

活动星系核的结构与能源机制

卢炬甫

(中国科学技术大学天体物理中心)

提 要

本文分三部分。首先列举活动星系核的各项基本观测特征,其次是关于这类活动天体的结构,着重讨论宽线区和窄线区的物理性质以及光致电离过程;然后评述能源机制的主流模型即黑洞吸积盘模型,包括星系活动的起因和维持等问题上的最新进展。

一、活动星系核的基本观测特征^[1-3]

1. 从一个远小于星系尺度($\sim 10\text{kpc}$)的区域(小于或远小于 0.1pc)发出远强于正常星系的电磁辐射,持续的辐射功率从 $\lesssim 10^{41}\text{erg}\cdot\text{s}^{-1}$ (暗弱的 Seyfert 星系)到 $10^{48}\text{erg}\cdot\text{s}^{-1}$ (明亮的类星体)。

2. 辐射的连续谱在宽广的频率范围内大致呈幂律形式,即有流量密度与频率的关系 $F_\nu \propto \nu^{-\alpha}$ 。从远红外到软X射线段,谱指数 $\alpha \approx 1-1.2$;在射电段有 $-0.2 < \alpha < 0.5$;X射线段的 α 约在 $0.7-1.2$ 。来自活动星系核的 γ 射线(0.1MeV 以上)还很少见。只有3C273有高达 100MeV 辐射的记录,因而是迄今唯一堪称有全波资料的源。

3. 在幂律谱的背景上还有一些重要的超出。一个是在 3000\AA 附近,称为“小蓝包”,由许多 Balmer 线和 Fe II 线迭加而成;另一个是在紫外并延伸到软X射线区($10^{14.5}-10^{18.5}\text{Hz}$)的连续辐射,叫做“大蓝包”。

4. 有强的发射线(BL Lac 型天体除外,这类天体也没有蓝包),分宽、窄两类。窄线包括 H、He 允许线和 O、N、S、Fe 等的禁线,半极大处全宽(FWHM)在 $200-700\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 的范围。宽线是 H、He、Fe 的允许线,FWHM 为 $500-7000\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$,零强度处全宽(FWOF)则达 $5000-30000\text{km}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

5. 连续谱光度和宽线的强度、轮廓随时间变化。BL Lac 型天体和光学剧变类星体(OVV)的亮度可在月、天甚至更短的时间变化一个星等以上。光度剧变常有高偏振相伴随。除极高电离态的 Fe⁺⁹的禁线外,没有观测到窄线的变化。

6. 相当大的部分活动星系核在射电段被观测到喷流。在喷流的终止处形成巨大的射电瓣。核辐射较弱的源(常是射电星系),其两侧的喷流亮度大致相同,形状常是弯曲的。强辐射源的喷流亮度则明显不对称,许多类星射电源(QSR)的喷流只在一侧出现,形状则极为准直(详见文献[4])。

二、窄线区和宽线区的物理性质

由以上观测事实,可以推测活动星系核的基本结构应包括:连续辐射区、宽线区、窄线区、喷流及射电瓣(图1)。

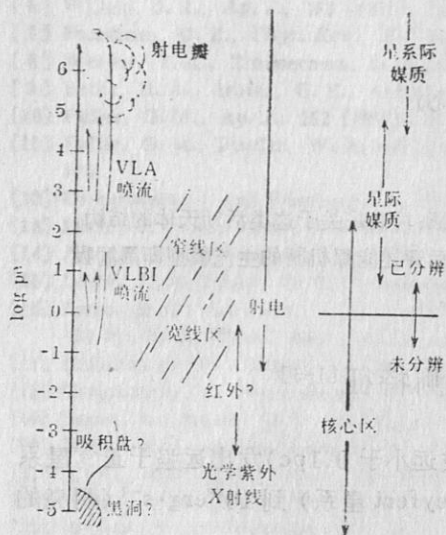


图1 活动星系核结构示意图^[5]

