

字宙的来历

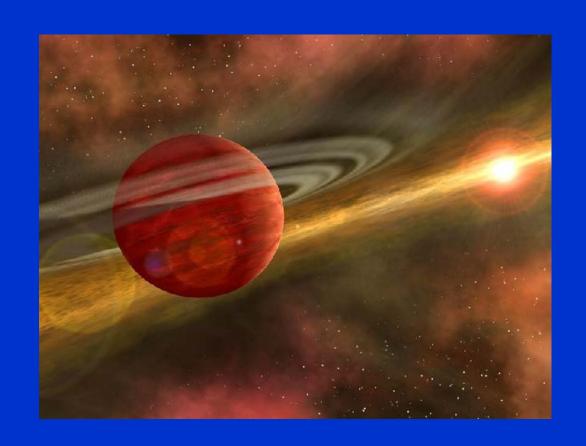
-2006诺贝尔物理奖解读

安徽师范大学 物理与电子信息学院

> 陆同兴 2006.10初稿 2009.12修改



一、浩瀚宇宙





何谓宇宙?

在中国,在最早的《庄子·齐物论》中,"宇"的含义包括各个方向,如东西南北的一切地点。"宙"包括过去、现在、白天、黑夜,即一切不同的具体时间。

《淮南子.原道训》注:"四方上下 曰宇,古往今来曰宙,以喻天地", 即宇宙是天地万物的总称,是时间和 空间的统一。 英语中更常用词 *Universe* 是天地万物、万有的意思。

cosmos, κοσμοζ

古希腊人认为宇宙的创生乃是 从浑沌中产生出秩序来,称

宇宙是广漠空间和其中存在的各种天体与弥漫物质的总称。



望远镜—宇宙的观察手段

天文望远镜是观测天体的 最重要手段。从1609年伽利略 发明光学望远镜起,在波长上从 射电波长、可见光、x光到咖码 光;在构置上有透射、反射式及 组合式,在安置上有地面到太空, 形式多种多样。



1609年伽利略 发明的望远镜



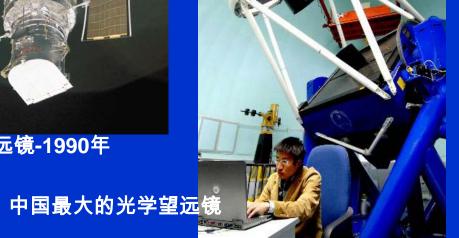
射电望远镜 (1937年



即将建造的巨型麦哲伦望远镜, 由七个直径8.4m镜头组合式。



哈勃望远镜-1990年

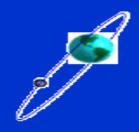




宇宙的尺度

天文学上人们常用光所走过的时间来计算距离。 光的速度是每秒300,000公里,每秒钟可绕地球7.5 圈。 光在1年中所走的距离称为光年,为:

 $d = ct = (300,000) \times (1yr) = 9.5 \times 10^{12} km$

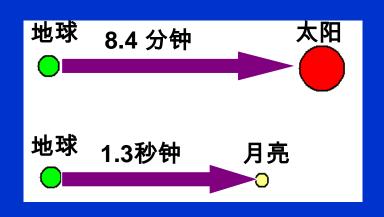


地球→月球的平均距离为384,000公

里,约需1.3秒钟;

地球→太阳约需 8.4 分钟;

地球→其他恒星不少于3光年。



秒差距(parsec)——天文上常用的另一个测量恒星距离的单位。以地球公转轨道半径为底边所对应的三角形内角称为视差。当这个角为1角秒时,三角形一条边的长度为1秒差距——1pc。

1 pc= 3.26光年 1 Mpc= 3.26 x10⁶光年



银河系

宇宙由星系、星团、星际气体、 尘埃物质等构成

星系——宇宙中庞大的星星的"岛屿", 也是宇宙中最大、最美丽的天体系统之一。 目前人们已在宇宙观测到了约一千亿个星系。 它们中有的离我们较近,可以清楚地观测到 它们的结构;有的非常遥远,已知最远的星 系离将近一百三十亿光年。



银河系的结构是一个典型螺旋状恒星系。从侧面看,银河系是一个中间厚、边缘薄的扁平盘状体。银盘的直径约 10万光年,中央厚约1万光年。太阳系居于银河系边缘,距银河系中心约 3.3 万光年。









河外星系,是位于银河系之外、由几十 亿至几千亿颗恒星、星云和星际物质组成的 天体系统。

仙女座星系是最靠近我们银河系的一个主要河外大星系,距离我们约250万光年。包含1万多亿颗星球,是至今为止发现的最大星系。星系整体跨度为22万光年,在晴朗的夜晚可以用肉眼观测到它。

恒星往往成群分布。数目在十个以上, 而且在物理性质上相互联系的星群叫做"星团"。

银河系中约有500个球状星团,全天最亮最大的是半人马座ω星团(NGC5139)。ω星团的成员达到几百万颗恒星,中心部分的恒星彼此相距平均只有0.1光年。1677年,天文学家哈雷发现这个星团时误以为是一颗恒星,因为用肉眼虽然能直接看到它,却不能分辨出它内部团聚的恒星。ω距离地球约17000光年,年龄大约120亿岁。







极其稀薄的气体和尘埃组成星云。

量状星云是1054年中国古代天文学家最早发现天关客星。蟹状星云(M1,或NGC 1952)位于金牛座ζ星东北面,距地球约6500光年。它是个超新星残骸,源于一次超新星(天关客星)爆炸。星云中心有一颗正在高速旋转的脉冲星。







