

近代天体物理学

高校原子物理暑期讲习班翻印

1 9 8 3 . 6 .

天体物理学的前沿（上）

应美国国家科学院的要求，美国数理科学学部天文学调研委员会，向美国科学基金会和国家航宇局提供一份题为《八十年代的天文学和天体物理学》(Astronomy and Astrophysics for the 1980's)的报告调研委员会的成员都是国际上很有声望。当前在有关学术领域十分活跃的美国天文学家。这份报告被视为美国天文学界的一致意见，作为制订八十年代发展计划的基础。本文选自这份报告的第三部分《天体物理学的前沿》(Frontiers of Astrophysics)。内容包括宇宙的大尺度结构，星系的演化，激烈事件，恒星和行星的形成，太阳和恒星的活动，行星、生命和地外文明，天文学和自然界的力等七节。本文分三期刊完。本期刊登第一、二节。

一、宇宙的大尺度结构

大尺度结构的探查

用大口径望远镜拍摄的照片表明，星系犹如阳光中的灰尘在空间深处漂移。各处都能见到一些星系成群的情况，偶尔也能见到上千个星系组成星系团的现象。一些星系团集为直径达5千万秒差距的超星系团。然而，在更大的尺度上，星系群和星系团的分布却是近于随机的，也就是说，在宇宙各处一定的空间里，星系的数目大致相同。

物质分布在极大尺度上的这种均匀性，吸引人们将观测事实与一个简单的宇宙模型或宇宙学模型进行比较，这个模型是依据爱因

斯坦的广义相对论对物质均匀分布的情形推得的。按照这个模型时空的几何性质因物质的存在而变得弯曲了，而弯曲的曲率又迫使物质运动；任何时候宇宙必定是处于膨胀或收缩之中，哈勃在1929年发现宇宙的确是在膨胀着，这就使我们面临这样一个奇妙的理论问题，即膨胀的宇宙必定起源于一次强烈的爆炸——通常称之为大爆炸，而在此之前，无论时间概念或是空间概念都是没有意义的。

自哈勃所作的重大发现以来的半个世纪中天文学家们从时间上和空间上对宇宙进行了考察，他们利用射电望远镜和光学望远镜已经发现了如此遥远的天体，它们相对我们的退行速度竟达到光速的百分之九十。天文学家们还用微波天线发现了微弱的射电噪声，对此，他们解释为大爆炸本身的遗迹。应用在最初三分钟之内必然发生的核反应的理论，他们计算了在大爆炸中产生的诸如氢、氦和氘这些关键元素和同位素的丰富度。利用地面望远镜和在地球轨道上的紫外摄谱仪已经证实，太空中这些原子的实际相对数同理论上的预见符合得非常好。

大爆炸宇宙模型已经成为借以与观测事实进行比较的标准模型。这并非说它是完全正确的：现在已掌握的资料尚不精确；对它们的解释或许有问题；这个理论也可能是错误的。将来的中心问题是进一步完善大爆炸宇宙模型，并用各种观测资料去检验它。

大爆炸模型要求物质在大尺度上的分布是均匀的，通过各种方法，现在已能检验其是否正确。观测者们以视星等作为星系距离的粗略量度，对不同距离范围的星系绘出它们方向上的分布图。他们发现，在大于1亿秒差距的距离上，星系的分布相当均匀。通过光谱法测定星系红移，可以得知每个星系在三维空间的精确位置。用照相方法记录光谱要耗费大量时间，但新近发展起来的电子阵列检

测器 (electronic array detector) 大大地加快了光谱的记录速度, 现在已有可能对成千上万的星系进行红移普查。三维空间分布的观测结果表明, 在非常大的距离尺度上物质分布是均匀的。可以预言, 对更加遥远星系的红移普查将在八十年代中完成。

