

# 天文物理和宇宙学现状简介

勾亮

(中国科学院高能物理研究所 北京 100039)

关于宇宙和我们人类所在的太阳系结构问题,是人类文化历史中最古老的课题之一。这些问题的科学研究,也就是天文学,推动了物理学的发展,并且对哲学也产生了巨大的影响。今天,天文学已成为物理学不可分割的组成部分,研究它的目的是为了认识宇宙以及构成它的所有宏观部分的形成和发展。这就需要把经验研究,就是观测和实验,与理论研究结合起来,这样就使天文学必然与许多物理领域产生必不可少的联系,特别是与粒子物理、原子核物理、原子物理和等离子物理的联系。然而,近几年宇宙化学和生物天文学也正在得到重视。

根据我们现在的认识,宇宙是在大约 150 亿年以前的大爆炸形成的,并且自那以后一直在膨胀。银河系,10 亿个星系之一,它形成于 100 亿年以前;太阳,我们这个螺旋星系中的 2000 亿颗恒星之一,它是在 45 亿年以前由气体云和尘埃在它自己的引力作用下凝聚成的。对地矿石和陨石中常常出现的某些放射性元素分析表明,它们的年龄是相同的。虽然我们几千年的天文经验同这些时间跨度相比是非常短暂的,但是,大量的可观测的恒星和各种年龄的星系的存在,使我们可以研究宇宙的发展过程以及认识它的一些关系。

近 10 年来,使用现代的地面站和空间望远镜,已经获得了大量惊人的发现。最近,我们的观测区域已经达到了 120 亿 ~ 130 亿光年,这样,我们可观测的宇宙就大约是它全部发展历史的 90%。为此,人们已经使用了从无线电长波直到 X 射线短波和伽马射线全部电磁谱,而这些不同能区的电磁谱提供了不同类型的信息。例如,红外光可说明恒星是如何形成的,可见光可显现出恒星核燃烧的各种状态,而无线电波、X 射线和伽马射线波段可揭示出恒星发展结束时的各种现象——超新星、脉冲星、中子星和黑洞。

为了说明天文学和宇宙学发展现状并概述它们的可能未来发展,我们按照宇宙大尺度结构各个部分的宏观尺度,根据现代天文研究中的大量发现和观测结果,分别介绍非太阳行星系的发现、恒星的毁

灭、星系世界以及大爆炸与大尺度结构的现状和前沿问题,最后,我们简单阐述一下发展这些研究的技术和社会意义。

## 其他行星系的发现

对许多人来讲,天文学中最令人激动的问题是:除了太阳系以外是否还存在其他行星系?宇宙中还有任何其他地方存在生命吗?这两个问题显然是相关联的。在 1992 年发现了头三个类地球行星,它们是围绕年龄为 10 亿年,脉冲周期为 1%秒的中子星运行的。由于中子星诞生于超新星爆炸,这个发现就提出几个问题:这个行星是从产生中子星的超新星里逃生出来的,还是后来落入轨道的吗?或者,它们形成于超新星喷射物,是后来“返回”的吗?在这些行星上肯定不会有生命存在,作为生命存在的条件,脉冲星附近环境在各方面都是敌视生命的。

作为正常恒星附近发现的第一个非太阳行星的先导,首先是对“棕矮星”(brown dwarfs)的探测。根据这些天体的质量和物理性质,它们是位于恒星和行星之间。棕矮星是作为一个单独自由飞行的天体和正常恒星的伴星被发现的。令人惊奇的是,这个年龄小于几百万年的年轻的棕矮星也发射 X 射线。

在 1995 年,天文学家马尧(Mayor)和奎劳兹(Queloz)在类太阳恒星 51Peg 附近发现了一个木星大小的行星。从那以后,光是大质量(0.3 ~ 10 个木星质量)行星,知道它的数目已经增加到几打。他们一般是通过探测中心恒星的谱线(对脉冲星用脉冲周期)来测量行星和中心恒星相对于它们共同质量中心运动产生的多普勒效应。在这种情况下,观测到了由类木星伴星引起的中心恒星的一些微小暗化。然而,测量的精度还不足以测量到位于正常恒星附近的地球大小的行星。由于光亮的恒星总能使灰暗的伴随者黯然失色,所以现在还不能直接观测到这些行星。在以后的几年里,随着大家所期望的观测技术的重大改进,这种情况可能会有所改变。望远镜尺度的增加,以及应用适当的光学干涉方法,将改进光谱的分辨率和望远镜的反差。

