

What powers quasars?

类星体的能量之谜

左文文^①, 吴学兵^{②③*}^① 中国科学院上海天文台, 上海 200030;^② 北京大学物理学院天文学系, 北京 100871;^③ 北京大学科维理天文与天体物理研究所, 北京 100871

* 联系人, E-mail: wuxb@pku.edu.cn

2016-02-09 收稿, 2016-02-11 修回, 2016-02-16 接受, 2016-03-01 网络版发表

国家自然科学基金(11373008, 11533001)资助

摘要 类星体, 是遥远宇宙中最明亮的一类天体. 光变研究表明类星体发出光学辐射的区域很小, 只有几光天到几光年. 如此小的发光区域, 每秒钟释放的能量却比大小是它几十万甚至千万倍的普通星系还大上千倍. 那么, 类星体的巨大能量来源是什么呢? 超大质量黑洞对周围物质的吸积, 是对这个问题的最简单回答. 那么, 黑洞如何吸积周围物质? 此外, 黑洞不仅吸积物质, 还可能吹出盘风, 产生喷流, 与周围星际介质发生相互作用, 从而能影响类星体寄主星系的演化. 本文将着重介绍: (1) 类星体的发现; (2) 类星体的能源; (3) 黑洞吸积盘理论模型; (4) 类星体的喷流; (5) 超大质量黑洞与其寄主星系的演化.

关键词 类星体, 黑洞, 吸积, 喷流, 寄主星系

1 类星体的发现

类星体(quasar), 是类似恒星的天体(quasi-stellar object)的缩写, 这类天体获得此名, 是因为它们在光学波段的图像看起来是点状源, 类似恒星. 单看光学图像的观测结果, 并不能发现它们的特殊性. 而最初发现它们的特殊性, 要归功于射电天文学以及光谱观测的进展.

20世纪50年代, 第二次世界大战中发展起来的雷达探测技术被用于天文学研究. 天文学家发现, 有些天体能发出非肉眼可见的射电辐射(即无线电波), 这类天体被统称为射电源. 1950年, 英国剑桥大学天文研究所的科学家把已发现的射电源汇总编制成表格, 其中天体的编号以剑桥(Cambridge)的首字母C打头. 后来又出版了这个星表的第三版, 即《剑桥射电源第三星表》(Third Cambridge Catalogue of Radio Sources), 简称为3C表, 其中的天体编号以3C作为前

缀^[1]. 这个表收录的射电源更为完整.

要想知道这些射电源是什么样的天体, 天文学家需要依据射电观测提供的射电源位置, 搜寻它们的光学对应体.

1960年, 英国天文学家桑德奇(Allan Sandage)等在标号为3C 48的射电源的位置上找到了一个恒星状光学对应体^[2], 周围有很暗的星云状物质, 光学光谱中呈现了几条陌生的发射线, 无法证认. 两年后, 标号为3C 273的射电源的光学对应体也被发现了, 它同样呈点状; 1963年美国天文学家施密特(Maarten Schmidt)拍摄了它的光学光谱, 并发现其与3C 48的光谱相似.

光谱中这些陌生的宽发射线也终于被施密特证认出来. 他指出, 最亮的发射线对应的就是氢元素(H)的发射线. 只是由于宇宙膨胀, 天体在离我们不断远去, 这使得我们接收到的光比天体本身发出的光的波长更长(也就是红移), 从而导致宽发射线难以

引用格式: 左文文, 吴学兵. 类星体的能量之谜. 科学通报, 2016, 61: 1157-1163

Zuo W W, Wu X B. The mystery of quasar power (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 1157-1163, doi: 10.1360/N972016-00108

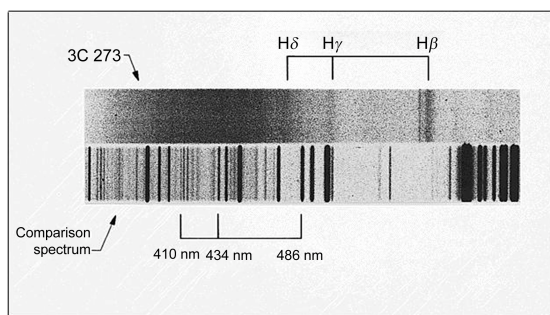


图1 3C 273 的光谱. 图片版权: Maarten Schmidt

Figure 1 Spectrum of 3C 273. Credit: Maarten Schmidt

证认. 如果作定量地描述, 接收到的光的波长与天体原发光波长之间的差值, 等于天体原发光波长与红移值的乘积. 1963年, 施密特估算出3C 273的红移为0.158^[3].

