

星系形成和宇宙的大尺度结构

——观测对现有理论提出严重挑战

邓祖淦

(中国科学技术大学研究生院, 北京 100039)

夏晓阳

(天津师范大学物理系, 天津 300074)

本文介绍了近年来在观测宇宙学研究中取得的一系列重要成果——微波背景辐射普朗克谱和高度各向同性的证实, 星系分布中超大尺度结构, 星系的大尺度流动和巨大吸引体, 星系红移分布中的规则性的发现。这些结果对现有理论模型提出了严重的挑战。这可能预示着在未来若干年内新的观念或理论上的突破即将产生。

Recently, research on observational cosmology has found a series of important results: verification of the Planck spectrum and highly isotropic features of the microwave background radiation, the existence of super-large scale structure in the distribution of galaxies, the large scale streaming of galaxies and so-called great attractor, and the regularity in the redshift distribution of galaxies. These facts severely challenge the existing theoretical models and may indicate that a new breakthrough in the concept or theory of cosmology will come within the next few years.

自然科学发展的最主要的推动力是已有理论和认识与实验或观测事实间的矛盾和冲突。近年来, 观测宇宙学取得的一系列新的观测结果向现有理论模型提出了严重的挑战。这可能预示着在未来若干年内新的观念或理论上的突破即将产生。

目前人们普遍接受的所谓标准宇宙学模型“ Λ ”要解决的最困难的问题是星系形成问题。

微波背景辐射的高度各向同性表明了早期宇宙中重子物质和辐射场的分布是十分均匀的。而今天观测到的星系和星系分布的不均匀, 表明现在物质分布的极不均匀。这种物质由均匀演化到不均匀和星系及宇宙大尺度结构的形成是密切联系的。在本文中, 我们将介绍近年来观测上的发现和它们给现有理论模型所带来的困难。

一领域的工作。目前关于准晶的晶格动力学计算已与拉曼散射实验密切配合, 得出不少可喜的结果。相信随着研究的深入, 准晶振动的研究必将推动物理新概念的产生和新材料的应用。

粗糙地说, 准晶是介于晶态和非晶态之间的一种凝聚态, 但是它的产生和发展给我们开辟了一方新天地。这又一次说明了科学发展到

了今天, 正是在一些古老领域的“边缘”, “夹缝”处会生长出一些瑰丽无比的奇葩, 服务于人类。

- [1] 姜小龙、陈延国、胡素辉, 物理, 16-7(1987), 405.
- [2] G. C. Aers et al., *Phys. Rev.*, B39-2, (1989), 1092.
- [3] R. Merlin et al., *Phys. Rev. Lett.*, 55-17, (1985), 1768.
- [4] Wenlan Xu et al., *J. Phys: Condens. Matter*, 1-48, (1989), 9533.

一、微波背景辐射的新观测结果

按标准模型,大爆炸发生后不久,辐射和物质粒子就达到了热平衡。若无特殊事件发生,辐射场将一直保持为黑体谱。只不过随宇宙的膨胀其温度会下降。直到宇宙温度降低到约 4,000K 时,以等离子体状态存在的物质才开始结合成稳定的中性原子(主要是氢及氦原子)。这一过程称为复合。复合后的中性原子与辐射场间的相互作用非常弱。因此,复合后,宇宙变得透明了。自此以后,辐射场和物质粒子将各自经历自己的演化而不相互影响。今天观测到的微波背景辐射光子,就是在复合后未受扰动传播来的。只是,在从复合到今天这段漫长的时间里,由于宇宙膨胀了上千倍,原来 4,000K 左右的辐射场已冷却而成为温度只有约 3K 的微波背景辐射了。

既然微波背景辐射是从复合时无阻碍地传播来的,它就应当携带着复合时期物质分布的信息。如果今天观测到的星系、星系团以及下面将要谈到的“星系长城”之类的超大尺度结构是由早期宇宙中物质分布的微弱的非均匀性增长演化形成,这种早期等离子体的不均匀性将会由微波背景辐射在小角尺度($\sim 1''-1^\circ$)上的各向异性表现出来。宇宙整体的各向异性将表现为微波背景辐射的大角尺度各向异性。因此,微波背景辐射各向异性的探测,成为我们了解在复合时期宇宙等离子体非均匀性(从而了解星系和宇宙大尺度结构形成)的重要方面。