为 $3 \times 10^8 \text{ cm}^{-3}$, 温度 $T \approx 15000 \text{ K}$ 。宽线区的温度则还没有什么直接方法确定,一般认为也大致相同。

这两个区的尺度可由某一特征发射线的光度来推算。例如, H_{β} 的光度可写成

$$L_{(H\beta)} = N_e N_p \alpha_{H\beta} h\nu_{H\beta} f V \quad (1)$$

其中 N_p 是质子数密度, 近似应有 $N_e = N_p + 1.5N_{He}$ (H 完全电离, He 则一半电离成 He^+ , 一半成 He^{++})。对于窄线区, H_{β} 基本上是由于电子与质子复合到主能级 $n \geq 4$ 以后的向下跃迁, $\alpha_{H\beta}$ 即是复合系数, $h\nu_{H\beta}$ 是光子能量, $V \left(= \frac{4\pi R^3}{3} \right)$ 是总体积, f 是一个修正因子, 意义是发出辐射的质量密集部分在总体积中所占的比率。根据从银河系内气体云得来的知识, $f \approx 10^{-2}$ 。于是, 由对一些明亮的 Seyfert 星系窄线的观测值 $L_{(H\beta)} \approx 2 \times 10^8 L_{\odot}$, 并取 $N_e = 10^4 \text{ cm}^{-3}$, 得到 $R \approx 90 \text{ pc}$, 以及该区总质量 $M \approx 10^6 M_{\odot}$ 。事实上, 那些最邻近的 2 型 Seyfert 星系的窄线区已被直接分辨出来, 其尺度确为 100 pc 量级。至于宽线区, Balmer 线的产生机制可能要复杂得多。但不妨仍用这个方法作点估计, 最明亮的 Seyfert 1 有 $L_{(H\beta)} \approx 10^9 L_{\odot}$, 取 $N_e \approx 10^9 \text{ cm}^{-3}$, 得 $R \approx 0.07 \text{ pc} \approx 0.2 \text{ 光年}$ 及 $M \approx 40 M_{\odot}$ 。这样小的尺度是目前无法作直接观测分辨的。

(2) 宽线区的隐藏问题

初看起来, 类星体、Seyfert 1 和宽线射电星系既有宽线又有窄线, 因而它们应兼含宽线区和窄线区; 而 Seyfert 2 和窄线射电星系只显窄线, 似乎就只有窄线区。然而, 更有吸引力的观点是, 所有活动星系核都含有宽线区, 只不过在某些情况下藏而不露, 比如, 被核自身的连续谱淹没, 被星系里恒星的吸收线抵消, 被某种中介物质阻挡, 或者是造成线发射的机制

1. 宽线区与窄线区

(1) 基本物理参量^[2,3]

显然, 窄线区中物质的速度场应在每秒数百公里的量级, 而宽线区的则可以高达每秒万公里以上。

由宽禁线的不出现可推测, 宽线区的物质已全部碰撞去激发, 因而应是密度较高的电离气体, 具体估算应有电子数密度 $N_e \geq 10^8 \text{ cm}^{-3}$ 。这个密度的上限可以这样设定: 许多 1 型 Seyfert 星系和类星体有半禁线 $C \text{ III }]\lambda 1909$, 其 FWHM 与允许线相若, 因而 N_e 应不大于 $3 \times 10^9 \text{ cm}^{-3}$ 。不过最新的光度观测资料似乎要求宽线区有更高的密度(见下文)。由于有禁线, 窄线区的物质密度自然要低得多。由禁线的强度比, 例如 $[O \text{ III }] [I(\lambda 4959) + I(5007)] / I(\lambda 4363)$ 和 $[S \text{ II }] [I(\lambda 6716) / I(\lambda 6731)]$, 可得出这个区 N_e 的典型值约

