第八章: 星系与宇宙的大尺度结构



本章内容

◆我们是怎样逐步认识我们的银河系的? ◆其他星系/河外星系是怎样的? ◆不规则星系是怎样的? ◆如何对星系的形态进行分类? ◆如何测量星系距离从而来了解宇宙的结构? ◆星暴星系与活动星系核是怎样的? ◆星系群、星系团、星系超团乃至宇宙大尺度 结构是怎样的?





Figure 8.1 All-sky image of the Milky Way. Image: Axel Mellinger.





解码银河系和近邻星系 的能谱分布

M101



(...)

M51



Decodding the spectral energy distribution of the MW and nearby galaxies

NGC3938

LMC

Cristina Popescu Univ. of Central Lancashire

Decodding the spectral energy distribution of the MW and nearby galaxies









国家天文台利用LAMOST发现银河系更大银盘

文章来源: 国家天文台

发布时间: 2017-10-20

近日,中国科学院国家天文台研究人员刘超、徐岩等人使用LAMOST的红巨星样本绘制了银河系外围结构切面图,发现银河 系的盘比以前认识的大25%。他们发现,银河系的外盘一直延展到19千秒差距,其间没有看到银盘的截断,即银盘没有明显的外 边界,而是光滑地过渡到了恒星晕。

以往的研究认为,银盘的半径大约只有14-15千秒差距,之后会有一个明显的截断,很多理论研究据此推演银河系的形成和 演化历史。尽管有研究在距离银心20千秒差距的地方陆续发现了少量的年轻恒星,但是直到这项工作,人们才真正系统地看到 了银河系外盘的庐山真面目。这样一个更大且平滑的外盘形状需要完全不同的理论进行解释。这一发现对于理解银河系的形 成、银盘的演化,特别是外盘如何自内向外形成都具有深远意义。这项研究的"副产品"是,研究人员发现,一度认为是星系 并合重要证据的麒麟座环形子结构(Monoceros ring)并没有显著出现在他们绘制的银盘剖面图中。这一结果在同行间引起热 议,本来就没有落定尘埃的麒麟环子结构的起源问题再一次成为焦点。

此项工作第一作者刘超在最近于德国波茨坦举行的国际天文联合会第334号分会(IAU Symposium 334)上,以邀请综述报告形式展示了这一结果,得到了包括星系天文学权威专家澳大利亚国立大学教授Ken Freeman在内的国际同行的广泛关注。

这些发现作为一个系列工作的第一部分,已经发表在最新一期《天文学和天体物理研究》(Research of Astronomy and Astrophysics, 2017, 9, 96)上。





左侧是银河系银盘外围部分的恒星分布密度切面图,红色是恒星空间分布密度高,蓝色分布的密度低。太阳在白色圆圈 处。右侧是把Z方向恒星加起来得到的径向恒星数密度分布图,可以看到银盘(红色虚线)平滑地延伸到将近19千秒差距。

天文学家基于LAMOST数据揭示银河系早期形成和 演化历史 (国家天文台)

发表日期: 2022-03-24

【放大 缩小】

北京时间3月24日,国际科学期刊《自然》以封面文章形式发布了 德国马普天文研究所的研究人员向茂盛博士和Hans-Walter Rix教授合 作的一项重大成果。基于中国科学院国家天文台运行的国家重大科技基 础设施郭守敬望远镜(LAMOST)和欧空局天体测量卫星盖亚望远镜 (Gaia) 的巡天观测数据,研究人员获取了迄今最为精确的大样本恒星 年龄信息,按照时间序列清晰还原了银河系幼年和青少年时期的形成与 演化图像,改写了人们对银河系早期形成历史的认知。



(图源:喻京川)

The international journal of science / 24 March 2022 nature





图3: LAMOST与Gaia,图片来源: LAMOST运行和发展中心

疏散星团(开团,open star clusters)

•恒星成团: 疏散星团与球状星团

•疏散星团:由巨大的尘埃和气体团中形成大量的恒星 而形成,位于银河系盘面

•由数百颗至上千颗由弱引力联系的恒星组成,恒星密 度比球状星团低很多,直径<数十光年

•位于恒星活跃形成区,年轻,一般只有数百万年历史

•可能仍然含有分子云的残迹,星团产生的光形成HII区, 星团在辐射压作用下逐渐散开

•其中恒星的年龄和化学成分相近,适合研究恒星演化

•例子: 金牛星座中的毕(宿) 星团(Hyades), 昴星团(Pleiades); 英仙座中的双重星团



The Pleiades Open Star Cluster

昴星团



Starburst Cluster in NGC 3603 Image Credit: <u>NASA</u>, <u>ESA</u>, <u>Hubble Heritage</u> (STScI/AURA)-ESA/ <u>Hubble Collaboration</u>; Acknowledgment: J. Maiz Apellaniz (<u>Inst. Astrofisica Andalucia</u>) et al., & Davide de Martin (<u>skyfactory.org</u>)

Explanation: A mere 20,000 light-years from the Sun lies <u>NGC 3603</u>, a resident of the nearby Carina spiral arm of our <u>Milky Way Galaxy</u>. <u>NGC 3603 is</u> well known to astronomers as one of the Milky Way's largest starforming regions. The central open star cluster contains thousands of stars more massive than <u>our Sun</u>, stars that likely formed only one or two million years ago in a single burst of star formation. In fact, <u>nearby NGC 3603</u> is thought to contain a convenient example of the massive star clusters that populate much more distant <u>starburst galaxies</u>. <u>Surrounding the cluster</u> are natal clouds of glowing interstellar gas and obscuring dust, sculpted by energetic stellar radiation and winds. <u>Recorded by</u> the Hubble Space Telescope, <u>the image</u> spans about 17 light-years.



Science Team)



恒星"蛇": 整体结构与特征



太阳附近 的过1万个星的 合 13个 截 星 团



球状星团(Globular clusters)

- •引力紧紧束缚,外形呈球形,恒星高度向中心集中
- •恒星比较年老,由20000-1百万个恒星组成,直径 ~200光年
- •一般位于星系晕中
- •银河系约有170个,另外可能还有10-20个因尘埃遮蔽未被发现
- •在星系最初的恒星形成时期产生?
- •例子: 武仙座中的M13; 半人马ω球状星团



Figure 8.4 M13, the globular cluster in Hercules. Image: Robert J. Vanderbei, Wikipedia Commons.





图:哈勃的第三代宽场照相机拍摄的半人马ω球状星团中各种颜色、各种年龄的恒星(来源:NASA,





ESA, and the Hubble SM4 ERO Team)



Star Cluster NGC 362 from Hubble Image Credit: <u>Hubble WFC3, NASA, ESA, J. Heyl, I. Caiazzo, & Javiera Parada</u> (UBC)

Explanation: If our Sun were near the center of NGC 362, the <u>night sky</u> would glow like a jewel box of bright stars. Hundreds of stars would <u>glow brighter</u> than <u>Sirius</u>, and in many different colors. Although these stars could become part of breathtaking <u>constellations and intricate folklore</u>, it would be difficult for planetary inhabitants there to see -- and hence understand -- the <u>greater universe</u> beyond. <u>NGC 362</u> is one of only about 170 <u>globular clusters</u> of stars that exist in our Milky Way Galaxy. This star cluster is one of the younger <u>globulars</u>, forming likely well after our Galaxy. <u>NGC 362</u> can be found with the unaided eye <u>nearly in front</u> of the <u>Small</u> <u>Magellanic Cloud</u>, and angularly close to the second brightest globular cluster known, <u>47 Tucanae</u>. The <u>featured image</u> was taken with the <u>Hubble Space Telescope</u> to help <u>better understand</u> how massive stars end up <u>near</u> the center of some globular clusters.



Star Cluster NGC 362 from Hubble Image Credit: <u>Hubble WFC3</u>, <u>NASA</u>, <u>ESA</u>, J. <u>Heyl</u>, <u>I. Caiazzo</u>, & <u>Javiera Parada</u> (<u>UBC</u>)

Explanation: If our Sun were near the center of NGC 362, the <u>night sky</u> would glow like a jewel box of bright stars. Hundreds of stars would <u>glow brighter</u> than <u>Sirius</u>, and in many different colors. Although these stars could become part of breathtaking <u>constellations and intricate folklore</u>, it would be difficult for planetary inhabitants there to see -- and hence understand -- the <u>greater universe</u> beyond. <u>NGC 362</u> is one of only about 170 <u>globular clusters</u> of stars that exist in our Milky Way Galaxy. This star cluster is one of the younger <u>globulars</u>, forming likely well after our Galaxy. <u>NGC 362</u> can be found with the unaided eye <u>nearly in front</u> of the <u>Small</u> <u>Magellanic Cloud</u>, and angularly close to the second brightest globular cluster known, <u>47 Tucanae</u>. The <u>featured image</u> was taken with the <u>Hubble Space Telescope</u> to help <u>better understand</u> how massive stars end up <u>near</u> the center of some globular clusters.