在微波背景辐射被首次观测到^[a]后不久,人们就发现微波背景辐射存在微弱的偶极不对称性,在赤经 $\alpha \simeq 11.3 \pm 0.1^h$, 赤纬 $\delta \simeq 4 \pm 2^\circ$ 方向微波背景辐射有较高温度,而在相反方向温度较低。这种偶极不对称性是意料之中的。微波背景辐射相对于与宇宙一起膨胀的坐标系(共动坐标系)是各向同性的,而银河系、太阳和地球则相对于共动坐标系运动。因此,在运动着的地球上的观测者观测到的微波背景辐射将会因多普勒效应而出现这种偶极的不对称性。从

另一角度看,测定了这种偶极不对称性,也就测定了观测者相对于共动坐标系运动的速度大小和方向。

扣除由于地球相对于共动坐标系运动而产生的微波背景辐射的偶极不对称性后,余下的各向异性将告诉我们早期宇宙等离子体与均匀性的偏离和宇宙作为整体的各向异性的情况。多年来天文学家努力从事这种非常微弱的微波背景各向异性的探测,但迄今并未探测到准确的各向异性结果。所有的测量都只给出了这种各向异性的上限。迄今对小角尺度各向异性测量结果给出的 $\Delta T/T$ 的上限为 2×10^{-3} ^[6]。即在复合时,宇宙等离子体的不均匀性小于十万分之几。随着观测精度的进一步提高,这一上限值还有可能进一步减小。对大角尺度各向异性的最新测量是由宇宙背景探索者卫星(COBE)进行的。COBE 于 1989 年 11 月发射。其上装置的差分微波辐射计专门用于探测大角尺度各向异性,其分辨率为 7° 。初步结果表明,除偶极不对称性外,未探测到微波背景辐射的大角尺度各向异性。迄今所给出的各向异性上限为 10^{-4} 。在 COBE 于一年后观测结束时,其观测灵敏度可达 10^{-5} 。

各向异性观测结果表明,复合时宇宙等离子体的分布几乎接近理想均匀。大角尺度观测结果也说明宇宙是非常接近各向同性的。这些观测一方面支持了标准模型关于早期宇宙是均匀各向同性的结论,但与此同时,也更难以解释今天所观测到的星系分布中的超大尺度结构。

除各向异性的观测外,对微波背景辐射谱的观测也具有极为重要的意义。按照标准模型,复合前辐射场与宇宙等离子体处于热平衡,因而辐射场具有黑体谱。在复合后,辐射场不再受物质粒子的影响,在膨胀着的宇宙中经历自己的演化过程。在这一过程中,虽然辐射场的温度会逐渐降低,但却始终保持热平衡辐射场的性质。因此,今天我们观测到的微波背景辐射应当具有理想黑体谱。

前两年,一些用探空气球或火箭对微波背景辐射谱进行的观测,特别是名古屋和加州大

学伯克利分校的天文学家的观测报告^[7], 表明微波背景辐射在短波区对黑体谱有明显超出。如果真有这种与黑体谱的偏离, 则说明宇宙演化过程中发生过某些重要的过程。这类可能的过程一直在理论上进行着讨论, 而名古屋-伯克利的报告将这种讨论引入一个高潮。

不同事件可以分别引起微波背景辐射长波或短波端与黑体辐射谱的偏离。例如, 早期的超恒星或超活动原初星系所释放的大量辐射能被高密度宇宙尘埃吸收后再以红外形式辐射; 热星系际介质中的电子与微波背景辐射光子的康普顿散射等都有可能使短波端出现畸变。而在复合前很久宇宙中出现的再加热过程, 可以造成背景辐射在长波部分与黑体谱的偏离。因此, 仔细测量微波背景辐射谱对了解宇宙演化及其中发生的过程是很重要的。

火箭观测难以给出确切可靠的结果, COBE 的主要观测任务之一是利用其中的远红外绝对光谱仪对微波背景辐射谱进行测量。图 1 给出 COBE 卫星在接近北银极方向的观测结果。从图 1 可以看到, 微波背景辐射有几乎理想的黑体谱。在 COBE 一年的观测结束时, 从它取得的数据可以发现与理想黑体谱间 0.1% 的偏离。COBE 卫星目前的观测结果表明, 名古屋-伯克利小组的火箭观测是不可靠的。