对大多数人来讲,更关心、更刺激的问题是,是否还存在星外生命的问题?从经验证据角度看,这还是个完全没解决的问题。对火星陨石分析没得到任何生命存在的证据。虽然接近火星的空间探测拍摄到的显示水腐蚀信号的火星照片(水是生命可能

存在的必要条件);但是,美国安装在火星上的地面探测器没发现任何生命存在的迹象。直到现在,通过巨大投入对来自深层空间的射电信息的研究也得到了负的结果。然而,还有许多支持宇宙某些地方可能存在生命的讨论。宇宙中数不清的恒星(接近 $10^{22}$ ),使我们有理由期望这些恒星中有许多可能存在的伴星,这些伴星表面的条件有可能允许有机生命进化。射电天文学已经探测到了大量的星际空间的有机分子,直到现在,已经识别出总数大约为120种不同的分子,他们的质量谱范围可从甲烷、甲酸直到乙醇(可饮的)和更广阔的区域。而且,在地球深海的火山口发现了奇异的生命形式,它们不会从太阳光吸收能量,而只能从化学反应中吸取能量,它也可能有类似植物的进化,最终还可进化为动物。这是生命存活和进化条件可能放宽的征兆。显然,未来10年生物天文学领域的研究将经历一个发展热潮。

### 恒星的毁灭

恒星是星际空间气体云和尘埃在它们的引力作用下凝聚而成的。如果这种形式的质量大于太阳质量的7%,它将继续凝聚并在中心触发核聚变,并因而停止收缩。低质量恒星的核燃烧状态将持续几十亿年。但是,高质量恒星只需几百万年就将结束核燃烧。一旦核燃烧结束,恒星必定再收缩。按照它们的质量,它们燃烧尽的核可转变成白矮星、中子星或者黑洞。低质量恒星将相对缓慢地、平稳地最终演变为白矮星。而高质量恒星通过引力只需几分之一秒就将坍塌成为中子星或者黑洞。在这个过程中,恒星外壳在超新星爆炸时被抛出,而参与核聚变过程的物质转变为星际气体,而后它们又可凝聚成新的恒星。正像我们今天所知道的,所有化学元素和它们的同元素都来源于宇宙。氢和氦产生于大爆炸,铁、钴、镍这些较重元素是在恒星里通过核聚变生成的。即使更重的元素,如金和铀,是在超新星爆炸的核合成中生成的,其中主要包含中子被原子核快速捕获的过程。从太阳系和地球上的丰度可以得出结论,我们人类是由经过恒星几次核聚变熔炼出的物质做成的。

白矮星是地球大小的超密度恒星。按照量子力学泡利不相容定律形成封闭结构产生的电子压强阻止了白矮星自己的引力引起的坍塌。与此不同,中子星的物质与恒星尺度的原子核不同,它的中心密度比正常原子核大5~6倍,由于它的体积非常小

(接近20千米),长时间以来人们认为它是不可观测的,这就是为什么俄国科学家朗道1933年命名它为“鬼星”(weird stars)的道理。在1967年发现辐射电脉冲之后不久,这种脉冲就成为中子星存在的证据。然而,它并没有传给我们来自遥远距离的文明信息,而是转动中子星带有磁性的信号。根据 $1\% \sim 1$ 秒的转动周期和几十亿高斯(也就是地磁场的10亿倍)的磁场强度的大小。脉冲星相当于一个巨大的电动机,同时它也是个非常有效的粒子加速器。它像光子场仓库那样不断产生脉冲信号,而这些脉冲是些可发射全频谱的光辐射束。周期为千分之几秒的脉冲比在德国布兰斯威克的物理和技术联合研究所的原子钟更精确。在两个快速转动的天体组成的双星系统里,拉赛尔·赫尔斯和约瑟夫·泰勒根据轨道周期的变化,测到了引力波的发射和广义相对论的其他效应,他们因此获得了1993年诺贝尔奖。

