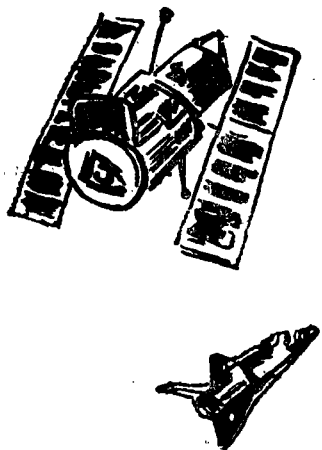


哈勃常数战和宇宙命运

何 常



宇宙在
炽热的大爆
炸中创生。
后来,所有
星系(包括
银河系)互
相飞离而
去,这就是

所谓宇宙膨胀。进入 20 世纪以来,宇宙学家发现了这样的膨胀,检测了大爆炸当初所引起的微波背景辐射,推证了宇宙间化学元素的由来,描绘出星系的大尺度结构及其运动,等等。尽管有着种种进步,但有些基本问题却至今悬而未决。比如,巨大规模的膨胀是什么时候开始的?宇宙会永无休止地膨胀下去吗?或者,引力最终会制止膨胀,使宇宙坍缩到原来的样子吗?

研究表明,宇宙的年龄、演变和结局取决于它的膨胀速度。几十年来,宇宙学家应用各种先进技术来测算宇宙的大小以不断改进对宇宙膨胀率的估算,借以寻求这些基本问题的解答。这种努力包括两个方面:测定星系的运动速度;测定地球到星系的距离。目前,测量星系速度的技术已经很好地建立起来了,但是估算到星系的距离却非常困难。最近几十年,几个独立的天文学家小组研究了测量星系距离(以至宇宙大小)的较好方法,提出了有关宇宙膨胀率的全新估算。

宇宙膨胀率的精确测量,不仅从本质上决定着宇宙年龄和它的最终结局,而且制约着宇宙理论和星系形成的模型;并对星系中不发光物质的数量、星系团的大小等基本量的测量有着重要影响。而精确的距离测量则是计算天体亮度、质量和大小的必由之路。因此,

膨胀率的测定和宇宙距离的标定又关系着河外星系天文学的整个领域。

哈勃常数的发现和 20 年哈勃战

大约在 60 年前,天文学家就着手测量宇宙的膨胀率。1929 年,杰出的天文学家哈勃发现,几乎所有的星系都以极大的速度飞离地球而去。他得出一个著名的观察结果:星系退离速度与地球到星系的距离成比例。这是宇宙学史上首次提出证据,证明整个宇宙在膨胀中。

哈勃测定了宇宙膨胀率,这个量随后被定名为哈勃常数,表述为:星系的退离速度除以距离·哈勃最初估算的值是每秒每兆秒差距 500 公里(1 兆秒差距是光传播 3.26 兆年的距离)。1953 年哈勃去世,他的学生桑德奇继承了他那描绘宇宙膨胀图的事业。桑德奇等人在更大范围内作了更为精确的测量,最后把哈勃提出的常数值作了大幅度的修正,把它降到 50 到 100 km/g/Mpc 之间。这表明宇宙的规模比最早的测量要大很多。这样,在 50 兆秒差距处的星系以每秒 5000 公里的速度飞离地球,而在 500 兆秒差距处的星系则以每秒 50000 公里的速度飞离!

近二十年来,哈勃常数的各次新估算继续落在这个范围之内,但是越来越多地接近于高低两个极值,中间值日趋减少。桑德奇和他的长期合作者塔曼论证的值是 50km/s/Mpc ,而德克萨斯大学的瓦科列尔则主张 100km/s/Mpc 。这样,争论展开了,并出现了一种于事无补的局面:科学家们可以在两个极值之间随意地选取哈勃常数。

随后,又有几组数据指向一个高膨胀率,这意味着宇宙是比较年轻的,年龄大约只有 100 亿年。但是开

贵,这也就是为什么它作为最后一个天文观测空白窗口,直到 80 年代初才开始得到较快的发展。

毫米波段处于远红外与厘米波射电之间,在几乎所有类型的天体观测研究中都占有举足轻重的地位。毫米波最重要的研究目标是银河系内外的分子谱线,年轻星与晚期星的环境介质等与恒星演化有关的领域。经多年艰难的探索,德令哈 13.7 米镜已进入成熟使用阶段,1993 年为世界上已发现的 500 个水脉泽源又增加了 50 个,另外还有 30 个待进一步确认。时变监测工作也取得可喜进展。毫米波的研究成功填补了国内空白,缩短我们射电天文技术与世界先进水平的