X射线和 γ 射线天文学也告诉我们物质在大尺度范围的分布情况。在这两个谱区, 都有一种不能归因于已知源的弥漫背景辐射。这种辐射近于各向同性, 这表明它们不能产生于银河系内, 而只可能产生在能够同宇宙本身尺度相比较的距离上。“高能天文台”1号X射线观测卫星确认, X射线背景是高度各向同性的, 它的从几千到6万电子伏特范围的能谱, 同温度约为5亿度的气体的预期的辐射精确符合。这意味着, 星系间的这种气体是均匀分布的。另一方面, “爱因斯坦X射线天文台”(“高能天文台”2号)发现, 处于遥远距离上的单个类星体在几千电子伏特的能区是很强的X射线源, 它们足够强。事实上, 更加遥远的、连“爱因斯坦X射线天文台”都不能单个探测到的类星体一定是造成观测到的几千电子伏特X射线背景主要部分的原因。还发现有些类星体是很强的 γ 射线源, 因此, γ 射线背景也能归因于类星体。然而, 现在尚不清楚, 类星体的能谱怎么会合成得与热气体的能谱这般相象。在本报告中介绍的高级X射线天体物理设备能够观测到的源要比“爱因斯坦X射线天文台”能观测到的暗100倍, 因此可以确定, 暗弱类星体是否能用以说明观测到的能量在几千电子伏特的背景。利用 γ 射线天文台测量暗弱类星体, 将对 γ 射线能量背景得到相类似的信息。如果证明了X射线、 γ 射线背景确实归因于类星体, 那么背景辐射高度各向同性这一事实就要求在遥远距离上的物质分布是非常均匀的。另外, 如果说X射线背景至少部分来源于星系际气体, 那么就可推

断星系际气体是均匀分布的。此外，所需的气体量在星系的演化理论中是一个重要的量。

宇宙微波背景辐射也给出了宇宙大尺度结构的信息。精确的测量揭示出天空中这种辐射强度的平缓变化，它可归因于地球在宇宙中的运动。观测到的变化之大是意想不到的，其对应于本星系群相对遥远天体的速度，即500公里/秒。同样的测量揭示，没有别的大于0.03%的确定变化，这说明在背景辐射和物质维持相互作用期间，宇宙是高度均匀的。地面实验结果表明，微波背景辐射谱与大爆炸理论所预期的热辐射并没有明显的偏差，但是在亚毫米波段进行的气球实验却表现出难以解释的偏离。美国航宇局计划发射的“宇宙背景探测者”飞行器精度可达0.01%，它将在整个谱区测量背景辐射强度随方向的变化和与热辐射谱的偏差。

膨胀时间的尺度

大爆炸宇宙论预言，星系在相互分离，分离的速度正比于它们之间的距离。斯利弗(Slipher)和哈勃在本世纪二十年代通过对星系的亮度和红移的广泛测量，发现了这一关系的证据。星系的速度及其距离的比例常数叫做哈勃常数。按照相对论宇宙模型，哈勃常数的倒数(哈勃时间)大致等于宇宙现在的年龄，即大爆炸以后逝去的时间。

测定哈勃时间要求知道遥远星系的距离，可以把用不同方法测得的距离尺度组成一架“梯子”，它的每一阶都达到了空间的更深一层。哈勃自己对这一时间的估计是20亿年，后来经过数次改正。从50亿年到100亿年，以后又达到200亿年，最新的估计是在100~200亿年之间。恒星或星系被用来作为建造这个距离尺度的梯子，每一次距离尺度的订正都是由于我们对于它们性质的认识

有了重大进展的结果。

哈勃时间的数值对所有宇宙学的计算有着根本性的影响，为了确定它的数值，距离尺度阶梯的每一阶都必须确实可靠，并且必须考虑那些不能归因于宇宙膨胀的星系运动速度作出的贡献。这后一种影响的一个例子是在研究宇宙背景辐射时发现的本星系群的运动；当把它计算在内时，与该哈勃时间相应的一套数据便比较自洽了。

要使距离阶梯进一步精确化，还得做很多工作。宇宙距离尺度阶梯的第一阶是到毕星团的距离，本报告中所推荐的精确天体测量方法使更加精确测定毕星团的距离成为可能。因为利用空间望远镜可以达到很暗的极限星等，所以它将首次分辨出室女座星系团中的造父变星。由此便可去掉距离阶梯中的一个不准确中间阶。若地面望远镜推广采用先进光学探测器，则将使快速测量处在中远距离上的星系的红移成为可能。在这样的距离处，速度场几乎都是纯膨胀运动。空间望远镜通过比较这些星系和距离已确知的室女座星系团中球状星团的亮度，便能确定这些星系的距离。