在1970年,用US 'Uhuru' X射线卫星对双星系统做的测量,测到了几个光亮的中子星的X射线源,这些射线源是落入中子星的物质产生的。比地球大10亿倍的强大引力场把落入火星上的物质加速到非常高的速度,其大小约为光速的 $1/3$ 。当这些物质打到中子星表面时,就形成能发射X射线的非常热的等离子体。这个过程产生的能量大约比核聚变的大25倍。中子星的强大的磁场常常为落入的物质打开通向中子星两极的通道,在极点形成强烈的X射线源。在海洛利斯X-1中子星上,这种强辐射点的面积或许不会比1平方千米大。然而,由于它具有1亿度的高温,使得它辐射的能量能像5000个太阳那样大。半径为1%毫米的面积在1分钟内辐射的能量可能等于德国全部主要能量需求。在1976年,根据这个恒星的X射线谱,德国研究组首先确定了中子星的磁场,测得的结果是50亿高斯。这种中子星极顶对于物理学是非常有趣的,因为这里的物理条件是地球实验室所达不到的。

当中子星在超新星爆炸中产生时,它还处在非常热的状态,即使在100万年以后它们还约有100万度。然而,对于这样的高温,与上面描述的辐射相比,单个中子星发射的X射线还是非常弱的。只是在最近几年,用德国ROSAT X射线卫星才可以探测到来自单个中子星热表面的这种光球辐射。

黑洞的引力是非常强的,以至于没有什么东西能逃离它的吸引,即使是光也不能逃脱它的巨大引力吸引。虽然按照广义相对论,黑洞的巨大引力能

够使光在距它不远处通过时产生偏离——这刚好像个透镜,但是由于这个引力透镜太小,很难观测到这个效应。因此,孤立的黑洞实际上是不可观测的。然而,当物质被拉进黑洞时,黑洞就变为可观测的了。被拉进的物质可达到非常高的速度,由于摩擦生热,因而,这些物质可达到很高的温度,以至于可发射很强的 X 射线。在我们银河系里的双星系统里,我们现在知道,大约有 10 个黑洞。根据它们的巨大质量(约 10 个太阳质量),它们的 X 射线谱和它们辐射强度的剧烈涨落,人们能识别出它们。在过去 10 年里,用射电望远镜在其中的一些射线源中发现了一种称之为喷流的现象。它们是高度准直的几乎以光速飞行的物质流。由于这些喷流显示出的性质与类星体喷流非常类似,这些银河黑洞也被称为微类星体。

### 星系世界

像我们银河系那样的螺旋星系和安德洛墨达星云,作为原初银河气体云引力坍塌的结果,可能形成于宇宙膨胀的早期。恒星的形成仍然发生在螺旋星系里。与此不同,由于可凝聚的气体已经耗尽,新恒星形成的问题还处于难以名状的状态,而“椭圆”星系消失在银河碰撞期间,或者消失在星系团的星系里,它是在穿过星系团热等离子体的运动中消失的。

星系的形成和这些巨大星系系统的发展的问题,对于我们来说还是个谜。然而,在宇宙结构形成中,银河碰撞和短距离的引力作用显然起到关键作用。在这些过程中不仅有质量交换(银河相互吞噬),而且触发恒星的形成(恒星突现)。此外,大量物质还涌向位于星系中心的超重黑洞,以至于使它持续发光。

这种星系中心的活动特别有趣。它们所呈现的最极端的形式就是类星体,它们是在 20 世纪 50 年代被发现的,这是借助于射电天文学根据它的红移识别出的宇宙学距离的天体。今天已知测到的最大的红移是  $z = 5.8$ ,这大约相当于 130 亿光年的距离。类星体发射的巨大能量可能超过我们银河系辐射能量的 1000 倍,类星体辐射通常分布在从红外到可见光和 X 射线广大频谱范围。其中的一些射线源称为光辉星(blazars),它也发射无线电波和伽马射线。当这些辐射按周或月变化时,就是光周最亮或光月最亮,实际的辐射源一定有个相应地小空间范围(因果律的原因)。这些射电源的另一个特征是上面注意到的喷流现象。射电观测显示,这些持续喷出的