暂时关闭。下列事例支持这种设想: (1)从一些 Seyfert 2 的光谱中仔细剔除恒星的吸收成份后, 有的谱线露出了宽翼^[6]; (2)新的分光偏振技术从一些偏振较高的 Seyfert 2 (例如 NGC 1068) 光谱中分析出了宽线^[7,8]; (3)当 BL Lac 型天体的连续谱光度变到最低时进行的高信噪比观测“挖”出了原被掩盖的宽线^[9]; (4)个别星系如 NGC 7603 的谱型在数月内由 Seyfert 1 变成了 Seyfert 1.9^[10], NGC 3516 也可能发生了类似变化^[11]。尽管如此, 是否所有窄线星系都藏有宽线区还是现在不能确定的问题。

(3) 光电离

对于窄线区来说, 由其相对较低的电子温度 ($\sim 15000\text{K}$) 和很高的电离态 (如 O^{++} , Ne^{++}), 主要的造成气体电离的机制应当是光电离 (其他机制如激波会导致高得多的温度)。而星系核自身的强连续谱, 正好是电离所需要的光子源。下述事实是有力证据: 对于绝大多数 Seyfert 2, 其 H_β 线的等值宽度即 $L_{(\text{H}\beta)}$ 与连续谱光度 $L_\nu (\propto \nu^{-\alpha})$ 之比近似是一个常数。这正是光电离模型所预期的^[12]。因为如果总的电离光子数是等于总的复合数,

$$\int_{\nu_0}^{\infty} \frac{L_\nu}{h\nu} d\nu = N_e N_p \alpha_B f V \quad (2)$$

α_B 是复合系数, 则 $L_{(\text{H}\beta)}$ (由 (1) 式给出) 必是来自这些复合的一个确定的部分。

宽线区的情况要复杂些, 但可能也主要是由于光电离。证据也类似: 对于各种类型的活动星系核 (Seyfert 1 和 2, 类星体, 射电星系), H 线特别是 H_α 和 H_β 的光度也与连续谱光度成正比。这种相关性存在于跨越 6 个量级的光度范围 (图 2)。

另一个关于宽线与连续谱辐射有紧密联系的强证据是, 连续谱光度的变化往往有宽线强度和轮廓的变化尾随。由于连续谱很可能是从星系核内一个极小的中心区域产生, 这两个光变之间的间隔时间与光速的乘积就给出宽线区的半径 R 。有一批 Seyfert 星系的宽线区尺度就这样测算出来。例如, NGC 5548: $R = 7 \pm 3$ 光天^[13], NGC 4151: $R = 9 \pm 2$ 光天^[14], Akn 120: $R \lesssim 30$ 光天^[15]。从这些结果看来, 宽线区的尺度似乎远小于上文中给出的估计, 其中的物质密度也相应地大为提高而达到 $N_e \approx 10^{13} \text{cm}^{-3}$ 。但是在光电离模型中用这个密度值计算的宽线谱形与观测的符合不如用低密度值 ($N_e \approx 10^9 \text{cm}^{-3}$) 作的好^[16]。

总之, 宽线区的物理条件以及光电离模型的适用程度, 还是不清楚的问题。

2. 幂律连续谱的产生

由连续辐射近似幂律的谱型, 几乎可以肯定辐射是非热的。主要的机制很可能是相对论电子在磁场中的同步加速辐射^[17]。如果电子数密度随能量 E 的分布是幂律的 (宇宙线的观测结果确是如此),

$$N(E)dE = kE^{-2}dE \quad (3)$$

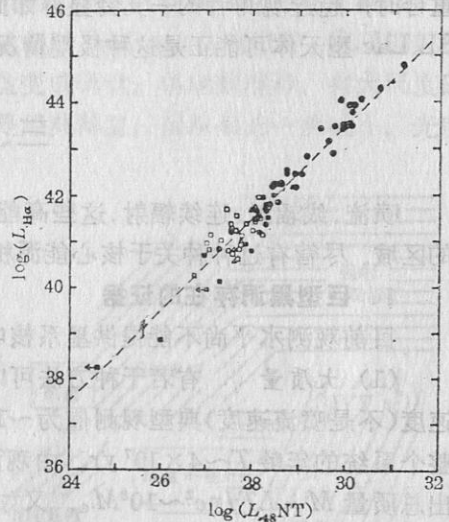


图 2 H_α 线光度 (实心符号为宽线, 空心符号为窄线) 与 4800\AA 处连续谱光度的关系^[12]