随后, 一些光学性质相似的射电源相继被发现, 这类天体被称为“类星射电源”. 除了类星射电源之外, 天文学家们还发现了一些光学性质相似的天体, 但却不发出射电辐射. 因为它们的光学像呈蓝色, 所以又名“蓝星体”.

不论是“类星射电源”还是“蓝星体”, 它们都有一个共同点——光学像类似恒星, 而光谱显示它们都是有较大红移的银河系外天体, 后来就被统称为“类星体”(quasar).

2 类星体的能源

类星体的发现带来了一个难题——即类星体的能量之谜. 类星体发出的光的强度一般随时间不同都有变化(即光变). 从光变的典型时标(乘以光速后就是时间尺度), 天文学家估计出类星体发出光学辐射的区域很小, 只有几光天到几光年. 如此小的发光区域, 每秒钟释放的能量为什么却比普通星系(尺度约几十万光年)每秒释放出的能量还大上千倍? 这使天文学家和物理学家陷入了沉思, 是否在一些理论中已经有关于类星体性质的一些线索呢?

不论是3C 273还是3C 48, 天文学家均在其点状对应体周围观测到星云状物质^[4]. 后来发现, 星云状结构是来自于类星体寄主星系的星光. 这说明了类星体是位于星系中心的核.

基于它的小尺度和大能量, 类星体的能量转换效率远不是恒星内部的核反应所能解释的. 后来天文学家发现, 这可以用中心致密天体周围的物质所

释放出的巨大引力能来解释. 但中心致密天体是什么呢?

直到20世纪80年代, 天文学家对于类星体中心天体的本质都还未达成共识. 经过30多年的研究后, 目前大家普遍相信类星体的能量之源是中心超大质量黑洞对物质的吸积^[5,6]. 正如光变研究表明, 典型的类星体发出光学辐射的区域只有光天量级, 如果这对应了一个星团的尺寸, 该星团也会因本身太致密而在类星体的活跃时标的下限—— 10^8 年以内塌缩成黑洞.

类星体中心天体的质量应该足够大, 这可以从以下两个方面来理解. 一方面, 类星体的光度(单位时间内发出的光的能量)范围是十倍至几十万倍银河系光度^[7], 而银河系光度值为 5×10^{43} erg/s (1 erg= 10^{-7} J). 黑洞吞噬周围物质, 这些损失的引力能会部分转化为热和光, 从而在黑洞附近释放出强烈的辐射. 这一过程存在着一个极限, 因为发出的光会向外施加压力, 向外的压力达到一定程度时, 将会阻止物质进一步下落至黑洞周围. 于是便有了一个极限——当引力和光压相等时, 对应的光度极限称为爱丁顿光度^[8]. 黑洞吸积物质的临界吸积率(以下简称“爱丁顿吸积率”)也是基于爱丁顿光度来定义的, 即中心天体以爱丁顿光度辐射时对应的吸积率. 假设中心天体以爱丁顿吸积率吞噬物质, 那么要产生类星体的典型光度, 其中心天体的质量至少是1百万倍太阳质量.

另一方面, 类星体的活跃时标至少是 10^8 年^[9]. 假如类星体每秒钟释放的能量至少约为 10^{44} erg, 那么类星体在其一生中释放的总能量将至少为 10^{60} erg. 化学燃烧的能量转换效率只有约 10^{-9} , 核合成的能量转化效率约为 10^{-3} , 物质掉入相对论性深势阱中转化引力能的效率(吸积物质所损失的引力能转化为辐射能的比例)接近1, 如中子星对物质的吸积造成的能量转化效率约为0.1~0.2, 旋转黑洞所能达到的能量转化率最大能接近0.29. 尽管能量转化效率相当高, 释放总能量为 10^{60} erg, 需要吸积的物质质量最小需 10^7 倍太阳质量.