喷流都沿同一个方向,大概是沿着中心天体转动轴方向。

过去 20 年的研究越来越清楚地表明,射电星系、塞福特(Seyfert)星系和其他活动星系都显示出和类星体相同的现象,但它们是在不同尺度上。它们都能从很小区域发射出远远超过核聚变所产生的巨大辐射能量。这些能量的唯一来源是落入黑洞物质的引力能量的释放。然而,为了吞噬必需的物质质量以产生如此巨大的引力能的释放,黑洞必须具有 1 百万~10 亿个太阳的质量。为了确保它的能量释放需求,光亮的类星体每秒大约需要 1 个地球的质量。对于落入黑洞的物质一般还要加上角动量,说明黑洞还有转动。关于这种超重黑洞这些假设被各种观测事实所支持。例如,在我们银河系中心已经观测到了具有 26 亿个太阳质量的黑洞。然而,正像它的非常弱的 X 射线所表明的那样,这个黑洞正在挨饿。一个德国小组已设法识别到它,他们是用高分辨率红外望远镜去分析许多恒星围绕星系中心的开普勒运动。中心黑洞存在的特定证据已经在其他正常星系中找到。所有的螺旋星系和椭圆星系的中心都可能存在超重黑洞,与活动星系惟一不同的是,在观测时这些黑洞已吞噬不到任何物质。

在许多宇宙辐射源里,包括类星体,实际上,它们的高温已把铁原子完全电离。特别重要的是,铁的谱线已被电离了 25 次,这就是说,铁原子核的外电子层只有一个电子。这些谱线是在 X 射线区,并被用来决定各个辐射源里铁的丰度。这种铁的谱线的特征说明,这个辐射来源于紧挨黑洞的邻近地方,这是日本 ASCA X 射线卫星在一些类星体里观测到的结果。围绕黑洞转动的称为吸积盘里的物质的速度可与光速相比。来自这个区域辐射的铁的谱线经历一个较大的多普勒移动,这是由于它接近黑洞而产生的引力红移。未来的 X 射线卫星将提供决定黑洞邻近空间曲率的机会,并通过 X 射线谱测量它的角动量。

在概述类星体的基础上,我们已经多次了解了大约在大爆炸之后 20 亿年宇宙早期这些天体活动高峰的情况。因而,这个食物丰富的超重黑洞在这个时候它必须存在。在察看深度空间时,也就是用长曝光时间观察深度空间,ROSAT 在每天方度测到了大约 1000 个弱 X 射线源,其中大部分是借助于光谱学识别出的类星体。这些是与所有天空 X 射线本底辐射密切相关的 X 射线源,它们是从深层空间

到达我们这里的,关于这些性质的解释,对于我们来说在很长时间里还是个谜。超重黑洞是否在星系中心形成和成长,它们是否在星系之前形成,而后就成为星系的凝聚核,现在还不清楚。未来大型望远镜,使得光子天文学提高到能测量大约  $z = 10$  的红移是可能的,这就远远大于  $z = 6$  的现在极限。在光谱区,8~10米镜头地面望远镜和下一代空间望远镜(NCST,NASA,ESA)将首先起到重要的作用。在远红外区的远红外空间望远镜(FIRST,ESA)和在X射线区的XEUS(X射线演化宇宙卫星,ESA)也将被用来研究银河形成的早期阶段。

