

盘古开天“大爆炸”

郑志鹏 江向东

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

我国有个非常美丽的神话,说的是一个叫盘古氏的人开天辟地的故事.在天地还没有形成的遥远的古代,如今的宇宙在当时是一片混沌,没有上下左右,也没有东南西北,就像个浑圆的鸡蛋.在这个“鸡蛋”的中心,孕育着盘古氏这位天地始祖.他被孕育了1万8千年后,终于像孵化了的小鸡一样破壳而出,手持巨斧开天辟地,劈开了这个混混沌沌的浑圆的东西.劈开的东西有的轻巧而清澈,有的沉重而混浊.轻巧而清澈的东西不断地往上升腾,逐渐形成了高高的蓝天;沉重而混浊的东西不断地往下降落,逐渐形成了广阔的大地.

这个妇孺皆知的古老神话,生动而形象地刻画了宇宙起源的特色:最初有一个蛋状的东西,它的中心慢慢地孕育着生机,一旦生机勃勃,就产生开天辟地的威力.这些原初的东西成分不一样,于是分离、扩散和演化,渐而形成蓝天和大地.把这个神话与当今流行的关于宇宙起源的“大爆炸理论”做个对比之后,我们会为我们祖先的丰富想象力而感慨和自豪.

不是作为神话,而是作为物理学说的“大爆炸理论”,最早是由俄罗斯科学家弗里德曼于1922年提出来的.70多年来,世界上很多科学家,尤其是德西特、勒梅特、爱丁顿、哈勃、伽莫夫、彭齐亚斯、威尔逊、霍金、潘罗斯、古斯和林德等人,为论证和发展这一理论做了大量研究工作,一些天文学和宇宙学的观测资料也为这个理论提供了不少实验依据.因此,大爆炸理论被誉为“标准宇宙学模型”.关于宇宙的起源和演化,大爆炸理论所描绘的究竟是怎样的一幅图景呢?

在宇宙诞生之前,或者说在大爆炸爆发之前,谈论时间怎么样、空间怎么样是毫无意义的.说“那时”是空空如也的“虚空”也好,是混沌昏朦的“幻境”也好,是体积无限小而密度无

限大的“至密状态”也好,都可以说是“无稽之谈”.试想,连“空间”都还没有产生,怎么谈得上虚实、大小和疏密呢?不过,由于人类认识自然有个逐步深化的过程,常出现这样的情况,在某个时候看来好似无稽的东西,到一定时候就可能变得有据可查、可以稽考.因此,我们暂且接受这样一种说法,即在大爆炸之前,有个很小的宇宙蛋,里面装的不是盘古氏,而是密度极大、温度极高的原始物质或者说原初粒子.我们如今所知的任何一种物质形态和任何一种基本粒子,在“那时”都不存在.

在大约150亿年前的“时间零点”,这个宇宙蛋“瞬间”间爆发了激烈无比的大爆炸.此刻的情景想必比神话中的盘古开天还要壮美瑰丽.可惜人类历史是如此短暂,人类语言受经验限制是如此贫乏,所以我们无法勾勒出“创世”时刻那无与伦比的壮伟和新奇.

从“零点”大爆炸开始之后,新生的宇宙就处于急剧膨胀、稀疏和冷却的过程中.据理论推算,在 10^{-43} 秒之后,温度仍高达 10^{32} 度,原初粒子的平均能量达到普朗克标度,即 10^{19} GeV,质量密度高达每立方厘米 10^{88} 吨.这些

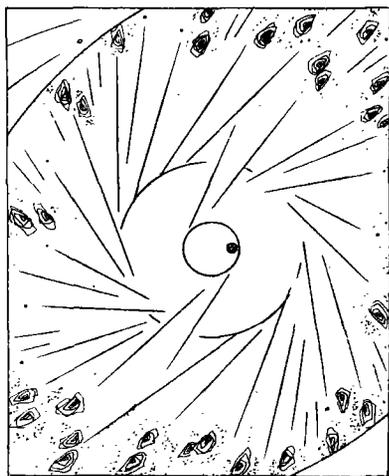


图1 混沌初开

比天文数字还大的大数,对习惯于说“今天气温30度”、“水的密度是每立方厘米1克”的日常话的人来说,显然有些别扭,但从这些标度(或说尺度)的变化中,可以定量地了解一些宇宙演化的过程和状态.

如今的宇宙虽然也在不断地膨胀着,但变化速度是很缓慢的,我们甚至感觉不到日月星辰有丝毫变化.而在宇宙初生的时刻,膨胀是急剧而迅速的,哪怕在亿分之一秒内,都有着令人惊讶的巨变.距“零点” 10^{-35} 秒,温度下降到 10^{28} 度,原初粒子的平均能量,降到如今说的电磁力、弱力和强力这三种自然力的大统一标度,即 10^{15} GeV.这时的宇宙有多大呢?据大爆炸理论推算其尺度应该接近1分米,可是,这一结果却与爱因斯坦提出的光速极值定理不协调.即使按光速每秒30万千米膨胀,在这样短的时间内也只能到 10^{-24} 厘米的量级.于是,科学家们设想了新的“暴胀”模式来取代旧的膨胀模式.在新模式中,在同样短的时间内,宇宙的空间尺度“一下子”暴胀到足够大的规模,而暴胀所需要的能量是从“真空态”吸取的.