其中 k 是常数, 则产生的辐射谱是

$$F_{\nu} \propto \nu^{-(p-1)/2} \quad \text{即 } \alpha = (p-1)/2 \quad (4)$$

从红外到紫外的连续谱可能就是星系核心一个极小区域里同步辐射的直接结果。射电辐射除了来自核心区域外, 还可以在喷流中产生。X射线则可能是由于一个连锁过程: 同步辐射的光子与相对论电子碰撞而获得电子的动能。这个过程叫做同步自 Compton 辐射。

同步辐射模型的主要不明之处是相对论电子的来源。目前主要有两种设想, 一种是 Fermi 加速, 由大尺度磁场或等离子体中的激波过程来完成^[18]。另一种受到更多注意的是所谓对级联(pair cascades)机制^[5]。大意是: 能量极高的初级 γ 光子(比如, 可由 π 介子衰变得到, 而 π 介子则由激波加速过的质子生成)与较软的光子作用产生高能正负电子对。这些对又通过 Compton 和同步过程产生次级 γ 光子。新的光子又与软光子作用产生新的电子对。只要软光子场对于新的光子是光学厚的, 即如此重复。那些漏逸出来的 γ 光子就成了可观测的 γ 波段连续辐射(关于连续辐射下文将继续述及)。

3. 喷流的 Doppler 效应

活动星系核现在能够直接分辨的结构, 除了窄线区, 就是喷流了。喷流的速度和取向, 是两个基本参量。尽管有人主张有的喷流本质上是单侧的, 多数意见认为所有喷流本来都是成双和对称的, 而观测上的不对称应归因于 Doppler 效应。当喷流取向与观测者视线近乎重合时, 趋近观测者的一支会显得如此明亮以至于掩盖了母体, 另一支则暗得根本看不到。BL Lac 型天体可能正是这种极端情况, 这些都已在文献[4]中作过详细介绍。

三、黑洞吸积模型

喷流、线辐射、连续辐射, 这些高能物质运动和辐射, 都被追根寻源到星系核心一个极小的区域。尽管有过种种关于核心能源机制的构想, 现在最好的模型仍然是巨型黑洞的吸积^[19]。

1. 巨型黑洞存在的证据

目前观测水平尚不能提供星系核中黑洞存在的直接证据, 然而间接的证据是多而有力的。

(1) 大质量 有若干种方法可以估计星系核中心集聚的质量。例如, 双射电瓣的分离速度(不是喷流速度)典型观测值为 $\sim 10^3 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ 。对天鹅座 A, 现在两瓣相距约 80 kpc, 则整个系统的年龄 $T \sim 4 \times 10^7 \text{ yr}$ 。由观测的光度 $L \sim 10^{46} \text{ erg} \cdot \text{s}^{-1}$, 取释能效率 η 为 0.1, 则得出总质量 $M = LT/\eta c^2 \sim 10^8 M_{\odot}$ 。又如, 取宽线区物质运动速度为该区逃逸速度的下限值, 即可由该区半径推出中心质量(下限)。比较更直接的证据来自对邻近正常星系中恒星速度分布的观测。恒星公转速度和弥散速度的陡峭向内增长, 表明中心有点状大质量存在。M31 和 M32 就被据此推测各有一个质量为 $\sim 5 \times 10^7 M_{\odot}$ 和 $\sim 8 \times 10^6 M_{\odot}$ 的黑洞^[20]。总之, 星系核中心质量在 $10^6 - 10^{10} M_{\odot}$ 的范围。