### 大爆炸和大尺度结构

在某种意义上讲,大爆炸理论是原初物理观念的现代阐述。按照这个理论,我们的宇宙开始时是非常小、非常密、非常热的,而且此后它就一直在膨胀。对星系和类星体退行速度的测量表明,宇宙膨胀大约开始于150亿年以前。早在20世纪50年代,乔治·伽莫就已经提出,氢和氦的同位素是在大爆炸头几分钟生成的。从这点出发,他计算了那时这个火球的温度,并预言今天的宇宙必须完全被黑体辐射填充,随着宇宙的膨胀和红移,使得它冷却到了今天的几K。现代宇宙学的最伟大的胜利之一是在1965年取得的,当时,阿诺·彭则斯和罗伯特·威尔逊根据他们用宇宙本底测量器(COBE,NASA)所作的最后精确测量,发现现在的本底辐射温度是2.726K。而这种本底辐射的微小的各相不同性约只有十万分之一,这种各向不同性反映了在大爆炸之后约30万年时的早期宇宙物质的密度涨落。在那个时候,当电子和质子可以结合起来形成氢原子时,宇宙对于光子透明的。这是现在通过观测可认识的宇宙最早阶段。光子天文学不能超过红移为  $z = 1000$  的极限。也许引力波天文学能成功地观测到更早期宇宙。虽然COBE卫星只能测量到的涨落约为7度张角,而最近气球的测量,已经能测到更小标度的微波本底辐射密度涨落。用这种方法,发现了泽尔多维奇,山耶夫预言的约1度张角的涨落,这种涨落是由压强和引力触发的早期宇宙声震引起的。在未来几年,将起用两个COBE继任者——MAP(NASA)和普朗克测量器(ESA)研究卫星,用这两个设备有望测到更早期物质密度结构的更精确的信息。

由于引力影响存在,要用COBE测量的微小涨落必须要改进到可测红移为  $z = 1$  的星系团和超星系团的大尺度结构。计算机模拟显示,对于观测到

的膨胀结构,可见物质密度是不够的,而必须假设存在暗物质(不发光只能通过引力效应观测)。为了解释星系团里的星系和星系里的恒星的运动,在星系团和星系中都必须存在暗物质。

经验证明,X射线测量对研究星系团中暗物质的分布是非常有效的。星系团是被作为强X射线源的热气云填充的(接近  $10^8$  K)。用ROSAT所做的X射线测量结果,使人惊奇的发现,热等离子体质量比所有属团星系的质量之和再加上它所含有的暗物质的质量大4倍。这就提出一个问题,为了保持比可见物质质量大5倍的物质在引力作用下形成观测到的结构必须要有多大的星团总质量?未来天体物理和粒子物理的最重要的课题之一,是解释宇宙过程的大尺度物质结构形式这个疑难。

膨胀宇宙的命运依赖于所有物质(包括暗物质和可见物质)的平均密度。如果物质密度比临界密度大,宇宙膨胀将达到它的最大值,而后开始收缩,最后直到在坍塌中毁灭。根据现在的结果,观测到的物质(包括暗物质)的密度,大约是临界质量的1/3。这应该意味着宇宙是开的,会永远膨胀下去。

Ia超新星的观测提供了另外的证据。这个事件是由白矮星爆炸产生的,而且这个超新星还是可以更精确测量距离所需要的合适的“标准烛光”。由超新星提供的标准烛光测到的距离,使人们惊奇的发现宇宙在加速膨胀,由此推断宇宙中还存在与宇宙常数相对应的暗能量。这些观测同最新的微波背景测量结合起来表明,空间具有欧几里德测度,也就是说空间是平直的,而没有弯曲。然而,为了切实减少可能的理论模型的不确定性,并最终达到建立自恰的宇宙模型的目的,更精确更远距离的观测是需要的。是否我们永远达不到这个目的或者我们只能渐进地逼近真理,这还是个不清楚的问题。

未来宇宙学发展的路线图已经完成:

⑧ 未来大尺度望远镜将可能使光学、射电、红外和X射线天文学大大改进,将一直探测到以前从未达到的红移为  $z = 10$  的宇宙早期。

⑨ 通过微波各相不同性测量计划和普朗克测量器卫星,我们将更精确地测量微波本底的空间涨落,而这样就可确定宇宙早期( $z = 1000$ )的空间微观结构。

⑩ 第二代引力波探测器将试图接收来自大爆炸本身的信号,这是光子天文学所做不到的。

⑪ 最后,实验重离子核物理和粒子物理将帮助建立越来越接近大爆炸的实验室条件。现在重原子核碰

# 航天科技走进人类生活

孙光东

(华北航天工业学院基础部 廊坊 065000)



2003年10月15日,是一个永载中华民族和人类文明史册的日子。我国第一艘载人飞船“神舟”五号发射升空。在绕地球环行14周后,

16日6时23分,航天员杨利伟乘返回舱在内蒙古预定地区安全落地,我国首次载人航天飞行取得圆满成功。中国成为继前苏联和美国之后,世界上第三个可以独立把人送入太空的国家。

人类总是对浩瀚的宇宙充满好奇。当你吃到经过太空育种得到的食品,用上航天生物技术研制出的药物时,你还觉得太空真的遥不可及了吗?