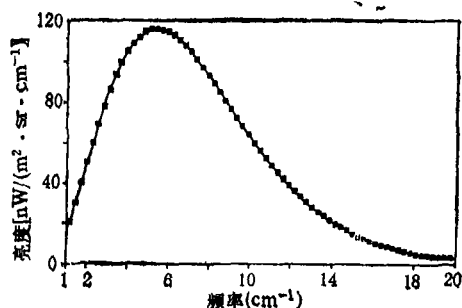


图 1 COBE 卫星上的远红外绝对光谱仪测定的宇宙微波背景辐射谱(实线对应于温度为 2.735K 的普朗克黑体辐射谱, 方块是误差为峰值 1% 的观测误差盒)

对微波背景辐射探测的最新结果表明, 微波背景具有理想黑体谱并且是高度各向同性的。就是说, 复合时期物质分布是非常均匀的, 而在宇宙演化过程中可能产生的对背景辐射谱有影响的过程也受到严格限制。

二、星系分布中的超大尺度结构 ——星系长城

与早期宇宙中重子物质极其均匀分布相对照, 今天宇宙中物质的分布却是极不均匀的。构成我们周围世界的物体密度比宇宙中物质的平均密度高 10^{29} — 10^{31} 倍, 银河系或其他星系中物质的平均密度也要比星系际物质的平均密度高上千万倍。本世纪早些时候人们就已经注意到星系的分布是不均匀的, 它们形成一些团。星系团中星系的平均密度比星系团外要高出一个量级。70 年代, 天文学家采用相关函数来定量地描写这种星系在大尺度上分布的非均匀性和结构。利用相关函数对星系分布进行分析表明, 星系的确形成尺度为几个 Mpc 的星系团^[8]。

近十年, 由于测量设备和技术的迅速发展以及天文学家不懈的努力, 对星系大尺度分布的观测和认识有了巨大的进展。1981 年 Kirshner 等人在牧夫座方向发现了一个尺度约为 60Mpc 的很大的区域^[9], 在此区域中星系密度只有平均密度的 1/5 或更低。这种大范围的星系平均密度非常低的区域被称为空洞。巨大的空洞的发现引起了轰动, 它提出了一个问题, 大尺度空洞的存在是否是一种宇宙大尺度结构的普遍现象? 星系在高密度区是怎样分布的?

为了回答这一基本问题, 哈佛大学斯密孙天体物理中心 (CfA) 的科学家们开展了一个大的星系红移巡天计划。这一计划完成时, 他们将观测所有银纬 $b_{11} \geq 30^\circ$ 的亮于 15.5 等的星系红移。这时, 可以得到约 15,000 个星系的红移。结合星系的方位, 可以得到在相当大范围内星系在三维的分布。由此可以了解星系在大尺度上分布的结构。

虽然这一计划尚未最后完成, 但从已观测的 10,000 个以上星系的红移已可以看出星系分布中一些以前未曾料到的特征^[9]。CfA 巡天是将天球分为赤纬间隔 6° 的薄片来逐片进行

1) $1\text{Mpc} = 1 \times 10^6 \text{pc} \approx 3 \times 10^{24} \text{cm}$.

的。每片在赤经方向都是从 8^h 到 17^h 。目前已接近完成了八个片内星系的红移巡天。图 2 中给出了所得到星系分布的扇形图。沿扇形径向是星系的红移值，而在圆弧方向则是赤经方向。图 2 (a) 是赤纬 δ 处于 26.5° 至 32.5° 间的薄片内星系分布的扇形图；图 2 (b) 给出的是 26.5° 至 44.5° 范围内(包括连续的三个薄片区域)星系的分布；图 2 (c) 则是 8.5° 至 14.5° 这一片中星系分布的扇形图，它与图 2 (b) 中的三片相隔二个薄片区域。这两区域中的红移巡天尚未完成。