早期宇宙

宇宙微波背景辐射提供了宇宙年龄约为现在年龄十万分之一以前的信息。因此，“宇宙背景探测者”卫星所作的实验对于早期宇宙的研究便非常重要，另外一些线索与最初三分钟内不同元素及同位素的核合成有关。这些元素丰富度的理论预言严格地取决于其时存在的普通物质质量。如果这个量小，则氦的丰富度高，氘的丰富度低；如果这个量大，则情形会相反。现有我们银河系内星际空间的氦、氘丰富度的资料（取表观值）表明这个物质质量太低，要让它的引力能阻止宇宙的膨胀，必须增加10倍才行。

然而，在恒星内部一直在产生氦，耗费氦，所以现在银河系中

元素的丰富度和由大爆炸生成的原始气体内的丰富度并不相同。如果存在星系际气体的话，它们的元素丰富度才算是原始的。天文学家们已经发现了遥远类星体的吸收线系统，它们可能产生于两种途径。其一是由类星体本身的厚气壳向外喷发所形成的云造成的，其二是由处于视线方向上的星系际云造成的。在第一种情形，所见到的现象应当与新星爆发的后期相似；在第二种情形，云内应当含有极少量的碳或其他较重的元素，这是恒星核合成所显示的迹象。由于这样的气体不曾在星系中停留过，所以这种云中的气体便成为研究原始氦和氘的良好候选对象，不过对这种气体中的氦和氘的观测，必须在比地面天文台所能达到的波长要短得多的区域进行，这就需要空间望远镜。通过空间望远镜，我们可以研究红移比1大的云的氦线和除红移极小外的所有云的氘线。

星系群、星系团和超星系团

在各种不同尺度上星系的成团倾向，可通过计算观测到的星系位置之间的统计相关性来研究。在早期的研究中，人们用视星来量度它们的距离，然后根据它们在天空中的观测方向就得到星系的位置。用这种方法计算出位置之间的相关值随星系对之间的距离增加按幂减小。解释这个现象的一个简单模型便是根据质点的引力成团倾向。这些质点的初始分布是随机的，然后随着宇宙的膨胀在它们之间的引力作用下运动。这种模型再现了所观测到的星系成团的许多特征，所以，星系可能在宇宙膨胀早期就已经形成，后来由于引力作用才聚集成群。

但是，最近的观测结果揭示出星系分布一个出乎意外的新特征。红移测量所提供的星系距离要比根据视星等估计的准确得多。借助于这种测量资料测量资料天文学家发现，星系团外的星系群并不是

杂乱分布在空间的，而是在星系团之间组成一些巨大的片层，因而它们之间还留有广阔的空区。要解释这个现象，也许就需要一个认为星系是在较晚时候形成的新理论模型。首先，巨大的气体湍流元相互碰撞，将气体压缩成片状，在气体片层形成之后星系才从中凝结出来，尔后便开始象以前的模型所说的那样聚集成群。

要了解星系的形成和聚集，我们需要两种数据。首先是要对大量星系进行红移普查。对于附近的星系，利用装有阵列探测器和快速摄谱仪的现有中等口径的望远镜便可以取得红移资料。但是，为了洞察更深的空间就需要大望远镜。五米级的望远镜将在这方面发挥巨大的效用。但是，只有十五米级的新型望远镜，比如新技术望远镜（NTT），方能以足够的速度来测量远距离星系的红移，从而累积到所需要的星系数目。新技术望远镜的测量速度可由其集光面积比以前最大望远镜的集光面积提高的数量级来衡量，这对研究项目的成败是尤为关键的。

隐匿质量和宇宙的结局

在过去的二十年中，天文学家对“隐匿质量”这个问题益发感到困惑不解。所谓隐匿质量即指组成宇宙大部分质量的物质是不可见的。星系的光谱表明，它们和我们的银河系一样含有正常恒星。然而，星系的内部运动却是如此剧烈，若使它们聚集在一起的引力只是我们所看到的那些恒星的引力的话，那么它们便将向四面八方飞散开去。所以，一定另外有质量以某种我们所不能直接感知的方式存在着，而且它们具有足够强大的引力使星系保持稳定。在旋涡星系中观测到的自转速度证明，一定半径范围内隐匿质量的多寡近似线性地随半径的增加而增加直到十万秒差距左右都是如此。通过研究由两个或两个以上星系构成的星系群也得到类似的结论：它们的质