差距,对我国国民经济和国防建设也具有重要意义和潜在的经济效益。1993 年东亚国家天文台选址组在德令哈测得的 220 京赫天顶大气透过率为 85%,相当大气水分量为 3 毫米,说明此地是一个理想的毫米波台址,展示了它良好的发展前景。

为提高我国射电天文在国际上的竞争力,为更好地发挥现有设备在科学研究、学术交流、国际合作与培养人材中的作用,中国科学院于 1990 年以这三大设备为主体组建了射电天文联合实验室。与此同时,我国下一代大型射电望远镜也正在酝酿与筹划,以迎接 21 世纪射电天文学发展的挑战。

纳治天文台的弗莉特曼等人则提出种种理由对高膨胀率的可靠性表示怀疑。

从原则上说,哈勃常数的测定是简单的,只要测出星系的距离和速度,即可算出常数。然而在实践上,速度固然可以直接测得,距离的测量在技术上却相当复杂和困难。

要测量星系速度,可让来自星系的光色散,记录下它的光谱;光谱中包含着分立的谱线。这些谱线都有特定波长,它们是由组成星系的恒星和气体中的特定元素的发射和吸收所产生的。由于星系飞离地球,使这些谱线的位置向较长波长位置移动,移动的大小与速度成比例,这就是所谓红移效应。应用红移效应可测定出星系的运动速度。

但是,测定星系的距离却并不那么简单。对 1000 万光年以内的附近星系距离,天文学家们测量结果都是一致的;而对这个范围以外的遥远星系的距离测量,其结果则很不一致。这是因为遥远区域的“哈勃流动”和近星系的重力扰动等因素影响着精确的测定。天文学家为改善测量效果,创制和选用了种种复杂的方法,但好象还没有一种是无可挑剔的。60年来关于哈勃常数精确值的讨论和近 20 年来的哈勃常数战,实际上是关于距离测量的精确性的辩论,说到底是关于距离测量方法和技术的可靠性的争论。

附近星系的距离测量

监测一种叫造父变星的恒星可以最精确地测定到附近星系的距离。这种恒星的亮度有周期性变化,非常醒目。在周期的开头部分,亮度急速增大,而在周期的其余部分,亮度缓慢减弱。平均来说,造父变星比太阳亮 10 000 倍。

到造父变星的距离可用它的周期(循环持续时间)和它的平均视亮度(在地面上观察到的亮度)计算出来。1908年哈佛天文观察台的李薇德发现造父变星的周期同它的亮度紧密相关,周期越长,恒星越亮,其关系是:它的亮度与表面积成正比。大而亮的长周期脉动有如大钟的低频率谐振。观察了亮度变化的整个过程,就可以得出周期和视亮度,然后计算出它的绝对亮度(即标准距离 10 秒差距处恒星具有的视亮度)。再者,移动距离递增,视亮度递减。这样,由绝对亮度和视亮度之比就可计算出到造父变星的距离。

造父变星的上述周期行为和高亮度,使我们能相当容易地发现它、测量它,所以它是个很好的距离标记牌。

二十年代,哈勃应用造父变星证实了银河系外存在着其它星系。他研究了仙女座大星云(又名 M31)的照片,确认微弱的恒星状图象的亮度是随时间而稍稍变化的,最后证明它们的行为与造父变星附近的行为一致。他测量了 M31 中造父变星的周期和视亮度,推断 M31 的位置距离太阳大于几亿光年,即远离银河系。

从 30 年代到 60 年代,哈勃和桑德奇等为在附近星系中寻找造父变星做了巨大努力。他们成功地测量了十几个星系的距离,明显改进了确定哈勃常数的基础。

造父变星方法的一个主要困难是视亮度会被恒星间的尘埃所减弱。来自各种恒星的光被粒子所吸收、散射和变红。尘埃的影响以蓝光和紫外光最强烈。因此,要么在红外波长上观察造父变星,因为那里的尘埃影响较小;要么在许多不同的光学波长上观察它,以便对这些影响进行评估和校正。

