

天体物理学研究的进展

Progress in the Astrophysics Research

朱世昌

(上海师范大学,教授 上海 200234)

天体物理学是 20 世纪物理学中发展飞快、意义深远的领域之一,正在完成人类文明史中最艰巨、最宏伟的一个篇章,大大扩展了人类对宇宙的认识。

人类对天体的认识首先必须借助于观测,也就是依赖于观测技术的进步。随着天文观测工具的发展,今天的光学望远镜已发展到了 5 米级。我国北京天文台兴隆站也拥有远东最大的达 2.16 米口径的望远镜。目前各先进国家正纷纷建造新一代 10 米级望远镜,其中最大的到 16 米。在地球上进行观测,由于隔着大气层,只有两个“窗口”可供使用,即“光学窗口”和“射电窗口”。如果说“光学窗口”在 17 世纪就已被打开的话,那么“射电窗口”直到本世纪 30 年代才被打开,今天的精密射电望远镜系统,有效口径已达 100 米以上,分辨天体的能力达万分之几弧秒。大气层外的天文观测从 50 年代的高空气球和探空火箭开始发展到天文卫星。近年航天飞机投放的哈勃太空望远镜,其视野已扩及到 140 亿光年处,最近发射的一台 16 吨 X 射线探测器,可探测太空中的暗物质。

本世纪天体物理学中最引人注目的发展是宇宙学。今天,无论在观测上,还是在理论上,已形成了一门新学科——现代宇宙学。近 30 年来,基本粒子的研究成果为原始宇宙大爆炸的最初几分钟过程提供了有根据的推测,直到细节的设想描述。早期宇宙这个高温、高压、等离子体的熔炉的运动过程本来就属于高能物理的研究范畴。在温度 10^{11}K 、能量高达 10^{19} 吉电子伏时,由夸克、轻子、规范玻色子和 Higgs 粒子组成的等离子体,其各种基本相互作用是统一的,即满足超统一理论条件。随着宇宙的膨胀和降温,一系列的自发对称破缺相变发生,在约 10^{28}K 和 $10^{14}\sim 10^{16}$ 吉电子伏时,相变发生后可以区别强作用和弱电作用,随后降温到 10^{16}K ,能量为几百吉电子伏时,弱电相变发生,弱作用和电磁作用可区分。当降至 10^{12}K 、能量为几个吉电子伏,

约 10 秒时,手征对称破缺,夸克态至强子相变发生,强子和几个介子开始被合成。然后从 10^6 秒至几分钟,氧、氢和钾等轻核元素合成。至此原始大爆炸过程完成。

今天,人类在大型粒子加速器中加速粒子的能量只在 10^4 吉电子伏以下,把能量再提高 1~2 个数量级已十分困难,因此今天人类对早期宇宙物理过程的认识也仅限于这一水平。人类对早期宇宙在 10^{-4} 秒后的认识已在高能实验室中得到了证实,至于早于这一时期的早期宇宙,人类的认识仅停留在理论预言上。目前尚无法在高能实验室中得到证实。然而,宇宙这个大熔炉可被看作是基本粒子和核物理研究的“热”实验室或最佳实验室。

对于“甚早期宇宙”,即从被称为宇宙创生期(约 10^{-4} 秒)的普朗克时代后的短暂时期,众多的理论性探索正在进行,例如量子引力、超弦理论、高维理论、超对称超引力理论,等等,虽然也进行了不少有益的探索,但至今它们对早期宇宙的描述总还存在不少问题和矛盾。这些理论须经得起宇宙学观测的检验,例如平坦性问题、磁单极问题、巨大的熵增加问题、重子数不对称问题,等等。

按照目前的观点,在宇宙诞生之初,物质是均匀分布的。这些物质怎样开始聚集起来形成恒星、星系和星系群?这是一长期来难以圆满解决的所谓“星系形成”问题。一般的设想是,宇宙的膨胀降温过程的某一阶段会出现局部密度不均匀处,由于粒子间的万有引力使它们逐步聚集起来成团、运动、最后凝集成恒星、星系和星系群。不久前,美国发射的“宇宙背景探测器”航天器已在宇宙边缘附近发现了巨大的物质波纹,这被认为是找到了“星系形成”的宇宙学证据。然而,作为星系形成的理论,还必须回答不同形态的星系(旋涡、椭圆、不规则)结构上差异的起因问题,这仍是一个尚待深入研究的基本问题。随着超大型计算机的出现,今天已初步具备了在计算机中模拟这种星系形成过程的条件,