哈勃望远镜拍摄到的猎户座星云全景照片

猎户座大星云,为最接近我们的 一个恒星形成区,直径约16光年, 直径约1500光年。猎户座大星云东断 野宫出大量新的恒星,其中大三 断孕育出大量新的恒星,其中大三 恒星都形成于200 - 300万年前,实 后, 一个银河里都的千分之一成, 是云中的许多恒星目前正处于形成 是云中的许多恒星目前。 个银河星团,称为猎户座星云星团。



星系团与大尺度结构

星系团

星系的空间分布不是无规的。星系、气体和大量暗物质在引力的作用下可能聚集成庞大的天体系统,它们被称为星系团(cluster of galaxies),代表宇宙结构中比星系更大一个新层次。

星系团包含的星系数相差很大,少的只有十几个星系,多的可达数千。星系团的平均直径约为5 Mpc。

目前已发现上万个星系团,距离远达70亿光年之外。小星系团,如本星系群有银河系、仙女星系等约40个星系。大星系团,如后发星系团有上千个较明亮的成员星系,包括一些暗星系在内,总数可能上万。



哈勃太空望远镜拍摄的 CL0024+17星系团影像



大尺度结构

人们把10Mpc以上的星体结构称为宇宙的大尺度结构。这一层次叫超星系团(super-cluster of galaxies),典型尺度为数十Mpc。观测表明,星系在大尺度上的分布呈泡沫状。即有许多看不到星系的"空洞"区,而星系聚集在空洞的壁上,呈纤维状或片状结构。

当我们把星系看成宇宙物质的基本单元,那么星系的分布状况就是宇宙结构。现在看来,直至50Mpc的尺度为止,星系的分布呈现有层次的结构。

二、宇宙诞生于大爆炸?

——一种基于理论研究与实验观测的流行理论





爱因斯坦的宇宙



1666年,牛顿从开普勒定律出发,推导出行星在它们的轨道上运动的力与它们到旋转中心(太阳)的距离平方成反比,发现了具有划时代意义的万有引力定律。

$$F = G\left(\frac{m_1 \times m_2}{R^2}\right)$$



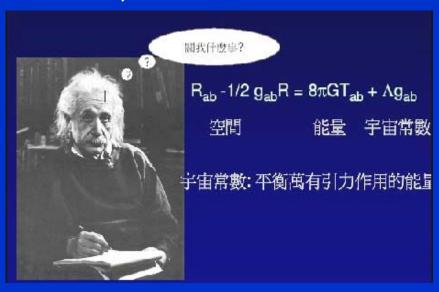
1917年,**爱因斯坦**提出了广义相对论。认为宇宙间应用新的引力场方程替代牛顿的万有引力方程。

$$R_{ab} - \frac{1}{2} g_{ab} R = 8\pi G T_{ab}$$

 g_{ab} 四维时空度规张量, R_{ab} 空间曲率张量, R 曲率标量, T_{ab} 物质的能量-动量张量

爱因斯坦称 这是他一生 最大的错误

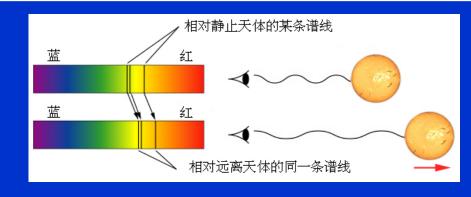
为建立一个"静态、有限、无界"的宇宙模型,爱因斯坦对场方程引入了一个修正常数∧, 称为宇宙常数。





哈勃的发现

早在1912年,施里弗(Slipher)就得到了"星云"的光谱,结果表明许多光谱都具有红移。这是光学多普勒效应的结果。说明这些"星云"在朝远离我们的方向运动。随后人们知道,这些"星云"实际上是类似银河系一样的星系。

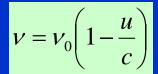


相对于实验室的某元素谱线,该元素从遥远星球来的谱线波长变长了,称为谱线红移。

1929年,美国天文学家哈勃(Hubble)根据远距星云的观测资料发现,远距恒星发出的光谱线发生一种宇宙学红移。离地球越远的恒星,其光谱线的红移越大.哈勃从实验观测资料中总结出了红移的规律:恒星光谱线的宇宙学红移与恒星和地球的距离成正比,即

$$Z = \frac{\Delta v}{v} = HR$$

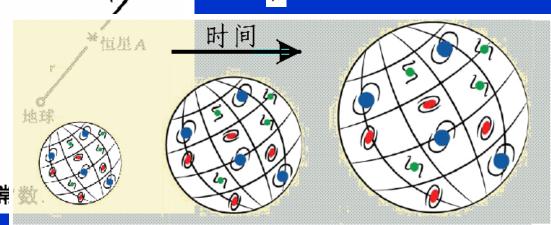
式中R是恒星与地球的距离、H为哈勃常



c—光速

u—星球退行速度

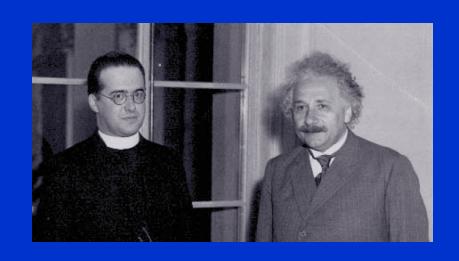
_{V。}—静止物体谱线频率





宇宙大爆炸的预言

1922年,年轻的苏联数学家A-A-弗里德曼通过理论推导,率先预言了宇宙的膨胀。1927年,比利时人乔治·勒梅特,在计算爱因斯坦场方程的基础上,认为宇宙的物质和能量最初都高密度聚集在一个不稳定的"宇宙蛋"或"原初原子"中,由于某种原因"宇宙蛋"向外爆炸,并逐渐向外扩散形成了今天我们所看到的各种宇宙成分。