(2) 小尺度 估计星系核尺度(上限)的最好方法是通过光变。一般说来, 光变区域尺度 D 与光变时间 Δt 之间应有

$$D \leq c \Delta t \quad (5)$$

例如, BL Lac 有 $\sim 11 \text{ min}$ 的光学光变, 相应应有 $D \leq 2 \times 10^{13} \text{ cm}$ 这已是一个质量为 $10^8 M_{\odot}$ 的

黑洞引力半径的量级。更快的光变，如 OJ 287 约为 30s 的红外光变^[21]，恐怕就是被 Doppler 效应缩短过的了。

(3) 高释能效率 作为恒星能源机制的热核反应其释能效率 η 是 0.007。如果活动星系核的能量也来自热核反应，则每个星系核中每年要烧掉相当于数百个太阳的物质。这个需求是难以实现的。而被黑洞吸积的物质释放引力能的效率 η 是在 0.057(不转黑洞)到 0.42(极端 Kerr 黑洞)之间。于是每年只要有不到 1 个或至多几个太阳质量的物质被黑洞捕获，即可提供活动星系核的能量。

(4) 喷流 由 VLBI 观测到的小尺度($\sim pc$)喷流和由 VLA 观测到的大尺度(Kpc—Mpc)喷流取向的一致，表明喷射源对方向的记忆至少能保持 $10^6 yr$ 。最自然的解释是这个方向正是一个转动黑洞的轴向。喷流的高到近乎光速的速度也表明必然存在一个极深的引力势阱，再次要求小尺度内的大质量。

(5) 演化 对上述及其他未列举的证据也许还可以提出异议。比如说，星系核心是一颗超巨星，或者是一群恒星级质量的黑洞和中子星。于是，最后的也是最理论性的证据是，那些状态也许可以存在，但只能是暂时的，最后必然都演化成一个巨型黑洞(见文献[19]的图 1，即著名的 Rees 图)。

2. 吸积盘与活动星系核的统一模型

吸积盘是一种能够有效地将引力能转化为辐射的机制。各种吸积盘模型已在文献[22]中介绍。简单说来，当吸积率很大，因而辐射光度接近或超过 Eddington 限度时，出现辐射压厚盘。随着吸积率的减小和辐射光度的相应降低，厚盘变成薄盘。薄盘有两种，有大尺度磁场渗透、包围着的叫做电磁薄盘，没有这种磁场的就是经典薄盘。吸积率进一步减小，光度更低，这时形成离子压厚盘。

以黑洞的吸积盘为基点，可以构造一个关于活动星系核统一模型的框架^[23](图 3，其中 \dot{m} 是实际吸积率与 Eddington 光度所要求的吸积率之比)。基本参量只有两个，即黑洞质量 M 和吸积率 \dot{M} 。辐射压厚盘可能出现在吸积的早期阶段。那时黑洞周围的物质丰富，因而吸积率很大。黑洞的质量和角动量都因吸积而增长。大部分类星体和 Seyfert 1 就处在这个阶段。OVV(光学剧变类星体)和 LINER(低电离核发射区)可能处在临界状态。随着吸积原料的减少，薄盘形成。这是中间阶段，对应着 Seyfert 2、光度较小的类星体和核辐射较强的射电源。吸积率进一步减小，进入离子压厚盘阶段。这时就表现为核辐射较弱的射电源。包括银河系在内的正常星系是 M 和 \dot{M} 都较小的状态。

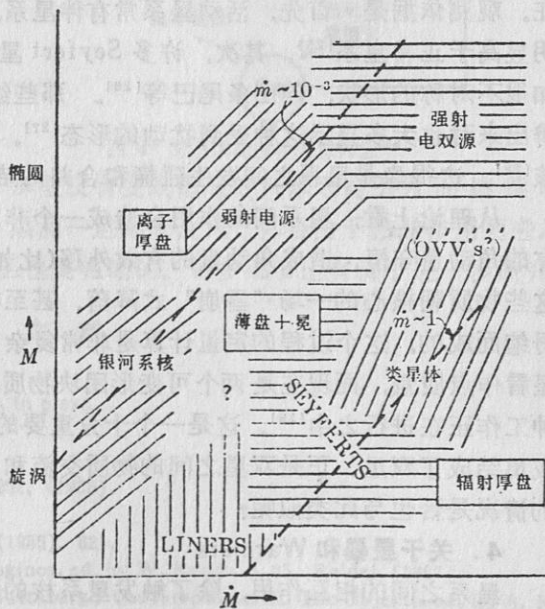


图 3 活动星系核的统一模型^[23]