从这些扇形图很容易看到星系大尺度分布的一些主要特征。首先，这些图中存在着明显

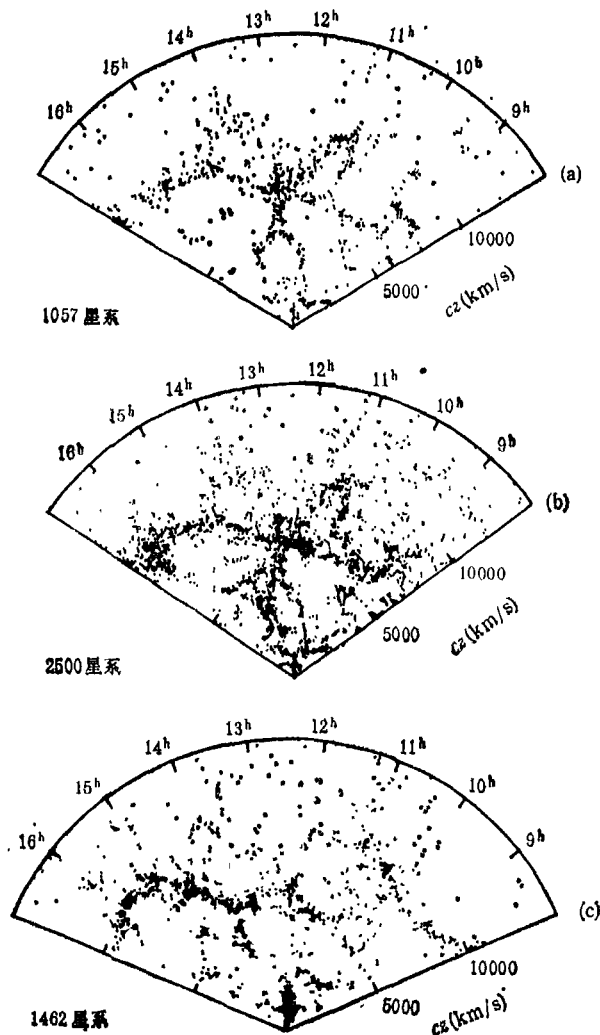


图 2 亮于 15.5 等星系红移巡天所得样本的锥形图

物理

的星系低密度区(通常称为空洞的区域)，这些区域的尺度约 50Mpc，而围绕这些低密度区的是非常清楚的星系密度远高于空洞中星系密度的壁。这些壁仅有几个 Mpc 厚。更值得注意的是，有一条星系分布密度很高的带状区域存在于所有上述几个图中。它在与我们相距约 100Mpc 处横穿整个巡天的赤经范围。由于在图 2 (c) 及图 2 (b) 中，这一星系密集分布的带状区域处于相应的位置，我们自然认为它在整个从赤纬 8.5° 至 44.5° 均存在。这样，无论是在赤经方向还是在赤纬方向，一个星系密集的片状区域存在于整个视场中。它的大小约为 170Mpc 长、60Mpc 宽，而厚度只有约 5Mpc。

这是迄今为止所发现的最大的结构，被称为星系“长城”。不仅如此，由于在无论赤经还是赤纬方向它都扩展到巡天的全部视场，我们实际上还难以确定它究竟有多大。

星系长城中星系密度约为其周围平均密度的五倍，估计其总质量约为 $2-10 \times 10^{16} M_\odot$ ， M_\odot 表示太阳质量。通常星系(如银河系)的质量只有 $10^{11} M_\odot$ 量级。

CfA 巡天的初步结果告诉我们，宇宙的星系中存在着尺度约 50Mpc 的空洞区，而这些空洞区的星系密集区形成的壁连接成非常大的(如星系长城)结构。迄今为止的所有星系形成模型都难以得出这样的结构。不仅如此，目前常用的两点相关函数也难以定量地分析和描写如此大的结构。星系长城的发现无论对宇宙大尺度结构的分析和描述方法以及星系形成的理论都提出了严重的挑战。

三、星系大尺度流和巨吸引体

直到 80 年代前，天文学家普遍认为宇宙是均匀膨胀的，而星系是随着这种膨胀运动的。就是说，如果我们建立一个坐标系和宇宙一道膨胀，则星系相对于这个坐标系是几乎静止的。这种和宇宙一道膨胀的坐标系叫做共动坐标系，而星系相对于

共动坐标系的运动速度叫做特殊速度。

一个膨胀的气球上所画出的坐标网格，在气球膨胀时将随着气球一起膨胀。在气球上用笔标出的点膨胀后成其坐标不变。但是，一只在气球上爬行的蚂蚁，则过一定时间后将处在不同的坐标上。蚂蚁在气球上爬行，它的特殊速度不等于零，而气球上标出的点相对膨胀着的坐标不动，因而特殊速度为零。

80年代以前，一般都认为星系只有很小的特殊速度。原因是几乎所有观测到的星系谱线都是红移的。如果特殊速度很大而且在方向上是无规的，则在近处星系中应有许多是紫移的。尽管早在1975年Rubin等人提出研究报告^[10]，认为银河系具有很大（约 $500\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ）的特殊速度，许多天文学家并未认真重视。