伽莫夫(G. Gamow 1904 —1968) 美籍俄裔核物理与宇宙学家

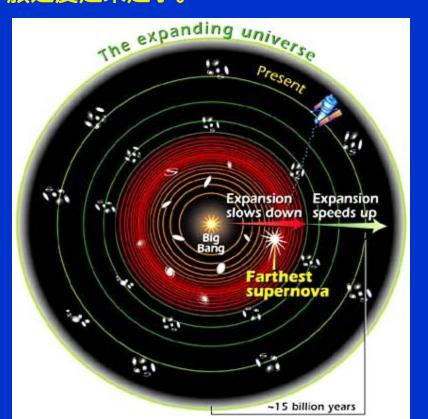
根据天文观测,宇宙中质量约占25%的化学元素是氦。这么多氦无法在恒星内部核反应中合成,1948年,伽莫夫大胆提出了氦元素是在宇宙大爆炸几分钟后合成的。在他的研究生R·A·阿尔弗的博士论文中提出,约在100-150亿年前,宇宙是个高温、高密的"原始火球",球内充满辐射和基本粒子。当"原始火球"温度下降到10亿K时,基本粒子发生核聚变反应,并因爆炸而膨胀,爆炸后早期宇宙的环境合成了今天人们看到的各种元素。

1948年4月,伽莫夫等人在《物理评论通讯》上发表 "化学元素的起源",论述了宇宙起源于大爆炸的思想。此 后,阿尔弗与赫尔曼在《自然》杂志上发表了另一篇论文, 提出了证实大爆炸理论的方法。



大爆炸宇宙模型

大爆炸模型是这样的:宇宙是不断膨胀的,而且由于引力的作用,膨胀的速度会随时间发生变化。万有引力作用于宇宙一切物质与能量之间,起到剎车的作用,阻止星系外跑,从而使膨胀速度越来越慢。在诞生初期,宇宙从高密度状态迅速膨胀,随着时间的推移,宇宙体积越来越大,膨胀速度越来越小。



"宇宙的起源于一个具有无限高温 度的点"。

At the actual start of the Big Bang, there is no size (only a point) and temperature is infinite.

按照大爆炸模型,宇宙演化到现今人 们所见到的景象,经历了

创生,

暴胀(年龄约为10⁻⁴³秒),

原初元素合成(年龄约为100秒),

光子—电子退耦和原子形成

(年龄约为10万年),

第一代恒星形成(年龄约为2亿年),等几个重要时期(年龄约为137亿年)。

大爆炸——BIG BANG。大爆炸理论的反对 者<mark>置伊尔</mark>认为,认同大爆炸模型等于"公然邀 请创世理论",在与上帝妥协。

三、宇宙大爆炸证据

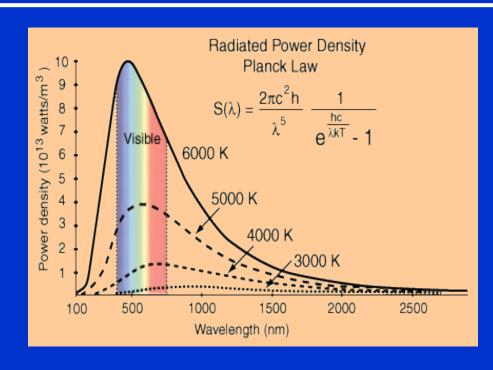


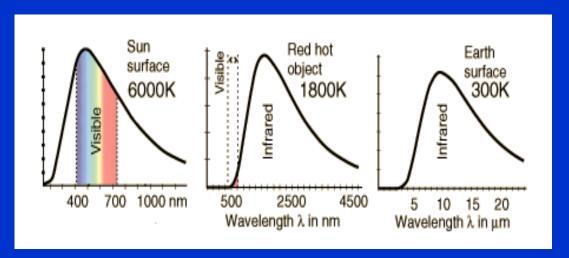


黑体辐射?

物理学认为,一切物体与周围电磁辐射处于相互作用之中。一方面物体向周围发射电磁辐射,同时又吸收来自周围的辐射。当热平衡时,物体发射与吸收相等。

如果没有反射,物体能全部吸收外来的辐射,则这样的物体称为黑体。黑体发射电磁辐射的能力比同温度下的任何 其它物体强。绝对黑体是很难找到的, 但是一些发热物体,例如木炭、电热器、 白炽灯等,具有近似黑体辐射性质。





黑体的电磁辐射不是在单一波长上的辐射,而是有一个波长的分布范围。黑体辐射按波长的分布仅与温度有关,与物体的性质无关,并由普朗克定律表述。

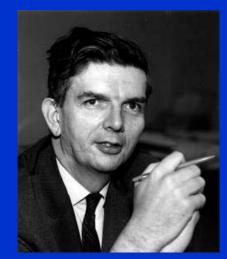
人们常可以从测量所获得的 噪声功率密度对波长的分布曲线 上,求得该物体的温度。



大爆炸的余辉



既然宇宙诞生于100多亿年的 大爆炸。宇宙间物质肯定非常寒冷, 但不至于没有一点余温。它应该是 与某个波长范围相对应的低温辐射, 并充斥于整个宇宙之中,称之为宇 宙背景辐射。