量肯定比它们之中所有可见恒星的质量至少大十倍。

寻求隐匿质量之谜的答案乃是未来十年中天文学的一个重要目标。首要的任务便是找出隐匿质量是如何分布的。星系外部的球状星团的速度反映了局部引力场的强度，因而也就反映了母星系中质量的分布。因为即使在离我们较近星系中的球状星团也是极其暗弱的，所以为求得它们速度所进行的分光测量，非得用象新技术望远镜这样大的望远镜才行。星系本身便可用来探测星系团和超星系团中质量的分布。因为星系比球状星团亮得多，故用中等口径望远镜对星系团的研究工作已在进行之中。但是，遥远星系团中星系速度的测定对确定质量分布如何随时间变化却是十分重要的；这就需要新技术望远镜进行观测。

人们为了解释隐匿质量已经提出了各式各样的可能性：弥漫气体，有质量中微子，塌缩星（白矮星、中子星、黑洞）和暗红矮星。

通过射电、光学和X射线观测业已否定了将弥漫气体作为星系或星系团主要成分的说法；尽管星系团中存在1亿度的气体，但它的质量还不足以使星系团维系在一起。如果确实存在有静止质量中微子的话，则可能会注入到星系团乃至星系之中，这样便提供了隐匿质量。

各种类型的塌缩星，在原则上可构成许多隐匿质量。但是，这些恒星乃是大质量主序星的后代，因而只有在恒星形成的早期主序星总质量中以大质量恒星为主时，这类塌缩星在总质量中才会居于优势。可是，对于银河系中太阳附近恒星的形成情况所得到的观测结果却与此相反：低质量的暗红矮星非常多，它们就能说明维系在恒星内的绝大部分质量。人们能够推测，在星系演化的早期，星系的外部就有过很多大质量的恒星，因而现在那里便存在相当数量的

塌缩星。但是，若情况果真如此，人们将预期在星系的外部会出现较高浓度的重元素，因为大质量恒星合成重元素并随之把它们喷撒到星际介质中去。但这种估计与观测事实恰好相反。

暗红矮星也能够解释隐匿质量，因为星系外部大量暗红矮星的存在既符合重元素浓度较低的事实，也与在那里所观测到的低光度水平相一致。最近发现，红矮星乃是较亮的星系冕X射线源。这正好能检验上述假设。如果红矮星的数目足够多，高级X射线天体物理设备将可通过观测它们的星系冕X射线辐射的积分强度来探测出它们来。

隐匿质量问题是和宇宙最终结局的问题密切相联系的。根据大爆炸模型，若宇宙中的总质量小于某个临界值（据计算此值为每立方厘米 0.5×10^{27} 到 2×10^{27} 克），那么宇宙将会一直膨胀下去。如果其中的物质超过这个临界值，现存的膨胀过程在未来的某个时刻便发生逆转，宇宙将经塌缩而重新返回类似于大爆炸时的奇态。前面所讨论过的氦和氦的观测结果说明，普通物质仅占临界值的百分之十，所以只有有静止质量的中微子才能够使质量增高到临界值以上，各种形式质量总和的下限是从星系分布的集团质量得到的。最新的估计是在这种集团中质量的总和可能高达临界值的百分之四十。由于这比由氦和氦的观测资料所得到的普通物质总量的上限大，所以可以认为有静止质量的中微子或许能解释宇宙中的大部分隐匿质量。关于有静止质量中微子问题将在本章最末一节中进行深入的讨论。