由此可见,要测量到造父变星的距离,需要有对各种波长的光都非常灵敏的望远镜和检测器。哈勃、桑德奇以及他们同时代的研究者用照相底片初次感应绿光和蓝光,效率低于千分之一。今天,天文学家用硅晶片制成固态电荷耦合装置(CCD)能够检测从绿到红各种波长的光,效率大于 50%。光子碰到 CCD,硅片就释放出电子,产生可检测的信号。与照相底片相比,CCD 不但效率高,而且能以很高的精度记录光源的亮度。它已成为研究造父变星和处理尘埃影响的理想检测器。

遗憾的是,造父变星的亮度只足以观察最近的星系,而观察不到遥远的星系。因此,用这种方法测量的星系距离不能直接求得哈勃常数。虽然附近星系也参与宇宙膨胀,但其相邻星系间的引力相互作用对星系运动的影响有可能比宇宙的其余地方更大或者更小。要精确计算出哈勃常数,就必须测定出到遥远星系的距离,虽然这项工作十分艰难。

遥远星系的距离测量

遥远星系的距离最终归结为宇宙规模的大小。为了提高遥远星系距离测量的精确度,测量技术在不断的改进和创制之中。新技术有两类:一类必须用造父变星距离标度来进行校准,因而被称作次级距离指示器;一类则是直接测量。建立这些技术的基础是星系中某些发光物的性质或者星系本身的特征。

以下是新近研制和使用的部分次级距离指示器。

1. 一种最有希望的技术是根据星系亮度和它的旋转速率间的关系来构思的。高亮度星系一般比低亮度星系大而重,因此明亮星系比暗淡星系旋转得慢。人们早就知道这一关系,但是直到 1977 年才被夏威夷大学的塔利和美国射电天文台的费希尔应用于距离测量。

费希尔和塔利在红外波长上观察星系亮度,获得了最精确的距离测量结果。之所以精确,原因有二:其一,恒星中支配星系亮度的大部分辐射是近红外波长;其二,红外辐射通过太空时很少以较长波长散射。几个独立的小组广泛试验了费希尔-塔利关系,所得到的最重要成果是证明这一关系几乎不受环境的影响;特别是,把这一关系分别应用到富集星团的密集部分,以及星团的外部 and 比较孤立的星系上,结果都相同。

有鉴于此,加上别的理由,天文学家同意(但不是

普遍接受)将费希尔-塔利关系作为目前最精确的次级距离指示器。它可以测量远达3亿光年的距离。测量结果可用造父变星技术进行检验。美中不足的是目前还缺乏费希尔-塔利关系的详细理论解释。

2. 美国国家光学天文台的捷柯毕装置。有一种物体象太阳一样大而重,当它逼近生命循环的终了时形成称之为行星状星云的物体。捷柯毕和他的同事们发现行星状星云的亮度不超过它的清晰度的上限。要测量到某一星系的距离,就得通过直接测量星系中最亮的行星状星云的视亮度。此种方法的测量结果可用造父变星法进行校正,证明与用费希尔-塔利法的结果极其一致。

3. 马萨诸塞理工学院的汤里注意到这样的事实:附近星系的表面亮度呈颗粒状,遥远星系的表面亮度则显得比较均匀。由于各个恒星随距离增大而越来越难分辨,所以光度随距离而递减。因此他们就用星系表面亮度的涨落来计量星系的距离。测量结果与前述两法相符。

4. 利用叫Ia型的一种特殊超新星。超新星标志某种恒星湮灭的灾变爆炸。Ia型超新星在双星系统中产生,该系统中的一个非常致密的恒星叫白矮星。当伴星的质量转移到白矮星时,就触发了爆炸。由于超新星释放大量的辐射,天文学家最终应能观察到远离50亿光年的超新星。这个距离也就是横跨半个可见宇宙的半径。这是一种有着巨大潜力的距离指示器。

1937年发现Ia型超新星的亮度峰值处产生大体等量的光。桑德奇等人就是利用这一信息第一次获得星系的直接距离。他们的工作代表着第一流的进展。可惜超新星事件非常稀少,单个结果毕竟难以准确确定它的距离标度。不过,近来在一个暗淡星座中发现叫IC4182的一个小星系,它与Ia型超新星非常接近。如果它的距离能测定,那就可获悉在那个位置的Ia型超新星的固有亮度,这就为测定更遥远处大量产生着Ia超新星的距离提供机会。

此外,有两种值得介绍的哈勃常数测定方法,它们不是次级距离指示器,不需借助造父变星的距离标度。它们适用于大宇宙尺度的距离测量。初步结果往往支持低哈勃常数值。

第一种方法的基础是一种叫引力透镜的效应。光从某一遥远光源发出,通过星系附近,根据广义相对论,就被星系的引力所折射。光在星系周围因而取各种不同的路径,有的长,有的短,最后以不同的时间到达地球。用星系质量分布的理论模型可以计算出哈勃常数值。