今天我们知道, 类星体的本质不是恒星, 也不是普通星系, 而是属于“活动星系核”(active galactic nucleus, AGN)这一类的天体, 而且是活动性最强的一类活动星系核. 尽管普通星系和活动星系的中心都存在质量在百万个太阳质量以上的黑洞, 但两者是有差异的——主要在于普通星系的中心黑洞周围没有太多物质供它吞噬, 所以普通星系中心的发光

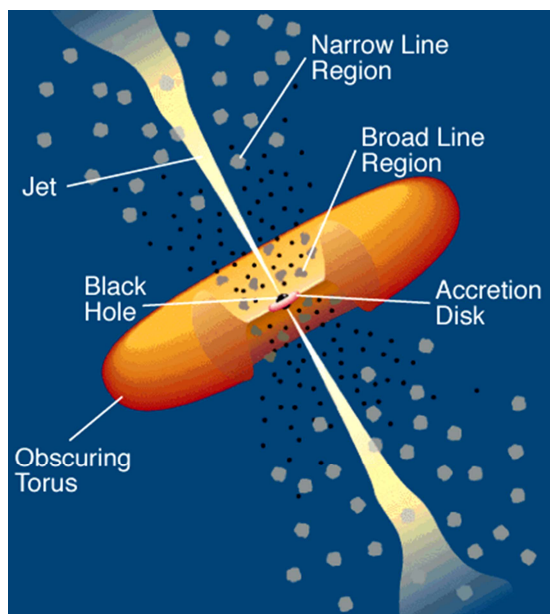


图2 (网络版彩色)类星体标准模型示意图. 来源: Urry 2004^[11]
Figure 2 (Color online) Schematic picture of AGN standard model, from Urry 2004^[11]

强度远远低于活动星系。

目前认为, 类星体的结构如图2中的统一模型^[10]显示: 中心是超大质量黑洞; 黑洞的引力使得周围的物质不断向中心下落, 这些物质具有初始角动量, 因物质之间的黏滞力使得角动量由内向外转移, 从而内层物质逐渐向中心坠落. 长此以往, 周围的物质在中心黑洞周围形成了吸积盘(accretion disk). 吸积盘的温度从里到外由高变低, 通过黑体辐射机制发出从紫外到近红外的连续谱辐射。

除了连续谱辐射之外, 类星体的光谱中还有宽发射线和窄发射线. 一般认为, 它们分别产生于吸积盘外面的宽发射线区和宽发射线区外侧的窄发射线区. 目前普遍接受的产生发射线的主要机制是光致电离过程. 该机制认为, 吸积盘辐射的高能光子向外传播至宽线区, 将电离构成宽线区的孤立气体云块, 产生自由电子和离子, 自由电子又会被某个离子俘获, 从而通过能级跃迁释放光子, 产生原子发射谱线。

发射线的展宽的主要机制之一是多普勒展宽. 产生谱线的孤立气体云块在视线方向上靠近和远离的运动, 会造成发射线的线心相对于其静止波长蓝移或红移, 从而使得发射线被展宽. 宽线区与窄线区距离中心黑洞的距离不同, 受中心黑洞的引力束缚程度不同, 产生发射线的孤立气体云块围绕黑洞运动

的速度不同, 因此导致来自它们的发射线宽度不同。

在宽线区之外的更大尺度上, 存在一个由尘埃组成的尘埃环. 高能光子会在这里被截获, 尘埃环将发出红外波段的辐射。

而在与吸积盘垂直的方向上, 很多类星体存在相对论性的高速喷流(jet), 这些喷流往往在射电波段有很强的辐射。

3 黑洞吸积盘理论模型

黑洞吸积可以解释类星体的能量来源问题. 从理论方面来讲, 吸积盘理论关注的是中心天体周围的流体被吸积的流体力学过程和辐射转移过程. 在对实际问题进行不同程度的简化处理后, 得到的不同数学解, 对应于不同的吸积盘模型。

20世纪70年代, 第一个所谓的吸积盘模型是标准薄盘模型^[11-13]. 该模型假设了垂直于赤道面方向保持流体静力学平衡; 假设了吸积盘内的气体近似于作开普勒转动, 径向速度较小; 假设了吸积盘内气体温度介于一万至千万开尔文之间, 相对于维里温度较低, 从而盘是几何薄的; 假设了盘内从赤道面到盘表面的光深(描述物质的不透明度, 光深越大, 不透明度越大)较大, 即光学厚. 标准薄盘模型中由于盘的温度从里到外由高到低, 盘的辐射为多色黑体谱^[14], 适用于解释观测上吸积率低于爱丁顿吸积率的系统. 标准薄盘模型已成功地应用于很多明亮的黑洞吸积系统, 如大多数类星体和银河系内的黑洞X射线双星^[15].