WHEN STARS COLLIDE





High-speed stellar collision





Star/black hole collision



Stellar material

Accretion disk (hot gas)

星际介质(ISM)和发射星云



富中性

氢超弥

散星系

中的分

子气体

•ISM: 气体和尘埃组成

•大多数ISM不明显可见,但也会有发射星云、暗星云

•发射星云: 气体发光, 猎户大星云(Great Nebula of Orion),恒星形成,紫外光形成HII区,质子和电子复合释放波长之一: 6563Å-粉红、红

•暗星云: 气体遮蔽了星系的光, 煤袋星云(Coal Sack)

•两种星云常常同时存在: 鹰状星云(巨蛇座, Serpens);马头星云(猎户座)









星际X射线尘 埃散射的研究 现状与展望



性的红移依赖

Figure 8.5 The Orion Nebula, M42. Image: NASA, ESA, M. Robberto (STScI/ESA) and The Hubble Space Telescope Orion Treasury Project Team.



图7: 英仙座分子云。黑色暗带表示分子云中的尘埃对背景星光的遮挡。可以看到其中孕育的恒星,以及 明亮的发射线星云。 (图片来源: https://www.cfa.harvard.edu/news/su201946, Credit:Agrupació Astronòmica d'Eivissa/Ibiza AAE, Alberto Prats Rodríguez)





星际消光的强弱程度取决于几个因素,包括尘埃聚集的厚度和密度,以及光线的波长 (颜色)。如果尘埃密度大、足够厚,光线就会被完全遮挡,导致黑暗区域。这些类 似"乌云"被称为暗星云,如下图的分子云巴纳德68和马头星云。







图1.分子云巴纳德68 Credit: FORS Team, 8.2–meter VLT Antu, ESO







Figure 8.6 The Eagle Nebula (a) and Horsehead Nebula (b). Images: NASA, Jeff Hester, and Paul Scowen (Arizona State University) (a) and Nigel Sharp (NOAO), KPNO, AURA, NSF (b).



"创生之柱"的光学和红外图像对比。左图:光学;右图:红外。/ NASA











○ 诞生恒星的摇篮。| 图片来源: NASA, ESA, and M. Livio and the Hubble 20th Anniversary Team (STScI)






























<u>下图为我们展示了宇宙尘埃的生命循环</u>。尘埃在恒星中形成,并在恒星演化的最后阶段 释放到星际介质中(恒星的星风或大质量恒星的爆炸中被吹走)。然后,尘埃在恒星之 间的气体云中被"回收",聚集成云,尘埃颗粒通过辐射过程冷却,再通过凝结而增大, 再形成行星的种子。当新一代恒星开始形成时,其中一些尘埃被消耗掉。随着新一代恒 星演化到脱离主星序时,这个周期又开始了。





Credit: the website of Herschel Space Observatory



银河系的大小和形状



Shapley测量 了银河系100 个**球状星团** 的距离

结论:球形 分布,球心 为银心;给 出太阳离以 及银河系的 尺度



沙普利得到的银 河系球状星团的 分布: 黄色圆点代表已 知的银河系球状 星团;太阳的位置 在图中以黑色加 号表示;黑色虚线 表示银河系的可 能轮廓。



太阳距离银心 的距离: ~8.3kpc

太阳绕银心的 速度: ~220 km/s

环绕周期: ~230百万年 MW旋转曲线 (速度 vs 距 离):~刚体 (中心区域)

银河系的结构

•中性氢发射21cm射电辐射: 气体成团 •中性氢云团的速度: 多普勒效应

•云团分布图: --漩涡结构





21cm氢线的产生机制及观测优势



第一次观测:哈佛大学的Edward Purcell教授与他的研究生Harold Ewen,1951,角型天线







v (km/s)

Figure 8.9 Galactic hydrogen line profiles. Image: Christine Jordan, University of Manchester.

L=0: 对着银心; L=180: 背向银心



Figure 8.10 A relief map of a section of the Milky Way obtained with the 6.4-m radio telescope at Jodrell Bank Observatory. Image: Tim O'Brien, University of Manchester.



Figure 8.11 The spiral structure of our Galaxy as shown by observations of the hydrogen line.







该团队用甚长基线干涉 (Very long baseline Interferometry)技术精 确测量位于银盘上近 200个大质量恒星形成 区的距离和自行,得到 银河系旋臂的结构、太 阳系的位置以及它绕银 河系中心旋转的速度, 绘制出尺度为10万x 10 万光年的全新银河系结 构图。

该图是迄今最精确的银 河系结构图,它清晰地 展示银河系是一个具有 四条旋臂的棒旋星系, 彻底解决了银河系究竟 有几条旋臂这个天文学 中长期悬而未决的重大 科学问题。

Mark Reid & Xing-Wu Zheng(郑兴武), SciAme, Vol.322, No.4, P.31(2020)

J. T. Shen & X. W. Zheng: The Bar and Spiral Arms in the Milky Way



Fig. 1 Top: the conceptual picture of the Milky Way with its bar, four major spiral arms, a subsidiary Local arm, and 3-kpc arms. This artistic visualization also contains various important components such as gas, dust, molecular clouds and filaments, HII regions, young OB stars, and young star clusters. The Sun is marked with a circled red dot in the Local arm. The bar angle between the bar major axis and the Sun-Galactic center line is around $25^{\circ} - 30^{\circ}$. The Galactic rotation is in the clock-wise direction. (Credit: Xing-Wu Zheng & Mark Reid BeSSeL/NJU/CFA). Bottom: the Milky Way seen in the infrared band by Diffuse InfraRed Background Experiment (DIRBE) on board NASA's COBE satellite (left-right flipped from the original image to be more consistent with the face-on picture).





早晨或黄昏火箭发射时太阳 光反射其羽流,可能在空中 形成"太空水母"或别的炫 酷图案。2022年6月19日 SpaceX猎鹰9火箭发射后, 新西兰南岛上空出现"蓝色 螺旋",像挂在云端的银河 系!(摄影: Clare Rehill) 就像利用地球的公转速度可以大致计算出太阳的质量一样,在银河系的星系盘上,恒星和气体绕银河系中心做规律的旋转,人们可以通过观测这些气体和恒星的旋转速度来计算对应距离内潜伏的暗物质质量;而在更远的距离处,恒星、卫星星系或球状星团虽并不做规则的旋转运动,但人们可以通过对他们的位置及速度建立模型并进行统计分析,得到理论的旋转速度[2-4];有趣的是,银河中还有一些超高速运动的恒星(部分这类恒星被认为来自于银河中央的黑洞),他们可用来有效估计银河系的逃逸速度和总质量[5];此外,卫星星系及球状星团受到潮汐力的影响,其自身的恒星会被剥离形成带状的星流,延展的星流可以跨越巨大的空间尺度(如下图),因此携带着不同距离处有关暗物质分布的宝贵信息,可用来限制暗物质量的质量、整体形状,甚至探索暗物质潜伏在小尺度上的块状或带状子结构[6]。

(王文婷、韩家信)



星系种群背景下 的银河系考古学



银河系周边的带状星流(图片来源:NASA)





星系动力学与恒星形成的关联

曾经,我们认为银河系的星系盘是平坦的,从 侧面看起来呈"一"字;直到2019年,中国 天文学家发现银河系也像许多旋涡星系那样其 实是扭曲的,从侧面看,整个星系呈现出轻微 的S形。在最新的观测数据中,天文学家发现 银河系的星系盘不仅是扭曲的,且这种扭曲每 4.4亿年环绕银河系一次。



银河系气体高清图像来了!"中国天眼"有新发现

抬头仰望,千亿恒星织就的银河横亘在夜空。在这广袤的星际空间中,充满了稀薄的星际介质。这些银河系的"气体"长啥样?近日,国家天文台研究员韩金林领导的科研团队,利用"中国天眼"(FAS T)揭示了银河系星际介质前所未见的"高清细节"。