第二种方法是利用一种SZ效应。当来自微波背景的光子通过星系团,散射出热等离子体电子时获得能量。散射的净结果是微波背景向星系团位置递减。比较微波和X-射线,即可推得星团的距离。不过在测定距

离时,必须知道电子的平均密度,它的分布和温度,还必须精确测量微波背景的递减率;然后算出星团距离和退行速度,即可得哈勃常数。

现今的哈勃常数对垒

旷日持久的哈勃战最近出现了新的特点。由于法国天文学家瓦可里亚的挑战,战线已经推移。但是两种对抗的常数值之比仍然是1:2。桑德奇和他的支持者,的低值下限已经不是过去的50,而是30和40;瓦可里亚的高值是80。中介值的主张分化,两极对垒更为明显。例如,1992年的《科学消息》和《今日物理》杂志都采用桑德奇界线,而许多年轻的或者独立的天文学家则倾向于高值。

新的战场是IC4182。桑德奇去年报告,到IC4182的新距离是1600万光年,哈勃常数为 45 ± 5 。高值一方声明,星系包含大量的尘埃使得它看上去比实际亮度和距离要暗淡和遥远。德克萨斯大学天文学家渥库列斯则报告,哈勃常数为 85 ± 4 。技术战伴随着热烈的宣传战。高值一方说,问题已不是50还是100,而是非80即90;低值一方则提出“Mamquist 偏离”,认为是这种统计效应使遥远星系看起来似乎较近,造成哈勃常数的过高估算。

由于论战从根本上说是关于距离测量方法可靠性的争论,所以争论中也涉及这样一些问题:应该同时应用多少种测量方法(有的天文学家已同时采用10种方法)?每种方法是否都得逐个进行校准?现在,战事方酣,论战将继续下去。

对宇宙命运的思考

开头提到,宇宙的年龄、演变和结局到底怎样,取决于哈勃常数值的高低。当前哈勃战中两个不同常数值恰好代表着宇宙发展的两个不同方向。

哈勃常数的低值意味着宇宙已进入老年,而高值则表明宇宙还年轻。哈勃常数 45km/s/Mpc 表示宇宙年龄大约是160到210亿年;哈勃常数 80km/s/Mpc 表示宇宙年龄大约是80到120亿年。这是根据宇宙间物质的数量和由这些物质引起的相应的减速所作出的判断。

常数的低值表明,也许有朝一日宇宙会停止膨胀,出现坍缩;常数的高值表明,宇宙将永远膨胀下去。

但高值常数得出的80亿到120亿年的年龄(此值允许宇宙平均密度引起的误差)比理论模型提出的球状星团(宇宙间最古老的天体系统)的年龄(估计130亿~170亿年)还要短。任何超过70的高值都意味着比最古老的星系年轻。显然球状星团不能比宇宙本身的年龄还大,这一逻辑矛盾破坏了大爆炸理论。这里哈勃常数的测量和球状星团模型及距离的测量可能都有误差,但是目前要判断宇宙和球状星团视在年龄误差是困难的。

高值常数产生的另一个严重问题是:它与星系形

成和分布的标准理论不符。例如,哈勃常数大,宇宙年龄就轻,达不到理论预言的已观察到的大尺度星团的形成所需要的时间。这样,模型就不能再现所观察到的星系分布。是哈勃常数测定出现偏差,还是星系标准理论有待修正?须要研究解决。

由宇宙物质截止密度表式 $\rho_c = H_0^2 / 4\pi G$ (G 是引力常数, H_0 是现行哈勃常数。)给出,除非宇宙平均质量密度超过截止密度,宇宙将继续膨胀下去;不然,宇宙的结局将停止膨胀。根据目前的观察估算,宇宙物质平均密度是低的。但是理论上已经指出,宇宙包含着的物质质量比明亮物质质量要大。因为另有一种叫“暗物质”的物质形态,其总质量超过明亮物质(恒星、气体、尘埃)的质量至少十倍。星团内的暗物质就足够达临界截止密度 ρ_c 的 20%。要确定地回答宇宙结局