Robert Henry Dicke May 6, 1916 — March 4, 1997

托尔曼(Tolman)第一个研究了宇宙背景辐射,1934年他提出宇宙背景辐射以黑体辐射的形式保留下来。

1948年,伽莫夫等人计算,如果宇宙最初的温度约为十亿度,则会残留有约 5~10k的背景辐射。

1964年,苏联的**泽尔多维奇**、英国的**置伊尔、泰勒**、美国的皮伯斯等人都预言宇宙应当残留有温度为几开的背景辐射,与之对应的波长在厘米波段上,从而引起了学术界对背景辐射的重视。

上世纪60年代,普林斯顿大学的R.H. 迪克设想,在宇宙历史的早期热密阶段 可能有些可观测到的辐射遗留下来。在 迪克这一思想的推动下,该大学的一位 青年理论工作者P.E.J.皮伯斯进行了计 算,得出早期宇宙遗留下来的背景辐射 约为10 K。迪克并建议P.G.罗尔和D.T. 威克森来建造一种低噪声的天线去探测 这种辐射。



彭齐亚斯和威尔逊的烦恼

1964年,贝尔实验室的射电天文学家A.彭齐亚斯和R.W.威尔逊,为了改进卫星通讯,建立了高灵敏度的号角式接收天线系统,配备了最低噪声的红宝石微波激射器。

64年5月,他们在7.35cm处测量天顶处的噪声,发现天线总噪声温度为6.7K,在扣除了所有可能的噪声之后,发现仍有3.5K余额。1965年初,他们在对银河系银晕气体射电强度测量前,清除了天线上鸟粪等所有污物,以降低一切可能出现的噪声,结果依然消除不掉3.5K的额外噪声。在随后一年的观测中,发现这个额外噪声在随后一年的观测中,发现这个额外噪声不变,且与方向无关。彭齐亚斯和威尔逊为此感到非常困惑。

人们常将测量到的噪声功率,换 算成噪声等效温度T:

T = P/kB

P-在B带宽内收到的噪声功率

k-玻耳兹曼常数

A.彭齐亚斯(Penzias Arno,1933~)

美国射电天文学家。21岁毕业于纽约市立大学, 25岁获哥伦比亚大学硕士学位。1961年到贝尔电 话实验室,翌年获博士学位。1972年任无线电物 理部主任。1975年美国科学院院士。

R.威尔逊(Robert W.Wilson,1936~) 威尔逊1936年出生于休斯敦。1962年获博士学位。 1963年进入贝尔实验室,致力于射电天文方法研 究星际分子、测定星际物质中同位素的相对丰度 。1976年任无线电物理部的主任。





宇宙背景辐射的确认

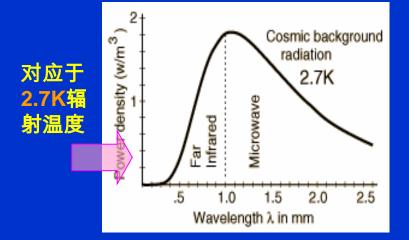
在得知迪克小组的工作后,彭齐亚斯与迪克通了电话。迪克寄去了皮布尔斯的论文预印本,与同事们访问了彭齐亚斯实验基地。双方商定在《天体物理学》发表各自的成果,迪克小组是理论文章《宇宙黑体辐射》,彭齐亚斯的是实验报导《4080MHz处天线额外温度测量》。论文发表引起极大反响,对宇宙学发展影响不可估量。

CMB在宇宙各处具有各向同性、无偏振,经最后修订,它是2.7K绝对温度(零下270.46℃)的黑体谱。

根据理论分析,在极热状态下早期宇宙 处于热平衡状态下,热辐射能量密度分布遵 循普朗克定律,具有各向同性特点。随着宇 宙的热膨胀,宇宙逐渐冷却,残存的光辐射 谱仍应保持普朗克分布。

彭齐亚斯与威尔逊检验到的辐射是否服从这一分布?在1965后近十年中,许多小组参加了测试,证实彭——威观测到的额外天线温度属于宇宙微波背景辐射(CMB)。

彭齐亚斯和威尔逊获得了 1978年度诺贝尔物理学奖



- 1、迪克小组:3.2cm波段,3.0±0.5K,
- 2、夏克斯哈夫特小组: 20.7cm波段, 2.8±0.6K,
- 3、彭齐亚斯小组: 21.1cm波段, 3.2±0.1K。
- 4、康奈尔大学的火箭小组和麻省理工学院的气球小组完成高空观测,获得远红外区3K黑体辐射,
- 5、加州大学伯克利分校的伍迪小组高空气球, 0.25cm—0.06cm波段,得2.99K黑体辐射。 实验结果与理论符合极好



到太空去测量

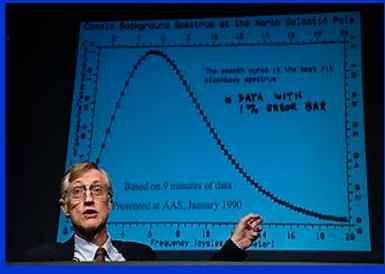
CMB的峰值在1mm处。为了排除地面辐射干扰。 1974年马瑟等建议实施COBE项目到太空去测量CMB。 在COBE项目中马瑟等负责测量CMB的黑体形式,他 精心设计了专用远红外光谱仪;斯穆特在加州大学研 究大爆炸,在COBE中设计了高灵敏微波差分辐射计以 探寻CMB温差的方向性。