然而一、二年后，银河系具有相当大特殊速度这一点便被另一个观测所证实。1977年，Smoot等人^[11]由气球载运仪器对微波背景辐射进行精确测定时，发现有小而呈正弦变化的温度分布。在某个方向测定的背景辐射温度比相反方向测定的高千分之几度。这种微波背景辐射的偶极各向异性的解释是明显而直接的：由于银河系的特殊运动使得辐射在一个方向紫移而在相反方向红移。由于微波背景辐射在复合时期是由充满宇宙的统一各向同性的热辐射场在宇宙均匀膨胀过程中冷却而留下的，所以它提供了一个理想的共动参考系。相对微波背景辐射的运动是星系特殊运动最直接的定义。由微波背景偶极异性定出银河系的特殊速度约为 $600\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ ，和Rubin等人结果相近，但方向却相差约 90° 。COBE卫星的观测进一步证实了这一结果。

既然银河系和其邻近的一些星系组成的本星系群有如此高的特殊运动速度，人们自然要问，其他星系又怎样呢？Bachall等人对富星系团和大的星系超团的分析表明^[12]，其中的星系具有很大的特殊速度。有的星系的特殊速度可高达 $1000\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上。他们的分析是基于这样一个事实。如果认为所有星系的红移都是它

们距离的指示，则富星系团和大的超团都呈沿视向伸长的形状。图2(a)和(b)的中心一条沿视向的密集星系带就是一个例子。它们实际上是属于后发星系团的星系。所有星系团都呈沿视向延伸的形状，当然不可能是他们的真实分布形态。不然，银河系必然又在某种意义上成了宇宙的中心。Bachall等人认为，由于富星系团包含了大量物质，因而有较深的势阱。星系在这样的势阱中运动时会有相当大的弥散速度。沿视向向远处运动的星系会产生附加的红移，而朝我们运动的星系将由于运动抵消一部分红移。这样在红移作为一个坐标的图中，星系团就变成所谓“上帝的手指”那样沿视向伸长了。

星系的特殊运动是怎么产生的呢？可以将其想象成星系形成早期爆发过程的遗迹。但是，在这样久远时期以前产生的特殊速度在宇宙整个均匀膨胀过程中应当已被抹掉。产生银河系特殊速度的可能因素也许是引力的作用，就和星系团中星系的特殊运动来源于团内物质的引力一样。如果存在着一个有巨大质量的引力中心，它作用于本星系群的引力可以使本星系群加速而获得 600km/s 的特殊速度。这需要非常大的质量。如果这一引力中心在与银河系相距 100Mpc 处，其质量应当至少有几万个星系大。

单从CfA那样的红移巡天要得出关于引力中心的信息还是不够的。因为它虽然可以告诉我们是否存在星系团或超团，但却还不足以告诉我们它们有多少质量和产生的引力的大小。为了了解银河系附近的质量分布，我们需要测定银河系附近星系的特殊速度。如果我们测定一分布在很大体积内的星系样本中每个星系的特殊运动速度，而引力中心包含在此体积内时，样本星系给出的特殊速度场就会显示出其位置和质量分布。

单从星系的红移并不能求出其特殊速度。实际上，红移包含了三个因素的贡献。其一是银河系本身的运动，这已由银河系相对于微波背景辐射的运动得出；二是星系的特殊运动，这

正是我们所要求的；三是星系随宇宙整体膨胀的哈勃流的运动，这一运动速度依赖于星系与我们之间的距离。所以，要求得星系的特殊运动速度必须寻求一种与红移无关的测量星系距离的方法。当然，我们还应当指出，由于红移只能确定星系相对我们运动速度的沿视向的分量，我们最后能测定的将只是特殊运动速度的视向分量。