真空态是能量的最低态,怎么能给宇宙做能源呢?暴胀说认为,随着宇宙的膨胀和降温,就像水从蒸汽变成液体再变成冰块的相变一样,真空态也发生一系列的相变,不同的相对应不同的能量最低态.因此,当真空态从高温相转变到低温相时,就会释放出大量的能量,以供宇宙暴胀之用.到此刻为止的宇宙极早的初态,暴胀说讲的与最初的大爆炸理论讲的不一样.而对此刻之后的宇宙演化过程的描述,二者的预言是一致的.科学的最终目的是建立一个单一的理论来描述整个宇宙.而事实上,想一次就能得到一个好的宇宙理论是非常困难的.

在零点后 10^{-10} 秒,温度降到了 10^{15} 度.从零点到此刻,随着不同阶段的真空相变,原始统一的自然力按先后顺序逐段分化为量子引力、强力、电磁力和弱力.这些自然力不仅有着强度之分,而且制约着不同的反应过程,正是它们的分化,促成了宇宙演化成一个丰富多彩的世界.

根据粒子物理学推算,这个阶段也是原初粒子形成一种叫做“夸克-胶子等离子体”的物质,再由这种夸克物质聚合成质子和中子等强子的过渡时期.相应地,粒子的平均能量也从普朗克标度降到大统一标度,再降到100GeV以下,即电磁力和弱力的统一标度以下.

当宇宙年龄渐而长到 10^{-6} 秒、 10^{-3} 秒和1秒时,宇宙的温度也先后降到 10^{12} 度、 10^{11} 度和 10^{10} 度,粒子的平均能量也相应地降到100MeV、10MeV和1MeV.在这个阶段的宇宙舞台上,是今天高能物理学的一些老相识在那里演主角,例如质子、中子、电子、缪子、中微子和光子等粒子及其反粒子.它们处在一种“热平衡”状态之下,混合而成“宇宙汤”.



图2 原初物质

到了最初3分钟的历史转折时刻,温度约摸10亿度,粒子的平均能量为0.1MeV.刚才那种平衡状态已不是电磁力和弱力所能维持得了的.中子开始不满足于那种自行衰变的不稳定状态,于是借助核力与质子合为一体,结成了有史以来第一种复合原子核——氘核(只含1个质子和1个中子).紧接着,这些氘核又两两相聚,合成含有2个质子和2个中子的氦核.从而开启了宇宙演化史上核合成的序幕.

从最初3分钟到大约70万年,宇宙温度从10亿度降到了3千度,粒子的平均能量也从10

万电子伏降到了 0.1 电子伏。在核合成时期处于游离状态的核离子和电子,从此时起开始复合成一个个稳定的不带电的原子。随着宇宙的膨胀,光辐射的温度虽然不断下降,但其辐射强度随波长的分布始终服从普朗克分布并保持总体均匀性。按伽莫夫等人的计算,作为这种过程的遗迹,目前的宇宙中应普遍存在温度约 5K 的背景黑体辐射。因峰值波长处于微波波段,故又称微波背景辐射。1964 年,美国科学家彭齐亚斯和威尔逊,用一架卫星通讯天线探测到了这种辐射(即 2.76K 或零下 270.39 度的微波背景辐射)。他们因此荣获 1978 年诺贝尔物理学奖。



图3 粒子主宰宇宙

原子的复合过程大约经历了 20 亿年。这以后,在万有引力的作用下,原子逐渐凝聚为原星系和星系集团。同时,原星系又有自行分裂的,从而形成千千万万个恒星。恒星靠热核反应燃烧自身以维持其光和热,并在燃烧过程中合成碳、氧、硅、铁等这些在早期宇宙条件下不能产生的重元素。在恒星的产生、消亡和演化过程中,又形成从小行星到大行星的形形色色的天体。我们的地球,大约是在 47 亿年前形成的。

较之盘古开天的故事,大爆炸理论中也有些很玄妙的甚至难以置信的东西。那么,我们凭什么更相信“大爆炸”一说呢?这是因为已经发现一些实验证据支持大爆炸理论。例如,1929 年,美国天文学家哈勃用望远镜观测了十

几亿光年范围内的星系,发现河外星系正以每秒几百或几千千米的速度退离地球,这表明宇宙乃是个不断膨胀着的东西。哈勃从河外星系的谱线普遍向光谱红端移动这一事实出发,用可靠的观测资料证明了星系的“退行速度”与离开我们的距离成正比。这个规律叫做哈勃定律,它为“大爆炸”理论提供了直接依据。再者,对宇宙中氦元素丰度(即与氢的含量的比例)的观测结果,也有力地支持了“大爆炸”。因为该理论预言,当几乎所有的中子都与质子结合成氦核时,氦的质量应占宇宙总质量的 28% 左右。由于少许自由中子在氦核合成时仍继续衰变为质子,故而使得氦的实际含量略微减少,其丰度变为 25% 左右。根据当代天文学的实际观测,得知恒星和星系的原始氦丰度果然与预言一致。此外,如上所述,宇宙微波背景辐射的观测资料,也与大爆炸理论的预言相符。



图4 天体的形成

宇宙的演化史,乃是一个恒久的研究课题。宇宙早期的情况竟与粒子物理的关系如此密切,以致那里成了宇宙学和粒子物理的结合点。宇宙学可以借助粒子物理理论来解释宇宙现象,而粒子物理学则既可以把广漠的天宇作为天然实验室,又可以在实验室中去模拟宇宙大爆炸的“瞬间”。例如,美国即将运行的相对论性重离子对撞机(RHIC)就是想创造一个类似于当时的极高温条件,希望找到“夸克-胶子等离子体”物质。真是名副其实的“两极相通”。就像追溯宏观天宇的辽远一样,微观奥秘的深邃,也同样激发诸如“盘古开天”的畅想!

(插图 张树梓)