吸积盘举足轻重的作用主要是两个,即产生喷流和发出连续辐射。辐射压厚盘以其盘面的强大辐射来推斥一部分吸积物质,从而形成喷流。在离子压厚盘的情况,喷流的能量来自被电磁过程提取的黑洞转动动能。电磁薄盘的喷流则依靠由电磁过程直接从吸积盘物质提取的动能。经典薄盘则不大可能产生喷流^[41]。

活动星系核连续辐射的幂律谱背景上的“大蓝包”,很可能就是直接来自吸积盘表面的热辐射的贡献。在经典薄盘模型中,假定盘面处处各自作黑体辐射,整个盘就是一个延展状黑体,其等效温度由外向里逐渐升高。盘内区的典型温度是

$$T \approx 1.4 \times 10^5 \left(\frac{M}{10^8 M_\odot} \right)^{-1/4} \left(\frac{\dot{M}}{\dot{M}_E} \right)^{1/4} \text{ K} \quad (6)$$

\dot{M}_E 是 Eddington 光度所对应的吸积率(取 $\eta = 0.1$)。这样计算出来的结果,确能很好地拟合“大蓝包”,因而成为活动星系核中吸积盘存在的有力观测证据^[24](最近用辐射压厚盘模型所作的计算也取得类似结果)。至于非热辐射,则可能发生于作为盘大气最外层的冕^[17],这与太阳和恒星大气的情形相似。

3. 吸积原料的供给

黑洞吸积的原料,主要是星系中的气体(也可能是经过黑洞附近而被捕获的恒星)。这大概就是大多数活动星系为旋涡星系的缘故,因为这类星系中气体较丰富。但是,吸积盘的半径大约只是黑洞引力半径的百倍或千倍,也就是 $10^{-3} - 10^{-2} \text{ pc}$,而整个星系的尺度却是在 10^4 pc 的量级。气体物质如何跨越这六、七个量级的距离而到达吸积盘?或者说,如何首先丢失掉自己绝大部分的角动量?这才是原料供给问题的真正含义。

这是一个大问题,难以从星系自身找到答案。另一个星系的引力作用也许才是关键所在。观测依据是:首先,活动星系常有伴星系。例如, Seyfert 星系中有伴星系的比率,明显高于正常星系^[25]。其次,许多 Seyfert 星系表现出因外力作用而明显受到扰动的结构,如很不对称的形状、伸出条尾巴等^[26]。那些红移相对较小的类星体,它们的母体星系被分辨出来时也大多显示这种受到扰动的形态^[27]。第三, Mrk 231 等几个 Seyfert 星系具有多内核^[28]。这很像是星系之间发生碰撞和合并的结果。

从理论上讲,星系间的作用会造成一个非轴对称的扰动。这种扰动会打破星系中物质原有的角动量守恒,造成角动量的有效外移(比如通过被扰动激起的旋涡状密度波),从而触发这些物质朝核心的一场“雪崩”式降落。甚至有可能,黑洞本身也是由这些急剧集中的物质坍缩而成的。这个过程的定量计算是非常复杂的。这不同于双星的情形,在那里可以把每颗星看作点质量,而现在是两个可变形团块物质之间的作用,需要大型计算机作数字模拟,这种工作正在进行之中^[29]。这是一个十分重要的研究方向。在恒星世界里,约有 60—70% 的成员结成了双星。正是双星之间的物质交流和相互作用,导致了形形色色的活动现象。星系的情况是否也与此类似呢?