他们在搜寻银河系内脉冲星的过程中,同步记录了星际介质的谱线数据,揭示出银河系中性氢气体的精致结构和电离气体的弥漫特征。同时,他们还测量到大量暗弱脉冲星的法拉第效应,新证认出两例 超新星爆炸的遗迹。这些研究结果对理解银河系内的星际生态循环有重要意义。系列论文于12月10日作 为特别专题发表在《中国科学:物理学 力学 天文学》。



1942年瑞典天文学家林德布拉德提出密度波理论。1964年以来,美籍科学家林家翘建立了系统的密度波理论。

密度波理论认为,星系的螺旋 结构是一种波动图案。旋臂区域里 恒星密集,引力场强。但恒星并不 是永远停留在旋臂上。恒星按照近 于圆形的轨道绕星系中心旋转。在 运动过程中, 恒星将进入, 然后再 走出旋臂。恒星进入旋臂后由于旋 臂区恒星密集和引力场强而减慢速 度。但另一方面,速度的减慢又使 恒星挤在一起 , 密度增大, 引力场 加强,因此,一旦出现了旋臂图案 ,这种图案将自行维持。密度波理 论成功地解释了星系螺旋结构的本 质和能够长期维持的原因,并说明 了许多观测事实。密度波的一个重 要特点是,旋臂中的星不是一成不 变的,恒星有进有出,川流不息, 而旋臂图案却保持不变,旋臂不会 缠卷起来。



左:漩涡星系的照片。右:漩涡密度波的概念示意图。在一个以固定(角)速度旋转的参照系里,物质 的流线以各自的速度在封闭的椭圆轨道上旋转,但椭圆长轴随角度快速变化产生了表面密度的集中区 域,其产生的引力偏转反之能自洽地解释流线和圆周运动的偏离。



银河系旋臂的旋动(数值模拟 2022.03)





银河系中心

在可见光波段被气体和尘埃严重吸收

Extinction by 30 magnitudes

Only 1 out of 10¹² optical photons makes its way from the GC towards Earth!

Galactic center







银心分子云区的GeV-TeV 粒子组分与宇宙线海壁垒





see http://www.astro.ucla.edu/~jlu/gc/pictures/orbitsMovie.shtml

■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■
■

的超大质量黑洞 及其环境中的恒 星形成历史









Keck/UCLA Galactic Center Group 1995-2012



VLT/GRAVITY Collaboration Oct 18, 2018

(清华大学李成)



银心的X射线观测 银心区域包含很多的黑洞和中子星双星系统




其它星系/河外星系

原先被称之为"白星云"
世纪之争:银河系之外还是银河系之内?
Cepheid变星定距离:银河系之外!
Edwin Hubble分类



zen pencils.com

•星系群(最多~100星系);星系团(~100-1000星系)



Heritage Team (STScI/AURA).



M89: Elliptical Galaxy with Outer Shells and Plumes Image Credit & Copyright: <u>Mark Hanson</u>



Figure 8.13 Classification of elliptical galaxies.





椭圆星系

•在大的星系团的中心,经常观测到一个或者更多的 巨椭圆星系:~10¹³太阳质量,~300 000光年(面积 约为银河系九倍),很多星系并合的结果;数量不多

•椭圆星系:~107-13太阳质量

•一般来说,年轻恒星很少,恒星形成基本停止,气体基本用完

•椭圆星系占了宇宙中总星系数目的~1/3

旋涡星系



Figure 8.14 M51, the Whirlpool Galaxy, as drawn by the Third Earl of Rosse using the 72 in. telescope at Birr Castle in County Offaly, Ireland.



Figure 8.15 Hubble Space Telescope image of M51. Image: NASA, ESA, S. Beckwith (STScI), and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

1840s





Figure 8.16 M81 in Ursa Major. Image: NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

•核区: 恒星年老, 颜色: 黄、橘红、红

•旋臂: 恒星年轻, 颜色: 蓝色(这类恒星相对数目少, 但很亮)



△摄影作品《仙女座星系: 邻居》

英国格林尼治皇家天文台主办的2022年度天文摄影师大赛 青年组冠军:杨瀚文、周泽震(均为14岁)









Hubble / Optical

Hubble & Webb

Webb / Infrared

M74 (NGC 628)





Galaxies' star formation



Galaxy name: NGC 3627

Credits: PHANGS-ALMA/HST/MUSE, JAO/NRAO/ESO/NASA/ISRO Dr. D. Liu & Dr. A. Schruba on behalf of PHANGS Team (http://phangs.org)

旋涡星系中的暗物质

•1970s, Vera Rubin通过观测旋涡星系中的HII区深 红色的Hα谱线的移动,来测量星系的转动曲线:偏 离开普勒运动!

•暗物质? 修正的牛顿动力学(MOND)?











图2. 星系旋转曲线。如果只考虑星系中可见的恒星(虚线)或气体(点线)分布产生的引力,旋转速度将小于观测值,并且会随着到中心距离增大而下降。暗晕、恒星盘和气体合在一起可以解释观测到的旋转曲线。



暗物质的替代理论通过了重大考验 MODIFIED NEWTONIAN DYNAMICS



当加速度极小时: F=ma² vs. F=ma F~1/r vs. F~1/r²

○当前研究人员寻求一种非传统的宇宙学观点,即不考虑暗物质,发展出可以匹配宇宙微波背景 (CMB)观测结果的模型[1],这里宇宙微波背景(CMB)指的是大爆炸的残余辉光。这个无暗物质 模型是所谓的MOND(牛顿动力学修正)理论的延伸,该理论假设星系尺度上的引力与标准牛顿 力不同。之前基于MOND的模型无法重现CMB。Skordis和Złośnik表示,他们的模型可以通过 对星系团和引力波的观测进一步验证。

MOND理论最早是在30多年前提出来的,用来解释星系旋转数据,而不用引入神秘暗物质的存在[2]。MOND的支持者提出了另一个谜题,即当加速度小于10⁻¹⁰m/s²的阈值时,引 力会发生变化。这个想法并非源于任何潜在的理论,但令人惊讶的是,相同的加速度阈值适 用于几乎所有的星系,无论星系大还是小,年轻还是年老。

暗物质比MOND更受青睐的主要原因是暗物质与更大范围的天体物理观测相一致。例如,暗物质可以解释星系对来自遥远天体的光造成弯曲(引力透镜效应),而最初形式的MOND则不能。不过研究人员已经发展出所谓的相对论性MOND模型,该模型可以符合引力透镜的观测[3]。但到目前为止,该理论的这些修正版本都无法重现CMB的数据。捷克科学院的Constantinos Skordis说: "如果这个理论不能做到这一点,那么就不值得进一步考虑"。

Skordis和来自捷克科学院同事Złósnik现在构建了一个受MOND启发的模型,该模型解释了 宇宙微波背景辐射,同时也与引力透镜观测和引力波速度测量相一致。该模型延续了MOND 最近的研究成果,即假设存在两个场,这两个场弥漫于整个空间,它们共同作用就像一个额 外的引力。其中一个场是一个标量场,类似于与希格斯玻色子相关的希格斯场。另一个是矢 量场,它在空间中的每一点都有一个方向,有点像磁场。

之前的MOND无法解释CMB结果, 现在有可能了

2021/10/20

Skordis和Złósnik设置了模型的参数,以便在早期宇宙中,让引力修正场产生类似暗物质的 引力效应。以这种方式模拟暗物质确保了观测到的CMB模式得以重现。这些场随着宇宙时 间的推移而演化,最终引力会遵守最初的MOND模型。



Skordis说,这个模型类似于其他被提出用来解释暗能量的替代引力模型(见观点: Reining in Alternative Gravity)。他说,所有的宇宙学模型都会添加一些东西(新粒子或新场)来解释 观测结果。他承认,暗物质模型不同于通常基于基本对称原理的模型,新模型并没有考虑到 潜在的理论。然而,这种理论基础可能会被新的MOND模型所揭示。

星系的质量估计:一个动力学方法的例子



Figure 8.18 The hydrogen line spectrum of M33 in Triangulum. Image: Christine Jordan, University of Manchester.