如果在标准薄盘的基础上, 不假设气体近似于开普勒转动, 而是允许气体有显著的物质径向运动, 那么就可以得到径移主导吸积流的解, 其中光学厚的解是细盘模型(slim disk)^[16-18], 光学薄的解对应了径移主导吸积流(advection-dominated accretion flows, ADAF)模型^[19-21].

细盘模型对应于当吸积率接近或超过爱丁顿吸积率时, 吸积的气体变得如此光学厚, 以至于无法立即辐射出耗散的能量(这点是形成薄盘的重要条件之一). 被困住的辐射就会随着吸积流径向移动至中心. 结果, 辐射效率更低, 总光度比爱丁顿光度更低。

标准薄盘模型和细盘模型均属于冷吸积流模型, 由光学厚气体组成, 通常适用于在相对较高吸积率情况下的黑洞系统. ADAF模型属于热吸积流模型, 由光学薄气体组成, 通常发生在吸积率较低时. 由于

能量的径移, 它们的辐射效率低于标准薄盘. 观测显示热吸积流与喷流相关. 理论上也表明, 热吸积流更可能产生强的盘风. 热吸积流模型被普遍认为可应用于低光度活动星系核、不活跃的正常星系和处于宁静态的黑洞X射线双星. 一个例子便是我们银河系中心的超低光度黑洞Sgr A*, 虽然其黑洞质量也高达四百万太阳质量, 但由于吸积率非常低, 银河系中心的发光相比类星体而言是非常弱的.

4 类星体的喷流

观测研究表明, 近邻星系中心的黑洞质量与它们寄主星系的核球质量、光度或核球内恒星速度弥散之间存在统计相关性, 表明星系中心超大质量黑洞的增长与星系的演化密切相关^[22,23]. 一方面, 寄主星系控制了中心黑洞的食物来源, 另一方面, 中心黑洞对物质的吸积会产生喷流、盘风和辐射, 与寄主星系中星际介质相互作用, 从而影响星系中的恒星形成和星系的演化, 这种黑洞吸积与星系之间的相互作用称为类星体反馈. 而尺寸上, 若将黑洞比作一个硬币, 那么寄主星系就相当于一个地球. 因此黑洞的反馈机制所影响的范围是其本身大小的上亿倍. 反馈机制的过程很复杂, 主要有两种模式: 射电模式和辐射模式(也称作类星体模式或盘风模式).

而当中心黑洞以低吸积率吞噬物质, 寄主星系的晕更重和更热时, 多表现为射电模式的反馈, 具体表现为高度准直的射电喷流. 辐射模式的反馈通常对应于中心黑洞以近爱丁顿吸积率吞噬物质的情况, 将冷气体吹出, 多以相对论性盘风方式^[24].

但相对论性喷流具体是怎样产生的, 仍然不确定. 基于理论研究、数值模拟和观测证据, 天文学家达成一致的观点有: 喷流的产生与致密天体周围的吸积盘有关; 能量来源是中心天体或者吸积盘的转动; 需借助磁场来接收能量; 磁场还在喷流加速和准直方面扮演了重要的角色^[25]. 基于此, 普遍认可的两类机制分别是Blandford-Znajek机制(简称BZ机制)和Blandford-Payne机制(简称BP机制), 前者是通过大尺度磁场提取黑洞转动能为喷流提供能量, 后者是通过提取吸积物质引力能.