经过多年的分析和研究，天文学家目前已发展出了两种独立于红移的确定星系距离的方法。一种是被称为 Tully-Fisher 关系的方法，它主要用以测量漩涡星系距离^[13]。它是说漩涡星系的光度和旋转速度相关。这种相关从简单的物理图象出发是很容易理解的。漩涡星系转动速度应与星系的质量相关，从而与星系的光度相关。椭圆星系转动速度很低，它的距离是通过另一种被称为 Faber-Jackson 关系的方法确定^[14]。Faber-Jackson 关系是指椭圆星系的线直径与其速度弥散度有关。星系转动速度或速度弥散度可以通过其谱线宽度测量。这样就可以通过上两种关系分别求出漩涡星系的光度和椭圆星系的线直径。再与其视亮度和视直径比较就可以确定星系的距离。上述关系的具体形式，可以通过对一些星系团中不同星系进行测量而得出。图 3 是双鱼座星系团中星系所给出的 Tully-Fisher 关系。大量观测表明用 Tully-Fisher 关系和 Faber-Jackson 关系来确定星系距离的误差不超过 20%。

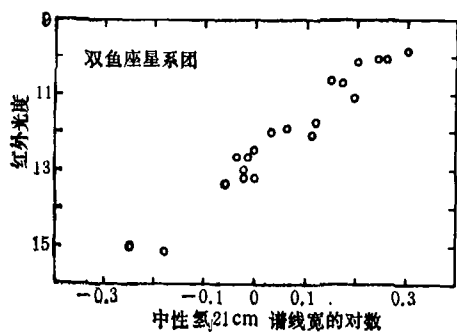


图 3 对双鱼座星系团内星系测量得到的 Tully-Fisher 关系

从星系红移中扣除银河系运动的贡献和在

物理

所测定星系距离上哈勃流速度的贡献，就可以得到该星系的特殊速度在视向上的分量。在相当大的体积内选取许多星系进行测量，就可以得出在这一体积中星系的特殊速度场。

近年来，几个小组，特别是由美国和英国的七位天文学家(现在被天文界称作“七勇士”)联合起来坚持不懈地进行了这种观测。所得结果是出乎意料的。他们发现不只银河系和本星系群有相当大的特殊运动速度，而且在距银河系数十兆秒差距范围内(这一范围包括室女和长蛇-半人马等超星系团)的星系都表现出沿一共同方向的特殊运动。图 4 给出了他们的观测结果之一。图中的圆圈表示星系的特殊速度的视向投影是朝着银河系的，而黑点表示离开银河系。线段长短表示了这一投影速度的大小。图 4 中也给出了银河系特殊速度的大小和方向。图中还给出了室女、长蛇、半人马以及孔雀-印第安超团所在位置。

从图 4 可以看到，银河系和与其最邻近的室女超团以及长蛇-半人马超团都具有相当大的朝着长蛇-半人马超团运动的特殊速度。而在银河系左边的星系也有朝同一方向运动的总的趋势。这说明银河系附近几十兆秒差距内的星系有着大致相同的特殊速度。或者说这样大范围内的星系的特殊运动表现为星系的大尺度流。Lynden-Bell 等人提出这种星系的大尺度流动可以由存在一巨吸引体来加以解释。此巨吸引体中心位置在长蛇-半人马座方向，距我们约 43Mpc，其总质量约为 $5 \times 10^{16} M_{\odot}$ ，或说约 50 万个星系的质量，而质量密度与距其中心距离的平方成反比。最近，“七勇士”之一的 Dressler 报告他已成功地观测到这一巨吸引体背后的星系^[15]。这些星系的确受到巨吸引体的吸引而向其中心运动。

尽管目前对星系大尺度流特别是巨吸引体问题还存在着某些技术上的争论，但是星系具有很大的特殊运动速度，而这种运动在非常大尺度范围内是相干的；这种大范围内星系相干运动应当是由非常大质量的引力中心吸引而产生的。在这几点上，大多数天体物理学家都取