二、星系的演化

二、星系的演化

星系的研究

象我们所处的银河系一样，可见宇宙中千亿以上的星系乃是名副其实的奇特而迷人的体系。随着它们所贮存的原子能和引力能的释放，星系便演变为更有组织和更为致密的天体。

在星系的种种形状中，哈勃辨认出一些反复出现的图案——旋涡状，椭圆状，透镜状和无规则状；这些图案尚未在理论上得到完全的解釋。椭圆状和透镜状星系几乎不包含星际气体和尘埃，而旋涡状星系却含有星际气体和尘埃以及新近才由它们形成的年轻恒星。直到最近，河外旋涡星系中的气体和尘埃还只能在光学波段通过对星际暗尘埃云和被年轻恒星照亮的亮气体云照像以高角分辨率来进行研究。现在，甚大阵列射电望远镜对星系描像，既可用星际原子氢所产生的21厘米谱线，又可用星际磁场中由相对论电子回旋作用产生的同步加速辐射；这样便能以同光学望远镜不相上下的角分辨率来描绘星际介质的分布和状态。

在整个天文学的领域中，光谱学可算是深入认识宇宙的一把钥匙。地面光学光谱学证明，绝大多数星系的主要成分都是质量大小和年龄长幼各异的恒星，就象我们的银河系一样。但是当前的地面望远镜难于用来获得星系的极暗子系的光谱，例如单颗的巨星、电离气体区和球状星团等的光谱；这种望远镜太小，不能以足够高的速度收集光子。新技术望远镜的集光面积提高了一个数量级，因而能够得到这些天体的光谱，这样就可开拓一个涉及到星系内的化学成分、恒星质量的分布以及转动速度与无规则速度的完全崭新的研

究分支。对于给定红移的星系来说，新技术望远镜将能以更高的光谱分辨率开展研究工作；对于相同的光谱分辨率，它可研究有更高红移的星系。后一种功能对于分析将被空间望远镜发现的大红移天体具有决定的意义。

我们为八十年代介绍和推荐了一些新仪器。它们最引人瞩目的一个效能是，在更为遥远的宇宙距离上对星系的各种特征与红移的关系进行系统的探索。宇宙的大爆炸模型预言了这种依赖关系，因为星系随时间的演化可转译为随回顾时间的变化，即随红移大小的变化。空间望远镜和新技术望远镜将能首次观测到红移明显超过1（相应的回溯时间大于哈勃时间的一半）的星系。空间望远镜能够摄录到这样遥远天体的像是因为像清晰得可使它从背景中显示出来。新技术望远镜能够拍摄它们的光谱，是因为它的集光面积比现有的大望远镜大得多。如果组成星系内部的物质在大爆炸之后不到十亿年便已经达到平衡态的话，星系的形状将与红移的关系不密切，而且直到红移增到10左右都是如此。不过，星际气体形成恒星的转化过程和恒星的演化过程都非常缓慢，因此只有在低得多的红移情况下才能观测到它们。孤立的椭圆星系的光谱应该显示出反映星系中恒星演化的微妙变化，而孤立的旋涡星系又应显示出星际物质的逐渐减少以及由超新星爆发所产生的重元素的浓度增高。一个主要的间接效应就是短寿命的大质量恒星数目随着形成它们的气体的损耗而减少。若大爆炸理论的这些基本预见得不到观测资料的证实，我们就得对现行的学说做重要的修正。

星系的形成

大爆炸宇宙学的第一个相对论模型是由弗里德曼于1922年建立的。为了简化起见，他假设物质是绝对均匀分布的。尽管这个假

设和恒星与星系的客观实际相矛盾。但这个模型仍是有价值的。这是因为很大距离求平均时，物质的分布确实是相当均匀的。不过，星系起源在大爆炸模型中依然是个悬而未决的问题。

如果假定星系产生于早期宇宙中局部物质数量的微小涨落，则星系的许多性质至少可得到定性的解释。在那时，物质的行为是由宇宙背景辐射所施加的压力决定的。密度涨落可能有两种类型。一种称为等温涨落，它将产生引力不稳定的物质团块，如果团块包含 10^7 到 10^8 个太阳质量的话。另一种类型是绝热涨落，它也将产生引力不稳定的团块，如果它们包含 10^{11} 到 10^{12} 以上太阳质量的话。无论是哪种情况，在大爆炸之后的约十万年内便出现不稳定性，结果是使涨落物质立即不再随宇宙一起膨胀，于是由于自身引力作用气体的吸积变得益发密集起来。最后，涨落物质便将形成分立的质量多少不一的气体云。