## 一、载人航天和我们的生活

我国载人航天工程应用系统,安排了六大领域的28个项目,包括对地观测和遥感应用,空间生命、材料科学和微重力流体物理,空间天文和物理,空间环境预报和监测以及天地技术支持系统。对地观测领域取得重大突破,使我国迈入国际先进行列,科学实验和探测成果硕果累累。我们获得了高质量蛋白质晶体,掌握了有应用前景的空间生物制药方法,世

界上第一例由空间细胞融合得到的新品种烟草苗正在茁壮成长,空间材料、地球环境、空间天文、空间环境等各项研究取得高水平成果,全面推进了我国空间科技的发展。

## 二、神舟五号开舱揭秘

神舟五号最先出舱展示在人们面前的是一面北京2008奥运会会徽旗帜。随后,联合国国旗、中国国旗、人民币票样币和本币、中国首次载人航天的纪念邮品、来自台湾的种子等一一从舱中出来亮相。36种来自台湾地区的种子也相当让人关注。据了解,它们包括台湾的青椒、西红柿、稻米、芒果、香蕉,金门的一条根、马祖的红花石蒜和澎湖的林木树苗,一共36种。这些由祖国大陆飞船带入太空的种子,将于近日回到台湾“生根发芽,开花结果”,这有利于推动海峡两岸农业技术进一步的发展。

据悉在神舟三号飞船上也搭载了了一批实验样品并进行了一系列的空间生命科学实验和材料科学实验。从神舟三号飞船返回舱内取出的实验样品主要包括:清华大学生物芯片工程研究中心搭载的微缩芯片试验装置,中国科技大学搭载的鸡蛋空间孵化

撞所达到的密度和温度相当于大爆炸之后的微秒时期。这就是探测到了关于夸克-胶子等离子体存在的第一个信号。

现在重要的是,观测和实验它们单独还不足以缩小宇宙可能演变的方式。同样道理,理论也需要进一步发展。我们只能建议的是,能否得到最后的宇宙学理论在于,我们是否能成功地把上个世纪两个基础理论——量子理论和广义相对论统一起来。

## 该学科研究的技术和社会意义

在过去的50年里天文学领域一直呈现出无比繁荣的景象,而且它已成为我们先进的物理技术文化的不可分割的部分。例如,天文学研究对所需实验设备的极端要求,使得现代望远镜精度不断提高,使半导体传感器的品质和超级计算机能力不断提高,并因此帮助推动可经常为其他领域带来益处的技术发展。比如,卡拉尔山上巨大的光学望远镜的研制推动了液晶玻璃的发展。与此类似,从 ROSAT

X射线非球面镜研制技术发展得到的极端精密的表面加工技术,也为变焦镜头的加工带来益处。

在上个世纪,天文物理和宇宙学领域尽管获得了大量惊人的、开创性的发现,但是许多基本问题还只是得到了部分答案或者是完全没有得到答案。这是现在计划建造许多重要的地面和空间天文望远镜的动力,这些计划建造的设备可以探测到从无线电波直到 TeV 能量的伽马量子的全频信号。另外,还存在来自非常特别现象的新信息源,像中微子望远镜所做的那样,它们在太阳中微子探测中首次露面后,在1987年探测到来自超新星1987A的20个中微子事例。在不久的将来,还有引力波天文望远镜,用它不仅能探测像黑洞聚变那样的极强烈事件,而且,还能探测宇宙在 $10^{-28}$ 秒时的非常早期宇宙的密度涨落。

可以预见,在新的世纪里,天文物理和宇宙学的研究活力不会有任何减弱,特别是因为在这个课题的探究中,有着无尽的物理。