大尺度磁场的来源尚不确定, 有可能是由于吸积过程将外界磁场带入吸积盘, 吸积盘的较差自转将放大种子磁场而形成大尺度磁场. BP机制认为, 由于较差自转, 吸积盘内侧的粒子将角动量传递给外

侧的粒子, 当围绕在磁力线周围的带电粒子的转动速度很大以至于离心力超过了引力, 将会被抛出产生喷流^[26]. 但有些工作认为, 相对论性喷流不太可能直接起源于吸积盘, 因为除去靠近自转快速黑洞的吸积盘内侧, 吸积盘表面的逃逸速度远小于光速, 而喷流的速度与逃逸速度相当, 因此不太可能产生相对论性喷流^[25].

相比之下, 转动的黑洞更有可能为相对论性喷流提供能量. BZ机制认为, 自转很快的黑洞对周围的时空产生了拖拽, 拉扯着连接黑洞吸积盘的磁场, 在一定条件下, 拉紧的磁力线能将黑洞自转的能量转化到吸积盘上, 为喷流提供能量^[27,28].

5 超大质量黑洞与其寄主星系的演化

通过对类星体的研究, 可以理解超大质量黑洞是如何形成的, 黑洞吸积和类星体反馈在黑洞和寄主星系的共动演化中扮演的角色.

2015年, 北京大学吴学兵领导的国际研究团队宣布发现了目前已知的遥远宇宙中发光本领最强、中心黑洞质量最大的类星体^[29]. 这颗类星体SDSS J0100+2802红移为6.3, 对应于宇宙大爆炸之后9亿年, 而目前可观测宇宙的年龄约为137亿年. 而中心的黑洞质量是120亿个太阳质量, 如果将我们的宇宙比作是一位100岁的老人, 那么这个黑洞才只有6岁. 6岁的它却拥有超大质量, 这对已有的宇宙早期黑洞形成和演化理论提出了挑战. 在这些高红移的极亮类星体中, 黑洞质量与寄主星系的关联与近邻宇宙很不相同, 黑洞的增长很可能超前于寄主星系.

已有的理论认为, 超大质量黑洞是由一些非常小的种子黑洞, 通过吸积周围的气体物质成长. 成长之后的黑洞质量多大, 就取决于种子黑洞是多大以及种子黑洞如何吞噬周围物质.

普遍认为种子黑洞是第一代恒星演化的最终产物, 质量大约是1000倍太阳质量. 而第一代恒星约形成于宇宙大爆炸之后4亿年, 这就表明我们发现的这颗黑洞是从1000个太阳质量的种子黑洞经过5亿年“吃”气体成长到120亿太阳质量的“胖子”. 而根据现有理论, 一个黑洞即使始终保持爱丁顿吸积率来吞噬物质增加质量, 至少要花3000万年才能使质量翻倍. 假设一个质量为1000倍太阳质量的种子黑洞连续6亿年以爱丁顿吸积率吃东西, 它的质量也只增加至1亿倍太阳质量左右, 远远小于目前根据观测估算

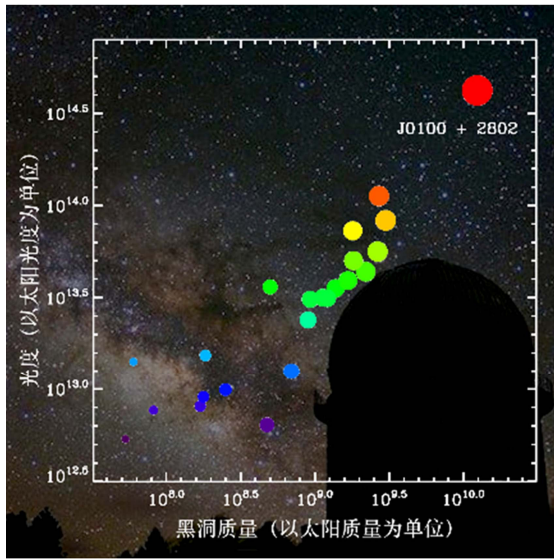


图3 (网络版彩色)SDSS J0100+2802 是宇宙早期光度最高、黑洞质量最大的类星体. 图/李兆聿(中国科学院上海天文台)

Figure 3 (Color online) SDSS J0100+2802 is the most luminous quasar with the most massive black hole mass in the early Universe. Image: Zhaoyu Li (Shanghai Astronomical Observatory, CAS)

出的黑洞质量——120亿倍太阳质量。更何况因为光辐射压与引力之间的平衡，黑洞仅能阶段性地以最大吸积率吞噬物质，爱丁顿吸积时标大约在1000万至1亿年之间^[8]，所以假设它连续6亿年爱丁顿吸积是