的问题,不但要具备哈勃常数和宇宙平均密度的知识,而且要对宇宙年龄作出独立的测量。有了这三个量,才能唯一地确定宇宙的几何结构和结局。

继续应用哈勃太空望远镜可能解决关于哈勃常数的争论。因为太空望远镜具有的远距离潜在分析能力比地面望远镜所能达到的距离远 10 倍。因此,为它提供发现造父变星机会的空间区域比地面望远镜进行常规评估的区域要大 1000 倍。由于哈勃太空望远镜的故障,大部分计划因而推迟。

科学家们相信,未来的十年有可能解决关于哈勃常数和宇宙年龄的论战,并描绘出宇宙演变的整个过程。但是科学史也告诉我们,我们未必是同这些挑战作斗争的最后一代人。

(上接第 47 页)

7. Amanda 高能中微子探测器在南极安装

据瑞士访问学者孙钦(Sun Qin)来信报导,欧洲-美国 Amanda 高能中微子探测器 1994 年在南极安装顺利。

由美国三所大学(加州大学、加州贝克莱分校、威斯康星大学)及瑞典两所大学(斯德哥尔摩大学、乌普萨拉大学)合作的高能中微子探测器,位于南极端点附近。该实验今年年初在南极站已安置了四根带有 20 个光电管的探测器,位于冰下深度为 1 千米。由于南极的冰极纯净,衰减长度达 40—50 米,没有来自于海洋生物的背景干扰,适用于探测来自高能中微子的次级 μ 粒子,尤其适合测量位于地球北面的宇宙天体“MKr 420”的信息。由于地理的优势,该实验可以每天 24 小时连续测量,并拟扩充到至少面积为十万平方米以上。在现有的四个主要的中微子实验项目(Nestor、Dumard、Bakal、Amanda)中,Amanda 无疑是颇有前景的国际性实验项目。国际权威杂志“Nature”在今年第一期上也介绍了 Amanda 实验。

8. 杨国桢谈基础研究

中国科学院物理研究所所长杨国桢,在中国科学院 1994 年度工作会议上提交了一篇题为“稳定一支高水平基础性研究队伍,开拓发展我国基础性研究工作在世界上的一席之地”的文章。他在这篇文章中指出:“在当代社会中,科学技术已成为加速经济发展,推动社会进步的决定力量,成为衡量一个国家综合国力的重要因素。基础研究、应用研究和发展研究是在整个科学研究体系中的三个阶段,具有不同的地位、功能和作用,又是一个具有内在联系的整体。基础研究是探索未知、认识世界,以发现自然规律和发展科学理论为目标的研究活动,它的重要性,可归纳为:①基础研究是新技术、新发明的源泉和先导。科学史已经证明,基础研究一旦取得重大突破,将推动某一领域乃至整个

科学技术的突飞猛进和社会生产力的巨大发展。如牛顿力学和电磁理论的建立,对第二次产业革命的兴起及资本主义生产的发展起着特殊的作用。②基础研究是社会进步的重要基础。任何技术的进步和社会经济的发展依赖于科学的发明、发现,并以其为后盾。③基础研究是培养人才的摇篮。特别是它可培养高层次人才,并可使其中的一部分科学工作者在获得基础研究的训练后转入应用发展研究,将可能更好地发挥作用。

总的来说,基础研究对国家物质文明和精神文明的建设具有重要的支撑功能,也是实现国家现代化的基本条件之一。从几百年来世界和我国发展所走过的成功与失败的曲折过程中,我们可以清醒地看到:世界上有不搞基础研究的国家,却没有不搞基础研究的强国。一个不能吸取世界最新科学思想,不能站在世界科学成就的高度去观察和处理问题,缺乏基础研究实力的国家,是不可能实现现代化的。”

9. 94 全国高能物理大会暨第四届会员代表大会

94 全国高能物理大会暨第四届会员代表大会 5.15—20 日在济南山东大学召开。36 个科研单位和大专院校的 148 名代表出席了大会。大会学术报告和分组学术报告共 115 个。高能物理学会第三届理事会,《现代物理知识》和《高能物理与核物理》两个编辑部,分别作了工作报告。

大会选举产生了第四届理事会。理事会由 46 名理事组成。新一届理事会推举的领导人为:理事长:戴元本(理论物理所);副理事长:郑志鹏、霍安祥(高能物理所)、刘连寿(华中师范大学);秘书长:黄涛(高能物理所)。

10. 原子操纵技术研究取得新进展

据《中国科学报》报道,中国科学院北京真空物理实验室在纳米科技中的重要前沿课题——原子操纵技

(下转第 18 页)