“宇宙背景辐射探测者”卫星将通过观测与早期宇宙的任何密度涨落相伴随的背景辐射的扰动，来对上述不稳定过程提供重要的情报。如果涨落涉及到的质量大约是星系团的质量，则影响背景辐射的温度和强度都发生变化的绝热涨落终会导致角度为几度的强度变化。相当各个星系的1度以下的较小角度涨落的补充信息将由空间的大型折迭式反射望远镜获得。针对不同大小和质量的不同初始涨落随机组合的绝热涨落理论已完善地建立起来了。涉及 10^{11} 至 10^{14} 倍太阳质量（通常认为星系群和星系团的质量即为此值）的涨落将首先形成云；尔后这些云才在星系团和群的范围形成星系。包括 10^{11} 到 10^{14} 以上太阳质量的星系团和超星系团必须通过这种尺度的原始物质团块的引力成团作用才得以形成。

另一种机制是等温涨落，它可能在星系形成的初期发挥主导作

用。在这种情况下，第一批形成的天体肯定具有 10^3 到 10^4 个太阳质量。尔后通过这些较小天体的引力成团作用再形成星系。包括 10^3 到 10^4 个太阳质量的球状星团甚为常见，这个事实便是等温涨落的一个自然结果。假如星系起源于一些含有 10^3 到 10^4 太阳质量的天体，那么星系群和星系团的形成就必定是通过星系本身的引力成团作用。这个过程能够用计算机来进行模拟，它把每个星系看成一个质点，然后计算它与相邻质点之间的引力作用。在过去十年中用这种方式完成了大量的引力成团模拟，所得结果在某些方面倒和观测事实相符合，但它们却没有预见在星系团之间观测到的那些没有星系的巨大空区。星系和星系团究竟孰先起源这个问题迄今仍然决疑不下。

在现有的有关星系塌缩或成团作用的计算机模拟结果中，还没有哪一个给出过涨落本身的起因。根据基本粒子的大统一理论来解决这个重要问题的新尝试却是令人鼓舞的。

一团气体云塌缩成象银河系一样的盘状星系，尔后再形成第一代恒星。这两个过程一般认为都是发生在星系演化的前10亿年间。所以，只能在遥远的星系中才观察到这些过程，因为我们现在从这些遥远星系接收到的辐射还是在它们年轻时候发出来的。尽管这种辐射可能很弱，但由于宇宙膨胀的缘故红移量可达10以上，故还是可被下一代仪器探测到。从年轻星系中发出的光学和紫外辐射，若不为星系附近或星系际空间的尘埃所吸收，则将红移到红外区。航天飞机红外望远镜设备在红外波段的灵敏度极高，因而能检测到它。早期超新星爆发产生的重叠激波可使星际气体加热到10亿度的高温，从而激发出能透过尘埃的，能量达10万电子伏特的X射线。这些X射线既然被红移至数千电子伏特的区域，据最新计算，用高

级 X 射线天体物理设备是能够观测到的。如果一个象我们银河系一样的星系在它刚刚诞生的时候被我们发现，那就将对开展研究工作提供一个令人高兴的好机会。

星系的演化

星系一旦形成，就会缓慢地演化。因为死亡着的恒星把新合成的原子核注入到残余的星际气体中去，而从这些气体中，又会产生出新一代的恒星。最近有些模型提出，进入星际介质的大多数物质是由中等质量的恒星抛射出来的。这些恒星演化为红巨星，然后产生行星状星云。红巨星将其大部分外层物质耗损于低速星风中，而较深层的物质在最后一次爆发中被抛出后，就形成行星状星云。另一方面，注入星际介质中的大部分能量来自大质量恒星的爆发，爆发时整个恒星崩溃，形成超新星。超新星爆发也是重元素的主要来源。

只有质量等于或超过太阳质量的恒星才会在哈勃时间内有明显的演化，因而在星系形成以来出现的几代恒星期间，大多数星际介质演化了低质量恒星。这些低质量恒星在宇宙寿命中演化极慢。由于大多数质量变成了演化缓慢的恒星。因此，星际物质中重元素不断变得更丰富，同时星际物质的质量却不断减少。