存在问题的。

当然，如果种子黑洞更大，例如是直接由气体团块直接塌缩形成的，那么质量可达到百万倍太阳质量，也将可能解决宇宙早期如何形成超大质量黑洞的难题。但这种形成机制还未得到观测的证实。

总之，我们的发现给目前的宇宙早期黑洞形成和演化提出了挑战。实际上，类似的挑战曾经也在其他同行的工作中出现，他们发现质量达30亿个太阳质量的黑洞形成于宇宙大爆炸之后10亿年内^[30]。这些发现并没有完全推翻现有的黑洞形成和演化理论，而是意味着这些理论需要改进。目前看来在以下两方面需要进一步研究：一是宇宙早期形成的黑洞“种子”的质量可能远远大于以往的估计；二是大质量黑洞吞噬周围物质使自己成长的速度可能远远超过以往的认识。

理论上亟待解决的问题也有很多，例如：种子黑洞是如何形成的？宇宙早期黑洞是如何增长的？黑洞和其寄主星系在宇宙早期是否协同演化？相当多的问题无不与类星体的能源——黑洞吸积有着紧密联系，理论上和观测上黑洞吸积都需要进一步的研究。吸积盘理论已被广泛应用于解释类星体、伽玛射线暴以及黑洞X射线双星等现象，此外，它已经被广泛应用到原行星盘的结构和动力学研究等。

参考文献

- 1 Edge D O, Shakeshaft J R, McAdam W B, et al. A survey of radio sources at a frequency of 159 Mc/s. *Memo R Astron Soc*, 1959, 68: 37–60
- 2 Matthews T A, Sandage A R. Optical identification of 3c 48, 3c 196, and 3c 286 with stellar objects. *Astrophys J*, 1963, 138: 30–58
- 3 Schmidt M. 3C 273: A star-like object with large red-shift. *Nature*, 1963, 197: 1040
- 4 Wyckoff S, Gshren T, Morton D C, et al. Discovery of nebulousity associated with the quasar 3C 273. *Astrophys J*, 1980, 242: 59–63
- 5 Salpeter E E. Accretion of interstellar matter by massive objects. *Astrophys J*, 1964, 140: 796–800
- 6 Lynden-Bell D. Galactic nuclei as collapsed old quasars. *Nature*, 1969, 223: 690–694
- 7 Hopkins P F, Richards G T, Hernquist L. An observational determination of the bolometric quasar luminosity function. *Astrophys J*, 2007, 654: 731–753
- 8 King A. Black holes, galaxy formation, and the MBH- σ relation. *Astrophys J Lett*, 2003, 596: 27–29
- 9 Hopkins P F, Hernquist L, Martini P, et al. A physical model for the origin of quasar lifetimes. *Astrophys J Lett*, 2005, 625: 71–74
- 10 Urry C. AGN Unification: An update. In: Richards G T, Hall P B, eds. *AGN Physics with the Sloan Digital Sky Survey*. *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2004. 311: 49–60
- 11 Novikov I D, Thorne K S. *Astrophysics of black holes*. In: Dewitt C, DeWitt B S, eds. *Black holes, Les Astres Occults*. Paris: Gordon and Breach Science Publishers, 1973. 343–450
- 12 Shakura N I, Sunyaev R A. Black holes in binary systems. *Observational appearance*. *Astron Astrophys*, 1973, 24: 337–355
- 13 Lynden-Bell D, Pringle J E. The evolution of viscous discs and the origin of the nebular variables. *Month Not R Astron Soc*, 1974, 168: 603–637