朝向太阳系运动 •速度:~-180km/s •太阳绕银心速度: ~220km/s •M33朝向银河系 的运动速度: ~24km/s

•速度为负: M33

·谱线宽度200km/s:
M33边界相对中心
的运动速度:
~100km/s

•假设M33是圆形的:观测为~71x45角分,星系的倾角: arcsin(45/71)=~39度

- •速度改正: 100/cos(39)=129km/s
- •M33的直径:~71角分,71/(60x57.3)=0.020弧度

The radius of M33 is thus $\sim 0.5 \times 0.020 \times 2.36 \times 10^{22} \text{ m}$ = $\sim 2.4 \times 10^{20} \text{ m}$.

 $G M m/r^2 = m v^2/r$

 $M = r v^2/G$

- $= 2.4 \times 10^{20} \times (1.29 \times 10^{5})^{2}/6.67 \times 10^{-11} \text{kg}$
- $=6 \times 10^{40}$ kg
- $=6 \times 10^{40}/2 \times 10^{30}$ solar masses
- = ~30 thousand million solar masses.

~30x10⁹太阳质量

•根据质光关系定M33中发光物质的质量

- •太阳的绝对光度: 4.8; M33绝对光度: -19.5
- •光度差: 2.512^{24.3}=~5.2x10⁹
- •M33中发光物质的质量: =~5.2x10⁹太阳质量 (假设为太阳质光关系),只有动力学质量的1/6!
- •进一步的改正:不发光的气体和尘埃,恒星质光关系的改正,银河系的质光关系:1.5
- •M33中的重子物质: ~ 8x10⁹ 太阳质量,仍然只有动力学质量的1/4!!

→ M33里暗物质质量是正常物质的4倍(粗略估计)



- •一小部分星系没有明显外形特征: 不规则星系
- •例子: SMC; LMC, 略有棒旋特征
- •星系小,不太亮,能被观测到的不多,实际上 应该是最常见的星系类型
- •气体足够多>恒星形成,尘埃比银河系少
- •30 Doradus(剑鱼)--狼蛛星云(Tarantula)--LMC中最大的恒星形成区,含有很多的年轻恒 星—其中一个归宿为SN1987A





Irregular Galaxy Sextans A Credit: <u>D. Hunter</u> (Lowell Observatory), Z. Levay (STScI)



NGC 4449: Close-up of a Small Galaxy Image Credit & Copyright: Data - Hubble Legacy Archive, ESA, NASA; Processing - Domingo Pestana Galvan, Raul Villaverde Fraile



我天文学家发现由重子物质主导的奇特矮星系

日期: 2019年11月28日 来源: digitalpaper.stdaily.com 作者:系统管理员 【大中小】 【打印】 【关闭】

科技日报北京11月26日电(记者陆成宽)中国科学院国家天文台等单位的研究人员发现,在近邻宇宙有一类特殊的矮星系,在其几万光年的半径内,主要由重子物质构成,暗物质只占其中一小部分。这与目前在标准宇宙学模型下的 矮星系形成理论预言相违背,从而对冷暗物质的假设提出质疑,对经典的矮星系形成理论提出挑战。相关研究成果26日 在线发表于《自然·天文》杂志上。

在以暗能量和冷暗物质主导的标准宇宙学模型下,星系在暗物质晕中形成和演化。在大质量的系统中,重子比例可 达到宇宙的平均值,这一比例随着暗晕质量的减小迅速降低。"由于低质量系统束缚重子的能力比较弱,在矮星系系统 中,通常认为其重子物质含量相对于暗物质是非常少的,这也在银河系和本星系群的卫星星系中得到证实。不同于大的 星系,在这些卫星星系中,即使在其几千光年半径内,都是暗物质主导的。"中国科学院国家天文台研究员郭琦说。

然而,研究发现了一类特殊的矮星系,不同于以往的观测数据和数值模拟的预言结果,这些矮星系在中性氢覆盖的 区域(几万光年)都是由重子物质主导的。在典型的矮星系系统中,在该尺度上的暗物质质量是重子物质质量的十到几 百倍。特别的是,研究发现的这类矮星系大部分是孤立系统,并不会受到外界环境的影响。目前,在标准宇宙学模型 下,还没有任何理论或者数值模拟能够解释这类星系的形成。

郭琦表示,这一发现对标准宇宙学模型,以及该模型下的星系形成理论提出了重大质疑,促使人们重新审视暗物质的本质,温暗物质或者绒毛暗物质模型或许更易于解释此类矮星系的形成。







Figure 8.19 Diagram summarizing the Hubble galaxy classification scheme. Image: NASA, Wikipedia Commons.





来自原初扰动 的星系自旋





将形态不对称性和大尺度 环境与星系中的恒星形成 和气体吸积关联起来

星系核球之谜: 数值模拟的启示

The Spitzer Infrared Nearby Galaxies Survey (SINGS) Hubble Tuning-Fork






















图:哈勃于2009年公布的触须星系的可见光与近红外合成图像。这张图由高级巡天照相机、第三代 宽场照相机与第二代宽场与行星照相机得到的数据合成而得(来源: ESA/Hubble & NASA)





Spitzer/Hubble View of NGC 2207 & IC 2163 NASA, ESA / JPL-Caltech / STScl / D. Elmegreen (Vassar) Spitzer Space Telescope • IRAC ssc2006-11b









星系与其他4个星系并无关联,只是恰好同框。(来源:NASA, ESA and the Hubble SM4 ERO Team)









NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University)

(环球科学)

2008年:星系碰撞



2008年的代表性照片,由12张图片共同构成,它们共同展示了罕见的星系碰撞场景的不同阶段。随着宇宙的加速膨胀,星系融合的几率越来越低,目前只有千分之一。但在早期 宇宙中,星系间距离更近,因此碰撞几率也较高。





宇宙

•可观测宇宙:对应光从宇宙诞生至今所能传播的距离 (465亿光年!)

•宇宙距离尺子:

- -- 测量星系距离→了解宇宙尺度
- -- 宇宙距离阶梯: 量天尺-造父变星的周光关系



测量距离的方法: 三角视差、分光视差、周光关系、 SNIa、光谱红移。。。 SEAMBH, RM+R-L。。。

宇宙诞生自138亿年前,而可观测宇宙半径达465亿光年



然而模拟出的可观测宇宙直径大约为930亿光年,远大于上述数值 / Andrew Z. Colvin

得到可观测宇宙的半径为138亿年,隐含了一个假设:宇宙空间是静止的,既没有 膨胀,也不会收缩。在这样的空间中,假设这种情况下有一个光子从宇宙诞生之初就存 在,旅行到今天,它走过的路程才是138亿光年;进而,宇宙的可观测半径的大小也就 是138亿光年。但事实并非如此。宇宙自诞生以来就一直在膨胀。这意味着什么呢?实际上在考虑到宇宙空间膨胀的修正后,光的速度看起来是大于30万公里每秒的。所以,可观测宇宙的大小会大于138亿光年。



复杂的"宇宙距离阶梯"(cosmic distance ladders): 第一级台阶由我们银河系内部的恒星以及被称为"标准烛光"的天体确定(比如造父变星)。标准烛光具有明确的光度,而且离我们足够近,足以产生视差——这是不需要旅行到那里就能确定物体有多远的唯一方法! 然后,天文学家将这些被视差法标定的标准烛光的亮度与附近星系中较暗的标准烛光的亮度进行比较,以推算较暗较远的标准烛光的距离——这些遥远的标准烛光构成了宇宙距离梯度中的第二级台阶。如果第二级台阶中星系中包含罕见而明亮的Ia型超新星,那么通过测算它们的距离,宇宙学家就可以估算出包含更暗的Ia型超新星的较遥远星系的相对距离——这构成了更高阶的宇宙距离阶梯。(简单根据这些遥远星系的退行速度与其距离之比可得出宇宙膨胀率,也就是哈勃常数。)

利用SN1987A来测量LMC的距离

•SN爆发后经过dt,其前身星喷出的环状物被照亮; 若theta=90度,则环会被同时照亮,R=c*dt

•真实情况: theta非90度, B在爆发后75天被照亮(对应dTn), A在390天后被照亮(对应dTf)



Figure 8.20 The geometry of the ring surrounding Supernova 1987A. Image: NASA, P. Challis, R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and B. Sugerman (STScI).