在旋涡星系和椭圆星系中，恒星形成的速率显然是不同的。因为现在看来，旋涡星系包含着大量星际物质。而椭圆星系则很少。有人认为，椭圆星系的早期，恒星形成速率很高，频繁的超新星爆发有可能把剩余气体以所谓“星系风”的形式驱赶出去，阻止了恒星的继续诞生。显然，超新星爆发至今仍在相当频繁地发生，使椭圆星系把星际物质都清扫掉了。另一方面，旋涡星系内最初的超新星爆发速率不太大，还不足以一下子清扫掉星际介质，因此有足够

多的星际物质至今还保留着，维持着活跃的恒星形成过程。这样，椭圆星系和旋涡星系中星际介质数量的不同可能是那些变成超新星的大质量恒星以不同的初始速率产生出来的；这种速率为什么会不同，乃是星系演化的一个重要的未解决的问题，它将通过对大红移星系的研究来得到解释。

星系风的存在与当今对富星系团的 X 射线观测结果相符合，这些富星系团内大多数星系或者是椭圆星系，或者是其近亲透镜状星系。许多富星系团中都存在热的、辐射 X 射线的星系际介质，其总质量和化学组成都与下述假设相符：它们是由星系风累积起来的。星系际介质一经产生，它们就会帮助气体从星系中迁移出去。因为当星系际介质通过星系时，会把气体从星系中扫出来，从某些星系的 X 射线及射电图象中可以得到有关此过程的证据，证明现在正在发生这种清扫过程。顺着这条线索人们就能理解为什么富星系团中缺少富气体星系。不过要详细了解这一点，还需等待高级 X 射线天体物理设备的观测结果，因为它的灵敏度和角分辨率大于“爱因斯坦 X 射线天文台”，可以观测到更远距离的清扫过程。

任何一种描述星系演化过程的理论都必须考虑宇宙线的影响，宇宙线是一些相对论性粒子，用空间荷电粒子探测器进行的实验可以推断它们的存在。宇宙线是我们银河系中显要的永久性成员，其丰度各向同性，意味着它们在银河系中的历史已有几千万年之久，而其中大部分时间是在银晕中度过的。实际上，宇宙线构成了相对论性气体，其压力与星际气体的随机运动以及星际磁场所造成的压力相当；因此，在气体盘的平衡膨胀中，在星际介质破碎为分子云复合体时，以及在维持星系晕及促使星系晕活动方面，宇宙线气体都起着关键作用。所以，在了解星系演化过程所作的全部努力中，

确定宇宙线的起源和传播是一个重要的方面。航天飞机上的宇宙线实验将提供宇宙线的成分、能谱及其同位素分布的新资料，向着这个目标推进一步。

为了证实我们关于星系演化的思想，就不仅要观测那些遥远星系，也需要充分地研究我们的银河系及其邻近星系。而遥远星系的特点与演化较充分的邻近星系不同。现在已经知道，恒星质量损失对星系演化有深远的影响，航天飞机红外望远镜设备的灵敏度很高，将会发现许多较冷的红巨星包层。在这些包层中，由于大量嵌入的尘埃而使星光降到红外辐射波段；亚毫米波、毫米波和红外的望远镜，包括空间的大型可展式反射镜，10米的亚毫米波天线，25米的毫米波射电望远镜以及新技术望远镜都可作这些包层中分子光谱的分光测，可以定出核和同位素的丰富度。这些就是母恒星中发生的核过程的线索；它们也将确定流出气体的速度和质量，这是计算质量被抛进星际介质中去的速度的一个决定性参数。

空间望远镜的极限星等极暗，能够证认出的低质量恒星比至今为止可以证认的要多得多，这些恒星被认为是处在太阳附近的，这样就可以精确得多地估计出贮存在这些恒星中的质量，航天飞机红外望远镜设备有助于进行这种估计，它对于极冷的暗星要比至今所用的红外望远镜灵敏得多，空间望远镜由于其紫外灵敏度高，可期望用来发现新的白矮星，从而改善我们对已经历演化的中等质量恒星数目的估计。新技术望远镜有较大的集光面积，有可能得到邻近星系的各种类型次系的光谱，因而能够揭示出丰度变化，人们预期这种变化是星系内各点有不同演化速率的结果；25米的毫米波射电望远镜可以用足够的角分辨率来测定CO和其他分子的同位素丰富度，以探测到星系表面各处的丰富变化；该射电望远镜的束宽在