- 14 Qian L. Theoretical study of the structure and radiation of accretion disks around black hole (in Chinese). Dissertation for Doctoral Degree. Beijing: Peking University, 2009 [钱磊. 黑洞吸积盘结构和辐射的理论研究. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 2009]
- 15 Remillard R A, McClintock J E. X-ray properties of black-hole binaries. *Annu Rev Astron Astrophys*, 2006, 44: 49–92
- 16 Katz J. X-rays from spherical accretion onto degenerate dwarfs. *Astrophys J*, 1977, 215: 265–275
- 17 Begelman M C. Can a spherically accreting black hole radiate very near the Eddington limit. *Month Not R Astron Soc*, 1979, 187: 237–251
- 18 Abramowicz M A, Czerny B, Lasota J P, et al. Slim accretion disks. *Astrophys J*, 1988, 332: 646–658
- 19 Ichimaru S. Bimodal behavior of accretion disks-Theory and application to Cygnus X-1 transitions. *Astrophys J*, 1977, 214: 840–855
- 20 Narayan R, Yi I. Advection-dominated accretion: A self-similar solution. *Astrophys J Lett*, 1994, 428: L13–L16
- 21 Abramowicz M A, Chen X, Kato S, et al. Thermal equilibria of accretion disks. *Astrophys J Lett*, 1995, 438: L37–L39
- 22 Gebhardt K, Bender R, Bower G, et al. A relationship between nuclear black hole mass and galaxy velocity dispersion. *Astrophys J Lett*, 2000, 539: 13–16
- 23 Ferrarese L, Merritt D. A fundamental relation between supermassive black holes and their host galaxies. *Astrophys J Lett*, 2000, 539: 9–12
- 24 Fabian A C. Observational evidence of active galactic nuclei feedback. *Annu Rev Astron Astrophys*, 2012, 50: 455–489
- 25 D’Onofrio M, Marziani P, Sulentic J W, et al. Models of Quasars. In: *Fifty Years of Quasars: From Early Observations and Ideas to Future Research*. Astrophysics and Space Science Library. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. 386: 337–440
- 26 Blandford R D, Payne D G. Hydromagnetic flows from accretion discs and the production of radio jets. *Month Not R Astron Soc*, 1982, 199: 883–903
- 27 Blandford R D, Znajek R L. Electromagnetic extraction of energy from Kerr black holes. *Month Not R Astron Soc*, 1977, 179: 433–456
- 28 Penrose R. Gravitational collapse: The role of general relativity. *General Rel Grav*, 2002, 34: 1141–1165
- 29 Wu X B, Wang F, Fan X, et al. An ultraluminous quasar with a twelve-billion-solar-mass black hole at redshift 6.30. *Nature*, 2015, 518: 512–515
- 30 Mortlock D J, Warren S J, Venemans B P, et al. A luminous quasar at a redshift of $z=7.085$. *Nature*, 2011, 474: 616–619

The mystery of quasar power

ZUO WenWen¹ & WU XueBing^{2,3}

¹ Shanghai Astronomical Observatory, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200030, China;

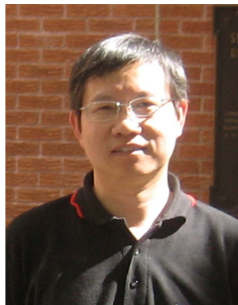
² Department of Astronomy, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China;

³ Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics, Peking University, Beijing 100871, China

Quasars are the brightest objects in the distant Universe. The quasar optical emitting region is very small, ranging from a few light days to a few light years based on quasar variability studies. Such a small region is thousands times greater than much larger normal galaxies. What physical mechanism powers such a gigantic energy source? The answer is the accretion of surrounding materials to the central supermassive black hole. In addition to the accretion process, quasars may also produce winds/jets, which interact with surrounding interstellar medium to influence the host galaxy evolution. In this paper we will discuss the followings in detail: (1) discovery of quasars, (2) quasar power engine, (3) theoretical model of black hole accretion disk, (4) quasar jets, (5) the co-evolution of supermassive black holes and their host galaxies.

quasar, black hole, accretion, jet, host galaxy

doi: 10.1360/N972016-00108



吴学兵

北京大学物理学院天文学系教授，科维理天文与天体物理研究所副所长。1986 年和 1989 年在华中师范大学物理学系获学士和硕士学位，1996 年在中国科学院北京天文台获理学博士学位，1996 年在中国科学院理论物理所做博士后。1998 年任中国科学院北京天文台副研究员。曾在美国阿拉巴马大学和德国马普天体物理所访问。自 2000 年在北京大学任教。2004 年入选教育部新世纪优秀人才计划，2005 年获国家杰出青年科学基金。研究领域为类星体与活动星系核、黑洞天体物理。研究成果入选 2015 年度中国科学十大进展。