 $\Delta T_{\rm n} = (R - R\cos\theta)$ days after we first see the supernova. Radius of the ring = $232.5 \times 3 \times 10^5 \times 3600 \times 24$ km $= 6 \times 10^{12} \text{ km}$ $\Delta T_{\rm f} = (R + R\cos\theta)$ days after we first see the supernova. $D = d/\theta$ (where θ is in radians) $= 6 \times 10^{12} / [0.86 / (3600 \times 57.3)] \text{ km}$ $= 6 \times 10^{12}/4.2 \times 10^{-6}$ km $\Delta T_{\rm n} + \Delta T_{\rm f} = [(R - R\cos\theta) + (R + R\cos\theta)]$ $= 1.4 \times 10^{18} \text{ km}$ = 2R $= 1.4 \times 10^{18}/3.1 \times 10^{13} \,\mathrm{pc}$ $= 46\,100\,\mathrm{pc}$ $R = (\Delta T_{\rm n} + \Delta T_{\rm f})/2 = (75 + 390)/2$ = 232.5 light days. (准确值: 51.5+/-1.2kpc) Observer (a) (b)

Figure 8.20 The geometry of the ring surrounding Supernova 1987A. Image: NASA, P. Challis, R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and B. Sugerman (STScI).







超新星1987A的艺术想象图,展示了它非对称的物质喷流。

作者: L. Calçada/ESO

•周光关系: Henrietta Leavitt, 1912
•星系、星系团的标准烛光

量天尺-造父变星







例子:利用造父变星测量M81距离 --颗LMC中的造父变星有logP=1.4与mag=13.9 .其在M81中有mag=22.8,暗22.8-13.9=8.9mag .对应亮度比2.512^8.9=3632 →距离比(3632)^0.5=60.2 .M81距离为: 51.5*60.2=3104kpc=10.1MLy



Figure 8.22 Plots of visual magnitude against log₁₀ of the period for Cepheid variables in the Large Magellanic Cloud (a) and M81 (b).



北京大学科维理天文与天体物理研究所江林华领衔的 国际团队探测到一个134亿光年外星系的光谱,证实 了该星系为人类发现的最遥远天体。团队同时还捕捉 到来自该星系持续数分钟的爆发信号,疑似与星系中 一个伽马射线暴有关。该成果对理解宇宙早期星系和 恒星形成有重要意义,为研究宇宙极早期天体打开了 一扇窗口。目前该成果的两篇论文均发表在2020年 12月14日的《自然-天文》(Nature Astronomy)杂



图1:艺术想象图-北大学者领衔团队证实134亿光年之外存在的最遥远星系及其中疑似伽马射线暴 (图片制作:北京天文馆喻京川)。



图2. 星系GN-z11的部分光谱。其中图a)和c)分别是二维和一维光谱,图b)和d)分别是相应 的平滑后光谱。图中显示,二次电离碳位于静止波长191纳米左右的发射线,已经移至2283纳 米左右,表明其红移为10.957,即距离在134亿光年外。

红移高达11.0!

Article

https://doi.org/10.1038/s41550-023-01918-w

Spectroscopic confirmation of four metal-poor galaxies at z = 10.3-13.2

Received: 22 December 2022

Accepted: 13 February 2023

Published online: 4 April 2023

Check for updates



Finding and characterizing the first galaxies that illuminated the early universe at cosmic dawn is pivotal to understand the physical conditions and the processes that led to the formation of the first stars. In the first few months of operations, imaging from the James Webb Space Telescope (JWST) has been used to identify tens of candidates of galaxies at redshift (z) greater than 10, less than 450 million years after the Big Bang. However, none of such candidates has yet been confirmed spectroscopically, leaving open the possibility that they are actually low-redshift interlopers. Here we present spectroscopic confirmation and analysis of four galaxies unambiguously detected at redshift 10.3 $\leq z \leq$ 13.2, previously selected from JWST Near Infrared Camera imaging. The spectra reveal that these primeval galaxies are metal poor, have masses on the order of about $10^7 - 10^8$ solar masses and young ages. The damping wings that shape the continuum close to the Lyman edge provide constraints on the neutral hydrogen fraction of the intergalactic medium from normal star-forming galaxies. These findings demonstrate the rapid emergence of the first generations of galaxies at cosmic dawn.

A list of authors and their affiliations appears at the end of the paper





星暴星系

•辐射更多的红外和射电

•恒星形成剧烈,年轻恒星的辐射加热星系中的尘埃, 辐射红外辐射;如果有些地方尘埃少,可以直接看到 非常热的恒星的紫外辐射

•HII区恒星形成,辐射强的射电辐射

•大质量恒星演化快,超新星爆发,激波加速电子至接近光速→射电辐射

•在星系的中心,超新星遗迹在光学波段不可见,但 是在射电波段可见



星暴星系: M82



Figure 8.23 M82 in Ursa Major – a starburst galaxy. Image: J. Gallagher (University of Wisconsin), M. Mountain (STScI), and P. Puxley (National Science Foundation), NASA, ESA, and The Hubble Heritage Team (STScI/AURA).

和其邻居M81的
"亲密接触"
(close passage)
导致星爆

•射电观测:中心 有>50个SNR

•SNR气体壳层速 度:可高达 ~2000km/s

•最年轻的SN: ~40年前,藏于尘 埃中





Fig. 2.2—3.The Superwind in M82. *Image of the nearby starburst galaxy, M82, taken with NASA's Great Observatories. M82 is experiencing an intense starburst and driving a galactic outflow along the minor axis. Here, the stars and the warm atomic gas, as seen with HST, are in green and orange, respectively. The dust, as seen with Spitzer, is in red. The hot plasma, as seen with Chandra, is in blue. The complex, multi-phase nature of the bi-polar outflow, driven by the combined effects of young stars and supernovae, is evident, as the gas escapes the galactic disk and interacts with the CGM.*



直径约为5400光年。天文学家认为,从星系核心向外传播的压力将外围区域的气体压缩,使其中的



气体快速形成恒星。

Credit: ESA/Hubble & NASA









活动星系核 (AGNs)



(University of Warwick, retrieved from bordermail.com.au)

- Tremendous amounts of energy from the center of a galaxy
- Excess emission across almost all wavelengthes
- Accretion of mass onto SMBH (~1E6-1E10 Msun)
- Most luminous persistent sources of electromagnetic radiation
- Three key components



变幻莫测的 超大质量黑洞



快速多样的

活动星系核之旅



图1: 化学反应、核聚变,以及黑洞吸积三类过程所释放能量效率的对比。我们常见的煤燃烧释放的是 化学能,能量释放率相对较低。恒星内部核反应释放的是核能,氢核聚变的能量释放率约为0.7%,1 克氘核聚变产生的能量与燃烧约10吨煤相当。而黑洞吸积过程导致的能量释放率可达约10%,效率约 为核聚变的几十倍(能量释放率=释放的能量/mc^2,量级估算,图中数字不要太当真哦)。图片来 源:NASA





○ 借助HST, 天文学家证实了许多星系中心都包含了超大质量黑洞。这些巨大的黑洞周围环绕着明亮的气体和恒星。|图片来源: Karl Gebhardt、Tod Lauer、NASA




这张略显模糊的图像,展示了椭圆星系NGC 4261中心的盘状结构。这个直径约300光年 的圆盘由低温气体与尘埃组成,它也是该星系中心黑洞的物质来源。其近60°的倾角使得 天文学家能够清晰辨别其内部结构。

1992年: 椭圆星系NGC 4261的中心







Active galaxy Centaurus A



(NASA, CXC, R. Kraft et al.; NSF, VLA, M. Hardcastle et al.; ESO, M. Rejkuba et al.)

Jet of M87



(STScI)



Article | Published: 18 September 2024

Black hole jets on the scale of the cosmic web

Martijn S. S. L. Oei ^{ID}, Martin J. Hardcastle, Roland Timmerman, Aivin R. D. J. G. I. B. Gast, Andrea Botteon, Antonio C. Rodriguez, Daniel Stern, Gabriela Calistro Rivera, Reinout J. van Weeren, Huub J. A. Röttgering, Huib T. Intema, Francesco de Gasperin & S. G. Djorgovski

Nature 633, 537–541 (2024) Cite this article

When sustained for megayears (refs. 1,2), high-power jets from supermassive black holes (SMBHs) become the largest galaxy-made structures in the Universe³. By pumping electrons, atomic nuclei and magnetic fields into the intergalactic medium (IGM), these energetic flows affect the distribution of matter and magnetism in the cosmic web⁴⁻⁶ and could have a sweeping cosmological influence if they reached far at early epochs. For the past 50 years, the known size range of black hole jet pairs ended at 4.6-5.0 Mpc (refs. 7-9), or 20-30% of a cosmic void radius in the Local Universe¹⁰. An observational lack of longer jets, as well as theoretical results¹¹, thus suggested a growth limit at about 5 Mpc (ref. 12). Here we report observations of a radio structure spanning about 7 Mpc, or roughly 66% of a coeval cosmic void radius, apparently generated by a black hole between $4.4^{+0.2}_{-0.7}$ and 6.3 Gyr after the Big Bang. The structure consists of a northern lobe, a northern jet, a core, a southern jet with an inner hotspot and a southern outer hotspot with a backflow. This system demonstrates that jets can avoid destruction by magnetohydrodynamical instabilities over cosmological distances, even at epochs when the Universe was 7 to 15^{+6}_{-2} times denser than it is today. How jets can retain such long-lived coherence is unknown at present.