1989年11月COBE卫星升空。 1990年1月,马瑟在一次会议上展示了COBE探测到的黑体辐射光谱曲线被证明完全符合黑体辐射特征,对应于2.726K温度(零下270.434℃)。

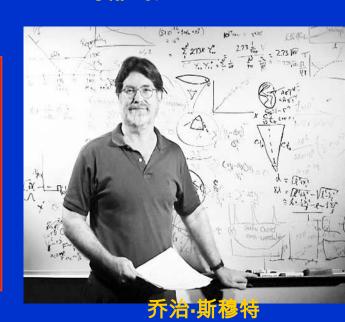
斯穆特则发现了CMB辐射具有各向异性。1992年,他宣布CMB具有十万分之几(0.00003K)的温度扰动,表明宇宙早期辐射存在微小向异性。



瑞典皇家科学院宣布,将2006年诺贝尔物理学奖授予美国科学家约翰·马瑟(John C. Mather)和乔治·斯穆特(George F. Smoot),以表彰他们发现了宇宙微波背景辐射的黑体形式和各向异性。



约翰.马瑟



COBE—COsmic Background Explorer



背景温度的微小起伏

彭齐亚斯和威尔逊发现的 CMB是各向同性的 。

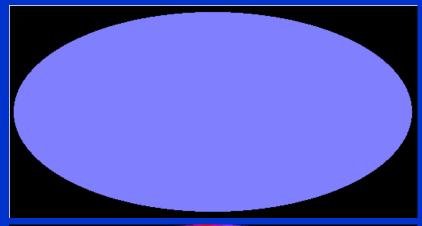
COBE探测到的CMB, 在扣除各向同性本底后,显示 出微小的皱纹——温度起伏。 COBE观测结果

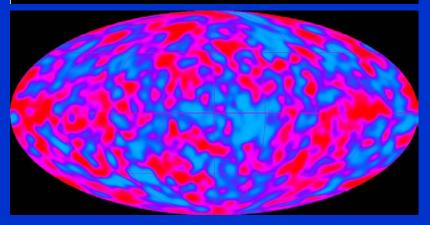
红色:高温蓝色:低温

温度差别为10⁻⁴K

诺贝尔奖评审委员会发布的公报说,马瑟和斯穆特借助美国1989年发射的COBE卫星做出的发现,为有关宇宙起源的大爆炸理论提供了支持,将有助于研究早期宇宙,帮助人们更多地了解恒星和星系的起源。

公报说,他们的工作使宇宙 学进入了**"精确计算**"时代。





公认的理论认为,这个温度起伏起源于宇宙形成初期极小尺度上的量子民主的是人的量子,随着宇宙的暴涨放大到宇宙学师是由于温度的起伏,最终的人员生的人员,是一个人员会的人员,是一个人的各种人。不会有多种人,是一个人的人。



WMAP

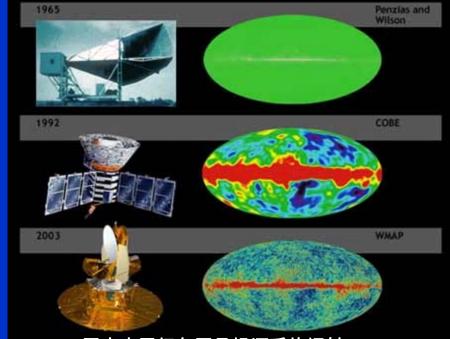
COBE卫星得到的图像分辨率不高,掩盖了很多关键细节。2001年6月新的微波背景探测器WMAP——威尔金森各向微波异性探测器升空。它处于地球外侧(距地球150万km) 绕太阳作轨道飞行。

WMAP的灵敏度与角分辨率分别是 COBE的45倍与33倍,能够探测到CMB的 5x10-6K温差,图像更清晰精细。 由WMAP的五年探测数据得

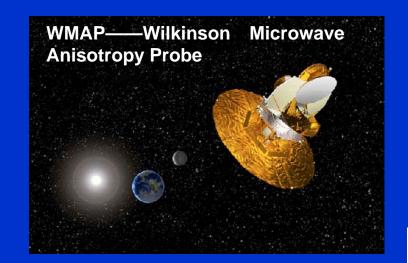
宇宙年龄:137±2亿年。

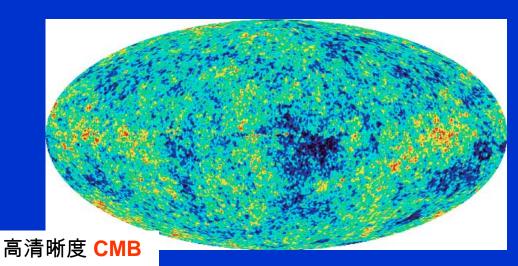
宇宙组成: 重子物质占4.6%,

暗物质占23%, 暗能量占72%。



图中水平红色区是银河系的辐射 在分析时需要扣除。





四、八大宇宙谜团





宇宙年龄——第一谜团

宇宙年龄

根据WMAP测量的数据,测算出大爆炸理论的宇宙的年龄是137±2亿年。因为由哈勃定律知道,星系视向速度V与距离D呈线性关系。

 $V=H_0\times D$

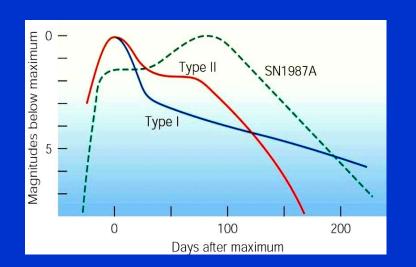
H₀ 为哈勃常数,由WMAP给出宇宙膨胀的哈勃常数为:

H₀=73km/s/Mpc 1 Mpc= 3.26 x10⁶光年,得宇宙的年龄: t = 1/H=137亿年

由大爆炸理论推出的宇宙的年龄与其他方法,例如通过对la型超新星的观测测算所得到的结果相一致的。

天文学认为,la超新星是白矮星爆炸 形成的。该明亮的爆炸事件可作为天文学 家的"标准烛光",用于测量宇宙的膨胀程度。 利用它的光变曲线形状等参数来测的年龄。 白矮星是将近死亡的恒星。白矮星随时间逐渐冷却,成为测量宇宙年龄的理想时钟。借助白矮星估算宇宙年龄,好似通过余烬去推测一团炭火是何时熄灭的。2009年9月,哈勃太空望远镜观测到银河系中一棵最古老的白矮星,位于天蝎星座中名为M4的球状星团中,距地球7000光年。这星团中星的年龄约为120亿至130亿年。

这棵白矮星前身是宇宙中的第一批恒星。可能诞生宇宙的"大爆炸"后不到10亿年。目前这颗白矮星质量是太阳的1.3倍,它现已接近死亡状态。当它的质量增长超过太阳质量的1.4倍时,它将最终爆炸或者崩溃,形成叫做中子星的更密集星体。





物质创生——第二谜团

物质的创生

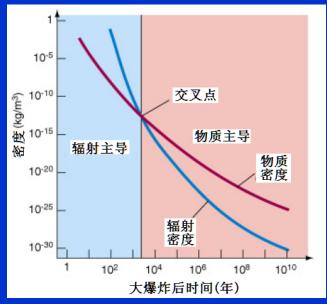
随着宇宙的膨胀,物质与辐射的密度都会随时间减小,但辐射还有红移,所以辐射密度减小得更快。 在大爆炸后数千年,物质与辐射密度发生交叉,宇宙 从辐射主导转变为物质主导。

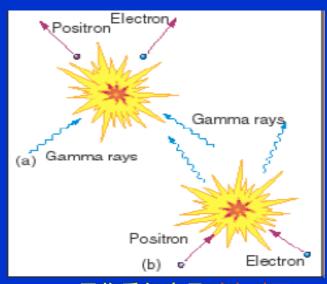
在大爆炸后的极高温度下,宇宙早期是辐射主导的。并且都是高能光子(咖玛光子)。高能光子的相互碰撞产生正负粒子对; $E_{***} = hv$

正负粒子对的相互碰撞使粒子对湮灭,并产生光 子。

如果粒子对产生的速率与它们的湮灭速率相等, 达到热平衡,这时光子、中微子、电子、正电子、中 子、质子等处于热平衡状态。

随着宇宙的膨胀与冷却,由于中子比质子稍重一些,质子转变为中子需要消耗较多能量,比中子转变为质子困难一些。当弱相互作用停止,中子和质子不再大量互相转换时,留下的中子与质子相对数目有一个确定的比值:1/5。正负粒子存在微小的不对称性,绝大部分粒子湮灭,极少量多余的正粒子构成了今天的物质世界。





正反物质与光子对生对灭



核的来历——第三谜团

核合成

通常物质由原子组成,原子由原子核与核外电 子组成,核是怎样来的?

当 $t = 10^2$ s, $T = 10^9$ K时, 宇宙中的可见物质有电子、质子和中子,质子与中子数比为5:1。质子和中子发生剧烈聚合反应,质子与中子结合成氘核

$$p + n \rightarrow D + \gamma$$

氘核与质子结合形成氦核。

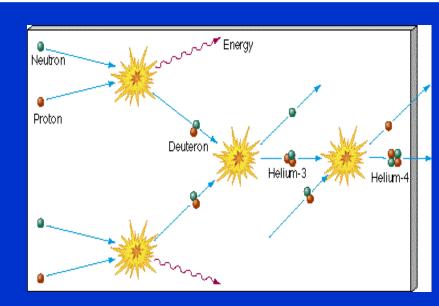
$$D + p \rightarrow^3 He + \gamma$$

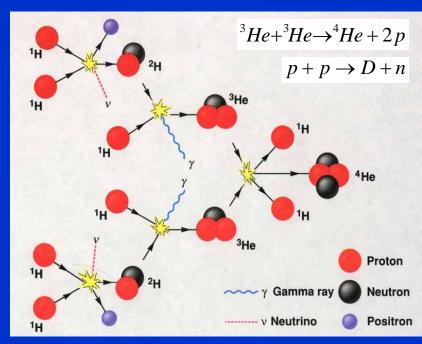
$$^{3}He + D \rightarrow ^{4}He + n$$

但是宇宙的膨胀和冷却,氦核无法通过核反应生成 更重的元素。

上述诸过程可将中子全部消耗完,可见物质中只剩质子、氦核和电子。质子和电子结合为氢原子核。这样最初三分钟约有22-24%的物质形成氦4,剩下的几乎全部是氢,仅有十万分之几是氦3和氘。