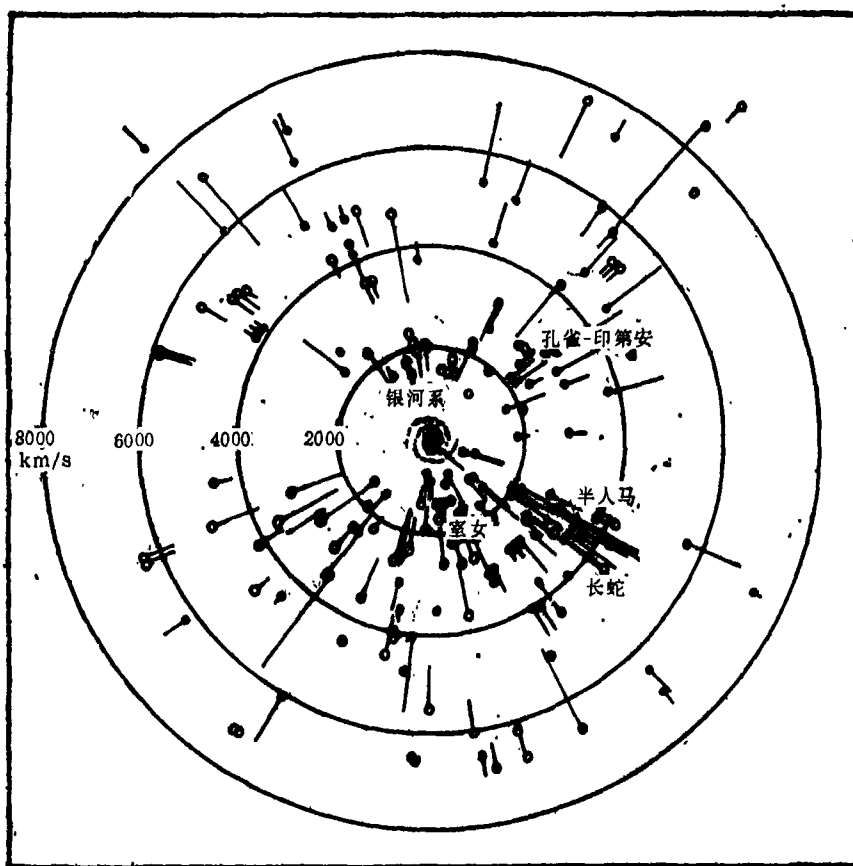


图4 在距离为 80Mpc 内取样的星系测量所得的特殊运动速度

得了一致看法。

星系大尺度流动的发现一方面支持了宇宙中存在着非常多的不发光“暗物质”。但它提出的严重的问题是，这样大规模的特殊运动和大的质量不均匀性是怎样从早期物质高度均匀分布演化而来的。目前已有的模型还无一能满意地回答这个问题。

四、星系红移分布中的规则性

近年来，为了探讨宇宙在非常大尺度上的结构和星系的演化，几个小组开展了对遥远的看来很暗的星系的红移巡天。这些巡天通常都选取若干方向上很小天区内 ($\sim 1^\circ \times 1^\circ$) 的星系作为样本，而巡天都达到前所未有的深度。当 Broadhurst 等人把北银极方向和南银极方向两个小区域巡天结果联结起来时，得到如图 5 那

样的红移分布^[6]。图 5 中将北银极方向红移以正号表示。

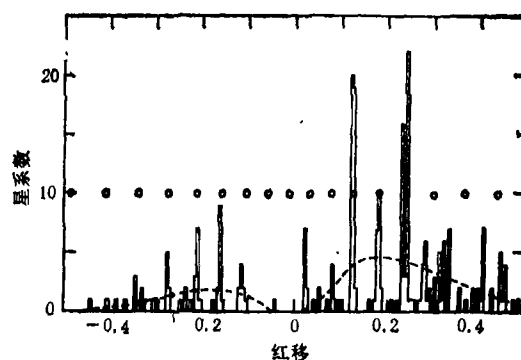


图5 由在北银极和南银极方向的暗星系红移巡天所得样本的红移分布(小圆圈给出了与此分布符合最好的周期 128Mpc 分布的峰位置)

从图 5 可以看出，在整个观测的这样大的距离上，星系表现出很强的成团性。更出乎意料而令人难以理解的是，星系密集的峰的出现

似乎存在规律性,或者说星系密集区与我们的距离似乎是周期性的.图5中的小圆圈表示,当这些成团具有128Mpc的周期时分布中的峰应出现的位置.

Broadhurst 等人对这一分布进行了分析.他们认为如果这些峰存在着一定的周期性,则样本中任意两对星系与我们的距离之差应是这一周期的整数倍.图6就是样本中任意一对星系与我们距离之差的分布.虚线标出了128Mpc整数倍的位置.可以看到,分布的确是在128Mpc整数倍处呈现明显的峰.

