AU）。光从太阳到地球大约经过 8 分 19 秒。

太阳光中的能量通过光合作用等方式支持地球上所有生物的生长，同时也主导着地球的气候和天气。太阳在许多文化中被崇拜为神明，其影响早在史前时代就已被人类认知。然而，对太阳的科学认知直到 19 世纪初才逐渐深入。