最初形成的氢和氦,构成了宇宙中99%以上的物质。形成行星和生命的重元素,只占不到1%,它们大部分是在大爆炸之后很久形成于恒星的内部。







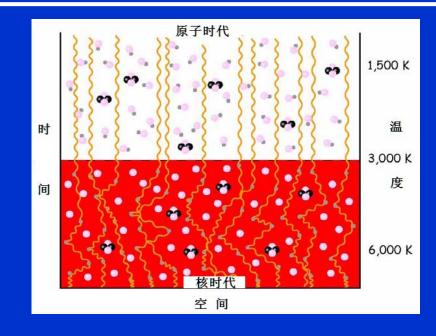
宇宙浑浊到透明——第四谜团

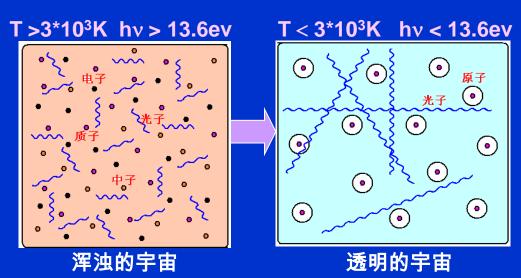
宇宙怎样从浑浊到透明?

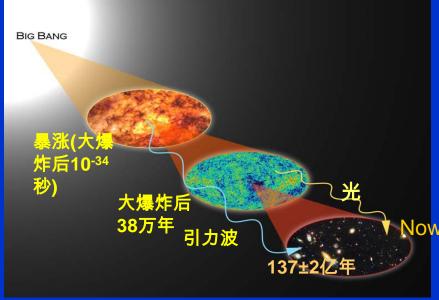
当大爆炸后38万年,温度降至约几千K时, 光子的能量已无法克服原子核与电子间的电磁吸 引力,结果,原子核与电子结合成中性原子。

当*T*≈3000K,宇宙主要由原子、光子和暗物质构成。使得光子可以自由地运动(仅有特定波长的光子被吸收),称为辐射与物质(重子)退耦,宇宙变得透明起来。

由于辐射与物质脱耦后光子可以自由传播,因此,今天所观测到的微波背景辐射(CMB)就是辐射与物质脱耦的最后时期的宇宙辐射。







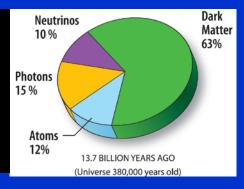


CMB皱纹的来历——第五谜团

宇宙中有暗物质?

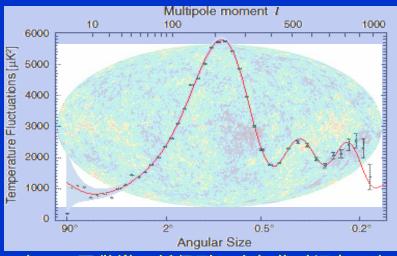
2000年,英国天文学家R.Minchin等在探测 距离地球5千万光年的室女座星系的氢辐射时,发现一个质量为太阳1亿倍的天体(室女座HI21)。它 旋转极快,无法用观察到的氢气量来解释,应由 其它物质(暗物质)的引力来驱动。

WMAP五年探测的结果,大爆炸后38万年得到宇宙组成为重子物质12为%,暗物质63%,光子15%,中微子10%。

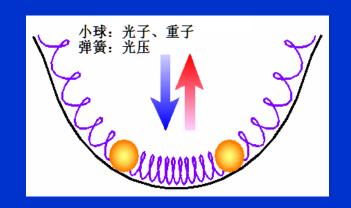


大爆炸后38万年的宇宙已由暗物质主导。暗物质与辐射场间没有耦合,但有引力。它的密度涨落形成引力势阱。在光子和物质解耦前,在引力势作用下,光子-重子掉入引力势阱并被压缩,结果光子温度升高,等离子流体压强增大;增大的压强使流体膨胀,光子温度下降。光子-重子在引力势阱中的运动类似于弹簧上的质点振荡,从而产生声波频率的温度起伏。

当温度下降到光子和物质解耦时刻, 等离子流体中的声学振荡便冻结成CMB 上的皱纹——温度和物质密度功率谱的振 荡特征。



对CMB图做谱分析得到温度起伏对视角分布曲线,视角度1°附近波峰对应CMB上大尺寸斑点。 第2,3峰是基峰的二次与三次谐波。

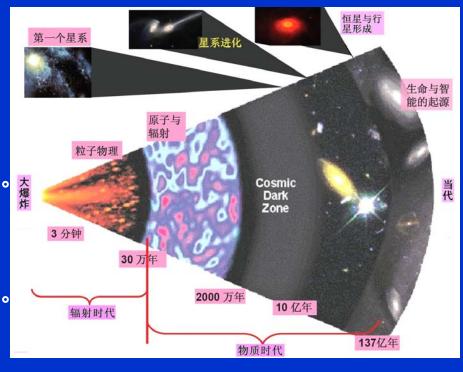




恒星怎样形成——第六谜团

观测表明,宇宙中存在着大量气体和尘埃, 最丰富是氢,但密度每cm³小于一个。在引力作 用下,星际物质很快收缩,在收缩过程中所释放 出的引力能使原物质变热,当温度上升到1000万 度时将产生热核反应。热核反应产生的辐射压力 会阻止物质进一步收缩,当两者达到平衡,一颗 恒星就诞生了。其中暗物质起了至关重要的作用。

第一代恒星可能形成于大爆炸后几百万年时 间。在随后几十亿年间,开始出现最初的星系, 并逐渐形成星系团、超大星系团和大尺度结构。 在很多星系内部,形成恒星的过程是相当快速的。