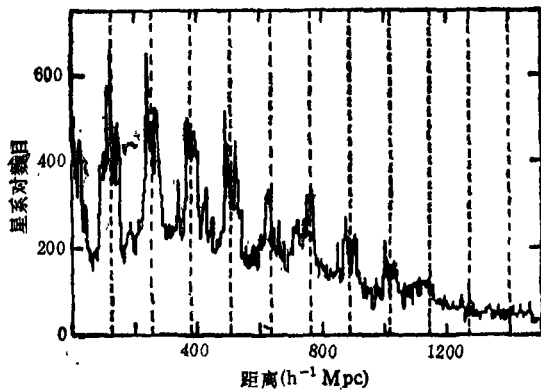


图6 图5中样本的星系对按距离差的分布(虚线是128Mpc整数倍位置,距离差在128Mpc整数倍处呈现明显峰值)

这种星系红移分布中的规则性更是目前任何模型或理论无法解释的.无怪加州大学伯克利分校的著名天体物理学家 Davis 说:“如果星系分布的确是周期性的,我们对早期宇宙的了解可以说比零还少.”

当然,目前的结果还只是从一个方向上很小的天区得出的.这种红移的规则分布是在某一个(或一些)方向上才有的还是在所有方向上都存在,目前尚不得而知.更多的观测和更仔细的分析无疑是极为重要的.

关于星系的这种可能的周期分布已有人开始从理论上提出模型来加以解释.但是,如果这种周期性的确存在,目前标准宇宙学模型的基本观念必然会产生重大变化,这是不少宇宙学家所相信的.

观测积累的资料对现有理论模型提出了挑战,极早期宇宙是极其均匀的,而目前宇宙非常

不均匀并存在着很大尺度的结构和很大质量的吸引中心.怎样由均匀演化到这种不均匀性是目前所有模型难以解释的.现在,从观测上还看不到宇宙在多大尺度以上可以被看作是均匀各向同性的.也就是说不知道宇宙学原理在多大尺度以上才是正确的.此外,各种观测都显示出宇宙中存在着暗物质,而且暗物质很可能占据宇宙物质质量的绝大部分.但是,基于暗物质基础上的各种模型均难以解释上述的一些观测事实.从粒子物理角度提出的各种可能的暗物质也未获得宇宙学和粒子物理观测的证实.早期宇宙与暗物质问题已成为宇宙学和粒子物理学的交汇点.而目前观测与理论的冲突很可能预示着在这两方面的研究不久将会有重大的突破.

我国天体物理学家在近十余年对宇宙学的研究有自己的贡献.他们在超大尺度结构的存在^[17],类星体红移分布中存在着周期性及其可能的解释^[18-20]等方面都有着重要贡献.相信在未来的十年,我国天体物理学家将在宇宙学的发展中作出更重要的贡献.

[1] 邓祖谏、周又元,物理,15(1986),275.
 [2] 俞允强、陈时,物理,18(1989),145.
 [3] 刘永镇、邓祖谏、曹盛林,天文学进展,2(1984),365.
 [4] 林木欣、许国村,物理,19(1990),246.
 [5] A. A. Penzias and R. W. Wilson, *Astrophys. J.*, 142 (1965), 419.
 [6] A. Readhead, et al., *Astrophys. J.*, 348(1989), 566.
 [7] P. H. Andersen, *Physics Today*, No. 8 (1988), 17.
 [8] R. P. Kirshner et al., *Astrophys. J.*, 248(1981), L57.
 [9] M. J. Geller, and J. P. Huchra, *Science*, 246(1989), 897.
 [10] V. C. Rubin et al., *Astron. J.*, 81(1976), 687.
 [11] G. Smoot et al., *Phys. Rev. Lett.*, 39(1977), 898.
 [12] N. A. Bachall, et al., *Astrophys. J.*, 311 (1986), 15.
 [13] R. B. Tully and J. R. Fisher, *Astron. Astrophys.*, 54(1977), 661.
 [14] D. Lynden-Bell et al., *Astrophys. J.*, 326(1988), 19.
 [15] A. Dressler and S. M. Faber, *Astrophys. J. Lett.*, 354 (1990), L45.
 [16] T. J. Broadhurst et al., *Nature*, 348(1990), 726.
 [17] Zhou Y.-Y., Fang D.-P., Deng Z.-G. and He X.-T., *Astrophys. J.*, 311(1986), 578.
 [18] Liu Y.-Z., *Astron. Astrophys.*, 113(1982), 192.
 [19] Deng Zugen, Zhou Youyuan and Dai Hejun, *Scientia Sinica (A)*, No. 6 (1985), 546.
 [20] Fang L. Z. and Mo H. J., in *Observational Cosmology*, IAU Symp. 124, A. Hemitt et al. (eds.), (1987), 461.