Fly toward a SMBH







(NASA)



Quasar is short for Quasi-stellar object. Note how star-like this quasar appears compared to the star.







活动星系核: 高光度



✤ 在可见光波段,活动星系核经常比它的寄主星系 要亮几千倍!



活动星系核: 宽的能谱



 Comparable power emitted across over seven orders of magnitude in photon energy



Significantly in time t must have size R < ct</p>

发现上升时标最短的活动星系核耀发

创新点:搜寻时变卫星RXTE所有数据,发现活动星系核在所有波段中 上升时标最短的高信噪比耀发



科学价值:

最严格观测证据:黑洞尺寸不是耀发辐射区尺度的严格下限(亚视界!)

● 对喷流结构、辐射及光变模型提供<mark>严格观测限制</mark>

活动星系核的能源: 超大质量黑洞吸积



 Efficient, compact, and capable of producing high-energy emission and jets



黑洞质量测量例子

•M84: 吸积盘中的气体团距离中心~26Ly 旋转速度400km/s (HST观测)

 $M = r v^2/G$

 $26 \text{ Ly} = 26 \times 9.46 \times 10^{15} \text{ m} = 2.4 \times 10^{17} \text{ m}, v = 4.0 \times 10^{5} \text{ m s}^{-1}$

This gives:

$$\begin{split} M &= 2.4 \times 10^{17} \times (4 \times 10^5)^2 / 6.67 \times 10^{-11} \text{kg} \\ &= 5.9 \times 10^{38} \text{kg} \\ &= 5.9 \times 10^{38} / 2 \times 10^{30} M_{\text{sun}} \\ &= 2.93 \times 10^8 M_{\text{sun}} \\ &= \sim 300 \text{ million } M_{\text{sun}} \end{split}$$





图5.2:反响映射(Reverberation Mapping)法通过观测活动星系核中宽发射线(Emission Lines)对连续谱辐射 (Continuum Emission) 的响应来测量宽线区云团(Broad Line Region Clouds) 的绕转半径。结合绕转速 即可估算中心黑洞质量。(图: Janie Hoormann)

 $GM_{\bullet} = fR_{\rm BLR}(\Delta V)^2$. Measure the time lag in response of BLR clouds to changing ionizing flux from the accretion disk

- Implied sizes range from light weeks in low power AGN to light years in powerful ones
- Size plus velocity yield black hole mass

9200

optical (

9000

9100 time (days) [JD-2400000]



图 1 宽线区的尺度-光度关系。左图取自 Bentz et al. (2013), 右图取自 Du et al. (2018)。高 吸积率的 AGN 显著偏离传统的 R_BLR-L_5100 关系。





◆ 发现、观测宁静SMBH的有效手段
◆ 发生率~1E-6至1E-4/galaxy/yr
◆ Dual SMBHs中发生率会显著变大



(NASA)



潮汐瓦解事件产生的明亮辐射会覆盖整个电磁波谱,从无线电到可见光再到X射线。X射线的 发射来自黑洞附近,其他波长的发射则来自喷流的更下游。 图片来源:Zwicky Transient Facility / R. Hurt (Caltech/IPAC) 图片汉化:哇喳



ESO Telescope Sees Star Dance Around Supermassive Black Hole, Proves Einstein Right

16 April 2020



Observations made with ESO's Very Large Telescope (VLT) have revealed for the first time that a star orbiting the supermassive black hole at the centre of the Milky Way moves just as predicted by Einstein's general theory of relativity. Its orbit is shaped like a rosette and not like an ellipse as predicted by Newton's theory of gravity. This long-sought-after result was made possible by increasingly precise measurements over nearly 30 years, which have enabled scientists to unlock the mysteries of the behemoth lurking at the heart of our galaxy.

Artist's animation of S2's precession effect



Observations made with ESO's Very Large Telescope (VLT) have revealed for the first time that a star, S2, orbiting the supermassive black hole at the centre of the Milky Way moves just as predicted by Einstein's theory of general relativity. Most stars and planets have a non-circular orbit and therefore move closer and further away from the object they are rotating around. S2's orbit precesses, meaning that the location of its closest point to the supermassive black hole changes with each turn, such that the next orbit is rotated with regard to the previous one, creating a rosette shape. This effect, known as Schwarzschild precession, had never before been measured for a star around a supermassive black hole.

This animation shows S2's orbit around Sagitarius A*, the supermassive black hole at the centre of the Milky Way. The precession movement is exaggerated for easier viewing.

Credit: ESO/L. Calçada

Zooming in on the heart of the Milky Way



This zoom video sequence starts with a broad view of the Milky Way. We then dive into the dusty central region to take a much closer look. There lurks a 4-million solar mass black hole, surrounded by a swarm of stars orbiting rapidly. We first see the stars in motion, thanks to 26 years of data from ESO's telescopes. We then see an even closer view of one of the stars, known as S2, passing very close to the black hole in May 2018. The final part shows a simulation of the motions of the stars.



十年前,费米伽马射线太空望远镜发现了一对关于银河系中心对称的巨大气泡状结构,这对气泡被称为"费米气 泡",其起源至今仍然是一个学术界争论的谜团。最近,中国科学院上海天文台的研究人员提出了一个新模型, 首次同时解释了"费米气泡"与2003年发现的银河系中心双圆锥形X射线结构的起源。根据这个模型,这两个结构 本质上是同一现象,都是由银河系中心超大质量黑洞(Sgr A*)在5百万年前发出的一对喷流所驱动的正向激波 (forward shock)产生的。目前该工作已正式发表在天文学顶级期刊《天体物理学杂志》(ApJ)上。

Detection of large-scale X-ray bubbles in the Milky Way halo Nature 588, 227–231(2020)

Fig. 3: Comparison of the morphology of the γ -ray and X-ray bubbles.



A composite Fermi–eROSITA image is shown. The X-ray extended emission revealed by eROSITA (0.6–1-keV band; cyan) encloses the hard component of the extended gigaelectronvolt emission traditionally referred to as Fermi bubbles (red; Fermi map adapted from ref. ³⁵), unequivocally establishing their close relation.

民人民人家的 3. 泡 (Credit: S. Munro, NASA)





nature astronomy

LETTERS https://doi.org/10.1038/s41550-021-01561-3

2022.01.14

Check for updates

а

Evidence for the connection between star formation rate and the evolutionary phases of quasars

Zhifu Chen¹, Zhicheng He^{2,3}, Luis C. Ho^{4,5}, Qiusheng Gu⁶, Tinggui Wang^{2,3}, Mingyang Zhuang^{4,5}, Guilin Liu^{2,3} and Zhiwen Wang¹

Both theory and observations suggest that outflows driven by an active central supermassive black hole have a feedback effect on shaping the global properties of the host galaxy¹⁻⁸. However, whether feedback from the outflow is effective, and if so, whether it is positive or negative, have long been controversial. Here, using the latest catalogue from the Sloan Digital Sky Survey, we use the flux ratio of the [OII] to [NeV] emission lines as a proxy to compare the star formation rate in the hosts of quasars with different types of broad absorption lines (BALs): low-ionization (Lo)BAL, high-ionization (Hi)BAL and non-BAL. We find that the star formation rate decreases from LoBAL to HiBAL guasars, and then increases from HiBAL to non-BAL guasars. Assuming that the sequence of LoBAL to HiBAL to non-BAL represents evolution, our results are consistent with a quenching and subsequent rebound of star formation in quasar host galaxies. This phenomenon can be explained by suppression of the star formation rate by the outflow and then rebound of the rate once the outflow disappears as the guasars evolve from HiBALs to non-BALs. Our result suggests that the quasar outflow has a negative global feedback on galaxy evolution.