4. 关于星暴和 Warmers

星系之间的相互作用,除了触发星系核的活动外,还可能有一个重要的效果,就是引起星系中恒星形成速率的爆发式增长,简称星暴^[30](starburst)。因为,恒星是由气体凝缩而成的,星系中气体受到扰动而造成的某一区域密度的急剧增长,必然加速恒星的形成。早期

恒星的附近还有许多尘埃和气体，它们在吸收那些恒星的紫外和光学辐射后会发出丰富的红外辐射。因而具有星暴的星系其红外辐射非常突出，甚至成为整个星系辐射的主体。那些被早期恒星照射的气体也会产生发射线。

受此启发，有人提出^[31]，Seyfert 星系和 LINER 中导致气体电离的光子不是来自一个非热的源，而是来自一些在星暴中出现的质量很大 ($>60M_{\odot}$)、温度很高 ($\sim 2 \times 10^5$ K) 的恒星。这样的恒星被取名为 Warmer，也许可译为热星。这样，黑洞吸积盘就不必要了。诚然，星暴确可能发生在星系活动总过程的某一阶段(图 4)，活动星系的能源也可能确有星暴和热星的贡献。但总的说来这些恒星过程恐怕只能是配角，因为很难用来说明活动星系核的许多主要特征，如快速光变、偏振、喷流，以及从 LINER 到 Seyfert 2 与 Seyfert 1 以至类星体物理性质上的连续性。

图 4 是关于星系尺度的物质经过各种可能途径、跨越各级空间尺度、最后落入中心黑洞的总过程的最新构想。星系之间的相互作用首先使物质落到 $\sim 1\text{kpc}$ 的区域。这区域物质的形式很可能是分子云。各种不稳定性导致这些云继续下落。星暴出现在 $\sim 100\text{pc}$ 的尺度上。那些没有变成恒星的气体因自引力而继续收缩，成为致密星团，并在星团中心形成黑洞。黑洞一旦形成，则气体会由于粘滞作用而进入吸积盘，最后落入黑洞。整个构想是宏伟的，但也是粗略的。许多细节还有待于进一步研究。

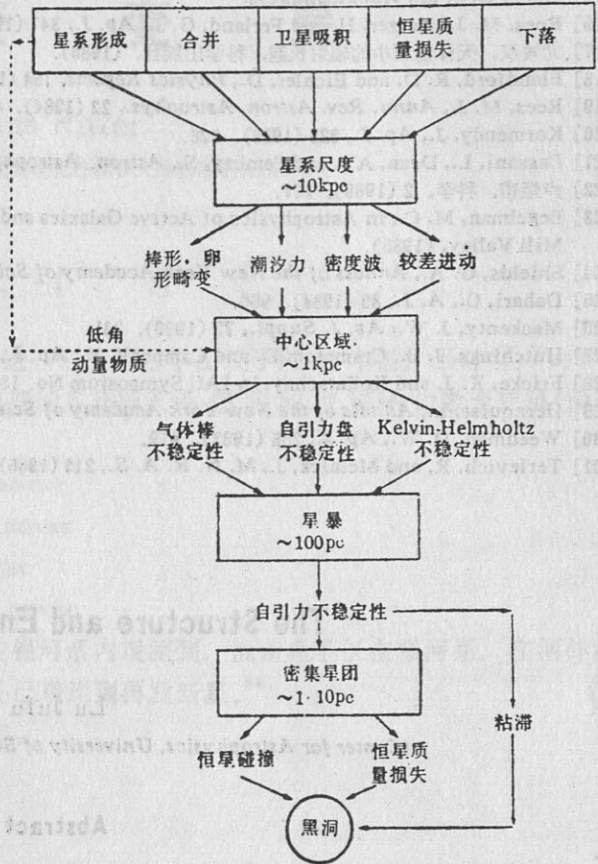


图 4 星系活动过程的总构想^[29]