即成千上百万个单体如何在引力相互作用下演化、凝聚、成团,以及它们的运动规律,这无疑为“星系形成”问题的解决提供了有力的推动。

60年代类星体的发现成为现代宇宙学的柱石之一。它提供了早期宇宙重子物质的行为。自从1950年剑桥大学发表第一张射电源表后,为射电源研究揭开了序幕。天文学家逐渐查明在这些射电源中包含了一类红移很大的天体。这类天体看上去就象普通的恒星,但其光谱却具有许多强而宽的发射线,这类天体被命名为类星体。根据哈勃定律,红移的大小正比于天体的距离,在目前已知的所有天体中,类星体的红移最大,所以类星体便代表了人们认为是最大的宇宙尺度。随着被发现的类星体个数的增加,其红移值不断地被刷新,1973年发现的类星体Q172,其红移达3.54,这项记录保持了11年,到1984年,发现了红移3.84的类星体,1986年此项记录首次突破4。80年代末,天文学家从分析已知高红移类星体光谱能量分布的形状出发,找到了类星体在颜色上的特征,这样就便于从多种颜色的色指数空间中将高红移类星体与其它天体分离出来。随着观测技术的改进,进入90年代,已成功地发现了21个红移大于4的类星体,其中最高红移为4.90。这就是说,在地球静止实验里氢原子的莱曼 α 的波长为1216埃的话,在类星体的光谱里波长变成了7162埃。按照哈勃定律,高红移意味着星体高速离我们而去。4.90红移就意味着该类星体以95%的光速离去,它发出光的时刻是在宇宙年龄刚刚是现在年龄的5%的早期年代,而直到今天才到达地球。

类星体的最大红移有没有极限?答案是肯定会有。事实上,红移为4左右起,宇宙演化中的物质就从均匀分布向成团分布过渡,星系极的天体开始形成。再从观测来说,距离太远的地方,宇宙中尘埃物质的消光效应会严重影响对暗弱类星体的观测,所以,目前一般认为,类星体的最大红移值难以超过5。

高红移的类星体是当代天体物理的前沿课题,也是一直困扰天体物理学家的一大难题。那么,类星体究竟是什么天体?从分析类星体的光谱特征发现,类星体和一些活动星系有许多相似之处。最近几年,又观测发现了一些新的论据,特别是美国天文学家欧克和包罗逊用5米望远镜观测到了3C—48周围存在着暗云,其红移值和类星体一致,这表明类星体及其周围的云不是偶然的重合,而是组成一体的,象普通星系一样具有一定的结构。于是可以作出如下的猜测:类星体是活动星系的核心,或称活动星系核。根据推算,一个类星体发出的辐射能将超过整个银河系发出能量的1000倍至 10^{18} 倍。如此巨大的能量辐射是怎样提供的?从当今已

知的物理模型来看,很少有其它选择的余地,只能推测其核心应该是一个黑洞。黑洞的四周被各种气体层层包围着,我们所观测到的辐射正是从这些气体发出的。类星体要产生如此巨大的辐射就必须有很大质量的黑洞源,根据一般估计,其质量在 $10^8 \sim 10^{12}$ 个太阳质量,这也就是其核心黑洞的质量。一个较小类星体的半径约为太阳的几百倍,黑洞周围吸积的云状物质将不断被核心“吞噬”掉,这些物质在掉进黑洞之前发射的光恰被我们观测到了。根据测算,黑洞每年最少也要“吞噬”掉十几个太阳质量的物质,这是一笔很大的“能量预算”,这成了困扰物理学家的一个尖端难题。于是,一些科学家认为应该重新考虑类星体的红移本质。他们认为,类星体红移不是宇宙学红移,不能根据哈勃定律的红移来测算距离,以至测算出的辐射过分巨大,于是提出了非宇宙学红移而是内禀红移的假设,他们认为这种红移和距离无关,这就解决了“能量预算”问题。但这种内禀性红移又是什么红移?目前的假设有几种,如引力红移、光子“老化”,以及星系中“喷出”类星体等。然而,所有这些解释仍存在着种种困难。所以目前多数科学家仍坚持宇宙学红移的观点,因为有观测事实为依据。至于“能量预算”的难题,目前物理学家尚未找到如此大的产能机制来作出相应的回答。

现代天体物理学是以整个物理学的各个领域为其基础的,作为天体动力学基础的引力理论也经历了漫长的发展道路,从牛顿引力定律开始,至今人们先后提出的引力理论不下几十种。然而,经得起实验长期检验的唯有广义相对论。广义相对论在物理学理论中堪称优美之极,特别在60年代以来引起了广泛的重视。随着天体物理一系列的新发现,如中子星、黑洞、引力波、大爆炸宇宙的发展,广义相对论已成为必不可少的基础学科,并以它为基石建起了宏伟的理论体系。然而广义相对论自身仍存在着不少基本困难,例如“奇点”困难、引力量子理论不可重整的困难,以满足守恒定律的协变方式去定义能量、动量、张量的尝试均告失败,还有“对钟”困难,“测量”问题,等等。这些基本困难能否在现有的理论框架内加以解决,抑或理论本身还有不可克服的内在矛盾,目前尚不清楚。有不少物理学家仍在现有的理论框架内寻找解决困难的办法,例如对能—动张量的定义进行了不少尝试。当然,也有人认为引力几何化最终不是成功之途径,而应另辟它途,寻找一个相对论性的引力理论。不论是前者还是后者,目前的争论还很尖锐。

在此短文中,不能也无法概括当代天体物理学的成就和悬而未决的所有课题。这里只是提出笔者的一些粗浅的看法,供读者参考。

(责任编辑 宋义荣)