黑洞把恒星撕裂

在星系形成过程中,许多年轻的星系会受 到与中心黑洞有关的剧烈过程。黑洞会把恒星 撕裂,并把它们变成由热气体组成的围绕其自 身的吸积盘。

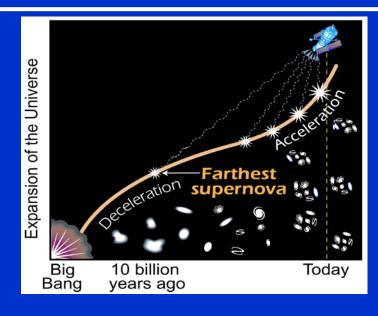
大多数的类星体和活动星系核会随时间逐 渐死去。生命现象会出现星系中,我们的太阳 和太阳系形成得稍晚,大约在45亿年前,这 时银河系已经存在了相当长的一段时间了。

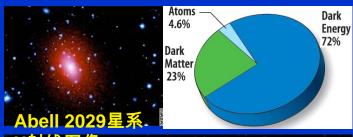


暗能量——第七谜团

宇宙在经历爆涨以后,由于万有引力,按理说膨胀速度将逐步变缓。但是对遥远的超新星所进行的大量观测表明,宇宙在加速膨胀。按引力场方程,加速膨胀的现象说明出宇宙中存在着压强为负的"暗能量"。

NASA钱德拉X射线(Chandra X-ray)太空望远镜,探测了Abell 2029等26个在10~80亿光年不同距离的星系团,通过计算它们内部的炽热气体,从每个星系团里炽热气体与暗物质的比例,了解到宇宙在不同时期的膨胀情形,得出宇宙从60亿年前开始加速扩张结论。







WMAP对CMB完成了精确测量,计算出宇宙中物质的总密度。WMAP数据显示,在宇宙中暗能量占总物质的72%。宇宙所有的普通物质与暗物质加起来大约只占其1/3左右,所以仍有约2/3的短缺。这一短缺的物质称为暗能量,在宇宙空间中几乎均匀分布,其基本特征是负压,抗衡物体间引力。

目前对暗能量的基本看法是它在宇宙形成时已存在,但在星系间近距离时,由于彼此间引力较强,引力的影响远大于暗能量的斥力;当星系间距离随着宇宙膨胀而越来越远,重力影响减弱,宇宙便开始因暗能量的斥力而加速膨胀。



宇宙的未来——第八谜团

1917年Einstein将广义相对论引力场方程应用于宇宙的结构,他发现方程的解是不稳定的,宇宙在膨胀或者收缩。为求引力场方程的均匀的和各向同性的解,Einstein加入一个起斥力作用"宇宙学常数A"

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + \Lambda g_{\mu\nu} = -8\pi G T_{\mu\nu}$$

得到一个静态宇宙模型

1922年,俄国数学家A. Friedman求得不含"宇宙常数"项的引力场方程的通解。

$$\ddot{R} = -\frac{4\pi G}{3}(\rho + 3P)R + \frac{\Lambda}{3}R$$
$$\dot{R}^2 + k = \frac{8\pi G}{3}\rho R^2 + \frac{\Lambda}{3}R^2$$

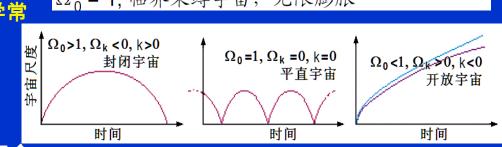
由第2式有

$$H^{2} = (\frac{\dot{R}}{R})^{2} = \frac{8\pi G}{3}\rho + \frac{\Lambda}{3} - \frac{k}{R^{2}}$$

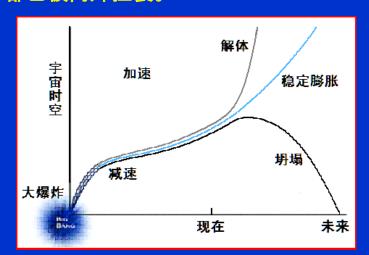
它表示宇宙的膨胀实际上由三项来共同驱动:物质 项、宇宙学常数项和曲率项。可以表示为

$$1 = \Omega_{M} + \Omega_{\Lambda} + \Omega_{k} = \Omega_{0} + \Omega_{k}$$

 $\Omega_0 > 1$, 束缚宇宙,膨胀→收缩 \longrightarrow 热死亡/振荡 $\Omega_0 < 1$, 开放宇宙,无限膨胀 \longrightarrow 冷死亡 $\Omega_0 = 1$, 临界束缚宇宙,无限膨胀



如果暗能量密度是个常数,宇宙将持续加速膨胀,星系群间与星系团间也会越来越远。 但暗能量也有随时间增加的可能,宇宙则会持续加速直到发生解体,那时星系、行星、乃至原子都已被向外扯裂。



结束语

据于爱因斯坦的广义相对论、宇宙膨胀和宇宙背景辐射的天文观测、以及氦与氘丰度之测量,现在多数人认可了我们的宇宙起源于大爆炸。然而在100年前,一个静态永恒的宇宙是人们的共识。那时,根本没有人竟会相信宇宙起源于一团霹雳火球,也不想到元素合成于大爆炸的最初时刻与恒星的内部核心,更想没想过空间的膨胀与物质可能导致空间弯曲。由于存在种种疑团,宇宙大爆炸起源远非今日的科学定论。一些人不喜欢宇宙有起点与终点的结论,提出了其他种种模型:诸如多次爆炸或者振荡循环宇宙理论,认为宇宙将会膨胀——收缩——膨胀——,永远延续下去。相信随着探测手段与技术的进步、科学理论的深化,人类对宇宙的认识也将逐步深入。

Thanks for Attention!