- 南京大学研究人员领衔的国际研究团队
 创新性地从探索近邻星系的黑洞质量与 星系中原子氢气体的含量之间的关系入 手,首次揭示了星系中心黑洞的质量是 调制星系中原子氢气体含量的最关键的 物理量:中心黑洞质量越高的星系其原 子氢气体含量越低;对星系中心黑洞是 否影响和如何影响星系中的冷气体含量 及恒星形成提供了重要的观测证据,同 时也对中心黑洞对宿主星系具体的反馈 机制也作出了重要限制
- 成果于2024年8月14日发表于国际科学期刊《自然》





小黑洞撞向OJ 287星系中心黑洞吸积盘的示意图(图片来源: NASA/JPL-Caltech)

在距离我们35亿光年的OJ 287星系中心,是迄今发现的最大黑洞之一,它的质量相当于 太阳质量的180亿倍。在观测这颗黑洞时,天文学家发现其光变曲线呈现出有趣的周期性 变化:每12年,其光度会出现两次峰值。但峰值在周期内的时间分布及间隔,似乎没有规 律可循。进一步研究认为,周期性的光度变化,是由另一颗围绕其运行的黑洞导致的—— 虽然远逊于OJ 287中心的黑洞,但它的质量依然达到了1.5亿倍太阳质量。较小的黑洞以 12年为周期,绕中心大黑洞运行。每当它撞上大黑洞的吸积盘,会产生耀眼的光芒——其 光度甚至超过了整个银河系。

但是,要准确预测这团"焰火"出现的时间,对天文学家来说却是一个难题。我们知道,黑 洞巨大的引力形成时空涟漪,影响周围天体的运动轨迹。因此,在这个双黑洞系统中,小 黑洞的运行轨道非常不规律。



双超大质量黑洞

之舞



The flares occur irregularly because the physics of this double black hole system is complex.

Scientists modeled the system accurately enough to predict the timing of the flares to within 4 hours.

Black Hole Orbit in Center of Galaxy OJ 287





 "Doppler boosting": we often see only the approaching side of the twin jet






Monthly Notices of the royal astronomical society MNRAS **496,** 245–268 (2020)

The L_x - L_{uv} - L_{radio} relation and corona-disc-jet connection in optically selected radio-loud quasars

S. F. Zhu (朱世甫)^{⁽⁰},^{1,2*} W. N. Brandt,^{1,2,3} B. Luo (罗斌),⁴ Jianfeng Wu (武剑锋),⁵ Y. Q. Xue (薛永泉)^{6,7} and G. Yang (杨光)^{^(08,9)}

- The quasars jets generally contribute much less to the nuclear X-ray emission than previous thought.
- A corona-jet connection is at play for RLQs, in addition to the disk-corona coupling and disk-jet connection.
- The corona-jet connection implies that small-scale processes in the vicinity of supermassive black holes, probably associated with the magnetic flux/topology instead of black hole spin, are controlling the radioloudness of quasars.



doi:10.1093/mnras/staa1411

CHANDRA X-RAY DBSERVATORY NASA's flagship mission for X-ray astronomy.										
	Home	About Cł	nandra	Education	Field Guide	Photo Album	Press Room	Resources	Multimedia	
	Images by Date $_{\bigcirc}$			The R	The Recipe for Powerful Quasar Jets			(Zhu et al. 2020)		
	2020 2016 2012 2008 2004 2000	2019 2013 2015 2014 2011 2010 2007 2000 2003 2003 1999 2013	8 2017 4 2013 0 2009 6 2005 2 2001	ILL	USTRATION					
	Images	by Categor	y		646	200	I			
	Solar System Stars White Dwarfs Supernovas Neutron Stars Black Holes Milky Way Galaxy Normal Galaxies Quasars Galaxy Clusters Cosmology/Deep Field Miscellaneous									
	Images	by Interest	Θ							5. F
	Space Scoop for Kids 4K JPG Multiwavelength Sky Map Constellations Photo Blog			 Scie bea A ne has 	entists are iden ms, or jets, and ew study of ove revealed a pos	tifying the reaso d others do not. er 700 quasars (ssible answer.	ons why some l rapidly growin	black holes produce powerful ng supermassive black holes)		
~	Image H Desktor	landouts s		• Reg dict	ions of diffuse ate whether or	hot gas threaded not a supermas	d with powerfu sive black hole	ul magnetic fie e generates a j	lds may et.	
	Fits File	S		• This XMN	s study combine M-Newton, NSF	ed data from NA 's Very Large Ar	SA's Chandra > ray, and the SI	K-ray Observat oan Digital Sk	tory, ESA's y Survey.	S





孤立

- •本星系群:~40星系(包括银河系)尺度~3百万光年
- •三个主要的星系:都为旋涡星系,MW(质量第二大),M31 (仙女星系,质量最大),M33(质量第三大)
- •M31与MW质量和大小相仿,经过几十亿年之后,将和MW合 并, 变成一个椭圆星系
- •许多矮椭圆星系:例如M31的两个卫星星系
- •M32—小的E2星系; NGC205 (M110) E5/E6
- •几个大的不规则星系: SMC/LMC; 至少10个矮的不规则星系
- •可能有别的成员: MW挡住>20%的天空





Figure 8.25 M31, the Andromeda Galaxy, along with two dwarf elliptical galaxies, M32 and NGC 205. Image: Adam Block, NOAO/AURA/NSF.





利用恒星运动 学和星族来揭示 天炉座星系团中 星系的组装历史



Figure 8.26 The Virgo cluster of galaxies. Image: Space Telescope Science Institute, NASA.

室女星系团(Virgo): ~2000星系用流体模拟探
究理解星系群
和星系团后发星系团(Coma); 武仙星系团(Hercules)和星系团星系团: ~50-1000星系; 6-35百万光年大小; 10¹⁴-10¹⁵Msun



星系团MS 0735+74 中的"宇宙烟花": X射线(蓝色)、光学(黄白色)、射电(红色) | 图源: (左)X-ray: NASA/CXC/Univ. Waterloo/B.McNamara; Optical: NASA/ESA/STScl/Univ. Waterloo/B.McNamara; Radio: NRAO/Ohio Univ./L.Birzan et al.; (右)Pinterest

(耿超,中国科学院紫金山天文台)

Perseus cluster: Chandra image









W.N. Colley and E. Turner (Princeton University), J.A. Tyson (Bell Labs, Lucent Technologies), and NASA







韦布深场SMACS 0723







宇宙放大镜下的宇宙 (舒轶平 紫金山天 文台)



星系团X射线 研究的未来











利用弱引力透镜 连接星系演化的 "亮面"与"暗面"



通过小暗物质 晕引力透镜的 引力波来探索 暗物质的本质

nature astronomy

Letter | Published: 25 January 2021

A Lyman- α protocluster at redshift 6.9

近日,由我校天文系发起的,中国、美国、智利三国天文学家 参加的"宇宙再电离时期的莱曼阿尔法星系"(英文缩写LAGER) 研究项目在宇宙黑暗时期星系观测研究领域再获突破性进展。该项 目使用安装于智利CTIO天文台4米口径望远镜的超大视场暗能量相 机,通过专门定制的窄带滤波片,系统搜寻宇宙黑暗时期莱曼阿尔 法发射线星系候选者,他们通过分析测光选星系样本,发现了一个 红移~6.9的原初星系团候选者LAGER-z7OD1,并利用国际大型望 远镜得到了光谱证认。LAGER-z7OD1是宇宙中已知最遥远的原初 星系团。国际知名天文期刊《自然·天文》(Nature Astronomy) 于2021年1月26日凌晨以"A Lyman-α protocluster at redshift 6.9"为题发表了这一重要研究结果。

天文学家预期宇宙再电离时期的星系是强莱曼阿尔法(Lya)发射 线天体,可以用窄波段成像法高效探测,同时Lya光子会被星系际 弥散的中性氢原子散射,因此观测到的发射线强度和轮廓依赖于再 电离程度,Lya发射线星系是探测宇宙再电离和宇宙早期星系的强 有力手段。LAGER项目组致力于搜寻红移~7的莱曼阿尔法发射线星 系,他们通过分析窄波段选的星系候选者空间分布,发现了一个由 21个Lya发射线星系组成的过密区域LAGER-z7OD1,星系数密度 是平均值的6.1倍。项目组利用智利麦哲伦望远镜针对这个区域进行 光谱证认,从而确认这些星系组成了一个迄今有光谱证认的最遥远 的原初星系团,它所处的宇宙年龄仅有7.7亿年(相当于宇宙年龄的 ~6%),最终塌缩形成的星系团质量估计为3.7×10¹⁵太阳质量。