星暴出现在 $\sim 100\text{pc}$ 的尺度上。那些没有变成恒星的气体因自引力而继续收缩，成为致密星团，并在星团中心形成黑洞。黑洞一旦形成，则气体会由于粘滞作用而进入吸积盘，最后落入黑洞。整个构想是宏伟的，但也是粗略的。许多细节还有待于进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Wiita, P. J., *Physics Reports*, 123 (1985), 117.
- [2] Osterbrock, D. E., *Reports on Progress in Physics*, in press.
- [3] 程福臻, 天文学进展, 7 (1989), 241.
- [4] 卢炬甫, 天文学进展, 7 (1989), 253.
- [5] Begelman, M. C., in IAU Symposium No. 134, p. 202, (1988).
- [6] Keel, W. C., *Ap. J.*, 268 (1983), 632.
- [7] Antonucci, R. R. J. and Miller, J. S., *Ap. J.*, 297 (1985), 621.
- [8] Gaskell, C. M., in *Astrophysical Jets and Their Engines*, ed. by W. Kundt, p. 35, Reidel, (1987).
- [9] Miller, J. S., French, H. B. and Hawley, S. A., in *Pittsburgh Conference on BL Lac Objects*, ed. by A. M. Wolfe, p. 176, University of Pittsburgh, (1978).
- [10] Tohline, J. E. and Osterbrock, D. E., *Ap. J. Lett.*, 210 (1976), L17.
- [11] Andriillat, Y. and Souffrin, S., *Ap. J. Lett.*, 1 (1968), 111.

- [12] Shuder, J. M., *Ap. J.*, 244 (1981), 12.
 [13] Netzer, H. et al., *Ap. J.*, in press.
 [14] Maoz, D. et al., *Ap. J.*, in press.
 [15] Maoz, D. et al., *Ap. J.*, in press.
 [16] Rees, M. J., Netzer, H. and Ferland, G. J., *Ap. J.*, 347 (1989), 640.
 [17] 尤峻汉, 天体物理中的辐射机制, 科学出版社, (1983).
 [18] Blandford, R. D. and Eichler, D., *Physics Reports*, 154 (1987), 1.
 [19] Rees, M. J., *Annu. Rev. Astron. Astrophys.*, 22 (1984), 471.
 [20] Kormendy, J., *Ap. J.*, 325 (1988), 128.
 [21] Bassani, L., Dean, A. J. and Sembay, S., *Astron. Astrophys.*, 125 (1983), 52.
 [22] 卢炬甫, 科学, 2 (1989), 177.
 [23] Begelman, M. C., in *Astrophysics of Active Galaxies and Quasistellar Objects*, ed. by J. S. Miller, p. 411, Mill Valley, (1985).
 [24] Shields, G. A., *Annals of the New York Academy of Sciences*, 571 (1989), 110.
 [25] Dahari, O., *A. J.*, 89 (1984), 966.
 [26] Mackenty, J. W., *Ap. J. Suppl.*, 72 (1990), 231.
 [27] Hutchings, J. B., Crampton, D. and Campbell, B., *Ap. J.*, 280 (1984), 41.
 [28] Fricke, K. J. and Kollatschny, in *IAU Symposium No. 134*, p. 425, (1988).
 [29] Hernquist, L., *Annals of the New York Academy of Sciences*, 571 (1989), 190.
 [30] Weedman, D. W., *Ap. J.*, 266 (1983), 479.
 [31] Terlevich, R. and Melnick, J., *M. N. R. A. S.*, 213 (1985), 841.

(责任编辑 刘金铭)

The Structure and Engines of AGNs

Lu Jufu

(Center for Astrophysics, University of Science and Technology of China)

Abstract

This article consists of three parts. In the first, basic observational facts of AGNs are listed. The second is devoted to the structure of these objects, with emphasis on the physical properties of the broad line region and the narrow line region, and the process of photoionization. In the last part, the standard model of AGN engines i. e., the black hole accretion disk model, is reviewed, including the most recent progress on the origin and fueling of the galactic activity.