(Hu, Wang, et al. 2021, NA)

超团

小的星系团和星系群可能组成更大的结构:超团
超团: ~300百万光年(100倍本星系群)
一般有一个富星系团为中心,加上其他的小星系群
•Virgo超团: 150百万光年; Virgo星系团为中心,本星系群在边界上

•Coma超团: ~330百万光年; Coma星系团: ~1000 星系



Hubble极深场

很多星系的年龄:~7亿年! 只有宇宙年龄的5%

哈勃的超深视场图像显示了一些当前技术可以看到的最遥远的星系,每个星系都由数千亿颗恒星组成。(观测图像面积 约为满月的1/79) / NASA



2012: 超级深场的组合——哈勃极端深场



极端深场的图中有5500个星系,最古老的那个星系 发出的光是在宇宙诞生之后6亿年时发出的。图中的 那些红色星系是其他星系碰撞并合之后的产物。图 中的大部分小星系在此后的岁月里互相并合,最终 形成了更大的星系。

根据其视场边长,可以计算出其天区面积为4.95平 方角分,是全天面积的3千万分之1。据此可以推断 出,宇宙中的星系数量至少为1650亿,略多于之前 计算的1545亿。

(credit: 王善钦)

图: 2012年9月25日被公布的哈勃极端深场图。这张图累积了过去10年哈勃的ACS与WFC3对天炉座的一小片天区的可见光与近红外线的8个波段的观

测,累计曝光200万秒。在这片狭小的天区里,出现5500个星系,其中有些星系发出那些光芒时,宇宙的年龄还不足7亿年。图中标注出几个高红移

星系与一个红移为1.55的超新星。



Credit: NASA, ESA, G. Illingworth, D. Magee, and P. Oesch (University of California, Santa Cruz), R. Bouwens (Leiden University), and the HUDF09 Team

https://esahubble.org/images/heic1214b/

Hubble Probes the Early Universe 1990 Ground-based observatories 995 Hubble Deep Field 2004Hubble Ultra Deep Field 2010 Hubble Ultra Deep Field-IR · **FUTURE** James Webb Space Telescope Redshift (z): 10 >20 Time after the Big Bang 800 480 200 Present 1.5 billion billion million million million years years years years years 图:不同时代、不同望远镜能够探测到的宇宙的深度。最上方是地面上的10米口径的Keck望远镜,中 间三行都是哈勃,最后一行是即将升空的韦伯。下方粉红色标记着红移 (redshift),红移越大,对应的

宇宙越年轻。白色字标记着对应红移处的宇宙年龄,以10亿年为单位。

Credit: NASA, ESA

(credit: 王善钦)

https://esahubble.org/images/heic1103e/



图2:通过光学观测的两种重要手段(图像和光谱观测)构建三维宇宙。左图显示了望远镜拍摄单颜色 的局部星空照片,里边包含了许多恒星和星系。对图像中的天体进行形态测量可以精确给出它们二维 平面投影位置。右图是一个光谱例子,红移为3.5左右,对应距离超过110亿光年。通过对比光谱中被红 移谱线的波长(如图中红线标记的位置)和该谱线的静止波长,可以准确测量红移,从而可以计算出 星系离我们的距离。图片来自David Kirkby。









图中左上部分为斯隆数字巡天(SDSS)展示的三维宇宙切片,图中右上部分为DESI在项目启动最初几个月观测 得到的三维宇宙切片。图中的每个点代表一个星系,地球位于中心位置,最远距离的星系大约为100亿光年。 图片来源:DESI国际合作项目团队

First Results from DESI Make theMost Precise Measurement of OurExpanding UniverseBy Lauren BironApril 4, 2024

Researchers have used the Dark Energy Spectroscopic Instrument to make the largest 3D map of our universe and worldleading measurements of dark energy, the mysterious cause of its accelerating expansion



Key Takeaways

- DESI mapped galaxies and quasars with unprecedented detail, creating the largest 3D map of the universe ever made and measuring how fast the universe expanded over 11 billion years.
- This is the first time that scientists have measured the expansion history of that distant period (8-11 billion years ago) with a precision of better than 1%, providing a powerful way to study dark energy.
- With just its first year of data, DESI has surpassed all previous 3D spectroscopic maps combined and confirmed the basics of our best model of the universe – with some tantalizing areas to explore with more data.

DESI has the full r universe

DESI has made the largest 3D map of our universe to date. Earth is at the center of this thin slice of the full map. In the magnified section, it is easy to see the underlying structure of matter in our universe. Claire Lamman/DESI collaboration; custom colormap package by cmastro



Simulation of cosmic web





红移2以上星 系与大尺度 环境的关联 (东京大学 梁永明)





邱宇领衔在《自然·天文》揭示星系团纤维状冷气体形成机制

科维理所 北大天文 前天

星系团作为宇宙中质量最大的结构,包含几百至几千个被暗物质引力势阱束缚的星系。 在星系团中心通常存在一个超大质量黑洞,这些黑洞能够吞噬周围的物质,并将部分物质转 化为光子和离子的爆发,这种爆发被称为活动星系核反馈。科维理天文所博士后邱宇及合作 者2020年5月4日在《自然·天文》杂志发表题为"星系团模拟揭示包含宇宙尘埃的纤维状冷 气体结构的形成"的论文,通过辐射-流体力学的数值模拟,研究了活动星系核反馈如何促成 长度超过十万光年的纤维状气体的形成。

活动星系核反馈所驱动的、由内而外的气体外流是该纤维状结构形成的关键





英仙座星系团纤维状结构的哈勃望远镜观测图(左)与数值模拟示意图(右)对比。氢原子Ha可 见光谱线常被用来观测温度约一万开尔文的气体。



X

ESO telescope spots galaxies trapped in the web of a supermassive black hole

1 October 2020 6个星系+1个活动星系核的"聚集";黑洞在"纤维"里快速成长



With the help of ESO's Very Large Telescope (VLT), astronomers have found six galaxies lying around a supermassive black hole when the Universe was less than a billion years old. This is the first time such a close grouping has been seen so soon after the Big Bang and the finding helps us better understand how supermassive black holes, one of which exists at the centre of our Milky Way, formed and grew to their enormous sizes so quickly. It supports the theory that black holes can grow rapidly within large, web-like structures which contain plenty of gas to fuel them.

SDSS galaxies





Fly into a large-scale structure


宇宙的结构



Figure 8.28 The structure of the local universe. Image: T. Jarett (IPAC/Caltech), Wikipedia Commons.

近邻宇宙的结构:星系-群-团-超团;~100Mpc以上,近似均匀

Galaxies form and evolve in evolving dark matter halos



primodial density fluctuations set initial conditions for the formation of cosmic structure and galaxies



energy feedback from central supermassive black hole may regulate star formation efficiency



formation and growth of dark matter halos and LSS by gravitational instability and dark halo merging 500kpc Webb+Chandra

galaxy formation through gas inflows and outflows in/around dark halos



galaxy evolution driven by both secular processes and environment



gas-star-gas cycling with chemical evolution and energy feedback



从空间和时间上剖析星系生态系统 (清华大学 李成)

Galaxies are complex, diverse and evolving ecosystems

- Multi-component: stars, dust, neutral/ionized gas, metals, black hole, CGM, IGM, ...
- Multi-scale: large-scale structure, dark matter halo, galaxy-wide, sub-galactic regions
- Multi-physics: different physical processes work at different scales
- Multi-epoch: different processes play different roles at different cosmic epochs



从空间和时间上剖析星系生态系统 (清华大学 李成)



HIERARCHICAL GALAXY FORMATION



 Small mass fluctuations (such as those revealed by the all-sky map, shown at left, obtained by the COBE satellite) are relics of the Big Bang. These are the "seeds" of galaxy formation.

 Invisible dark matter halos (shown in orange below) collapse from the ambient background, tracing the initial mass fluctuations.

3. Primordial gas condenses within the dark matter halos. Some stars form during the collapse, and collect into globular clusters. Most of the gas collects into diaks (shown in yellow).

ark Matter Halo

 Stars form in the disk, gradually building up a spiral galaxy.



0

5. Mergers and collisions of disks produce elliptical galaxies

Elliptical dalaxy





宇宙中的星系

底图来源: NASA





星系-黑洞宇宙生态系统

