

星系和星系团

北京天文馆 詹想

一、星系天文学简史

从寻找彗星谈起

- 古代，彗星=恐怖。
- 1680年以后，牛顿、哈雷开始用万有引力定律描述彗星的运动规律。
- 哈雷计算出1682年的彗星绕日运动轨道与1531年、1607年两次彗星及其相似，预言1758年前后来（周期76年），并说明彗星是我们太阳系普通的成员。



从寻找彗星谈起

- 到了18世纪，西方关于彗星的迷信邪说被大量的破除了。
- 18世纪后半叶，搜索彗星成了一种时尚。
- 彗星必须在远离太阳时就被及时发现。
- 天空中有许多暗淡而模糊的白色雾状斑点，容易和彗星混淆，被称为“星云”。

梅西耶星表

- 法国国王路易十五请出彗星猎手梅西耶解围。
- 1774年公布包含45个星云的梅西耶星云星表，简称**梅西耶星表**。
- 后又和天文学家梅契因合作，于1781年公布经过三次增订的梅西耶星表，包含103个天体，以**M+编号**的形式表示。
- 后人再次增订为110个天体。



“岛宇宙”的概念

- 梅西耶星表构成：
约有半数 of 星团
十多个真星云
剩下的1/3=???
- 其实，早在1750年，英国人赖特就曾指出这些“星云”中某些可能是巨大的独立恒星系统。
- 1755年，德国哲学家康德在赖特的基础上提出“**岛宇宙**”的概念。



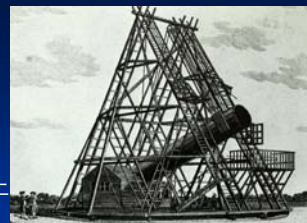
新的星表

- 18世纪末到19世纪初，赫歇尔父子用自己磨制的大望远镜发现了数千个新的“星云”，于1864年刊布了“星云总表”，包含5079个天体。
- 1888年，德雷尔订正并扩充了这个星表，天体数量增加至7840个。1895年该星表的最后版本**新总星表**（简称**NGC**）发布，其后不久又出版了两本**补编**（简称**IC**），合计共刊载了近15000个“星云”。



两个极端

- “星云”与“岛宇宙”之争。
- 威廉·赫歇尔于1781年发现天王星，轰动世界。之后在英王乔治三世的资助下，于1789年制造出当时世界上最大最好的望远镜（口径1.22米，镜头长达12.2米！），开始对那些“星云”进行专门的研究。
- 他的结论——所有星云都是“岛宇宙”！**
- 晚年的迷惑令他于1820年（82岁高龄）放弃了自己“不成熟”的观点。

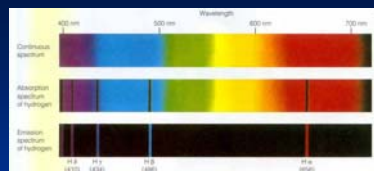


两个极端

- 19世纪40年代后，发明了照相方法和分光技术，建立了光谱理论。
- 天体的三类谱线：
 1. 高压下的白炽物体发出连续谱；
 2. 低压下的炽热气体发出发射谱（明线谱）；
 3. 高压下的白炽物体发出的光通过压力和温度都比光源低的气体时形成吸收谱。

两个极端

- 已知：恒星发出的光形成吸收谱，稀薄的气体星云形成发射谱。
- 1864年，英国天文学家哈金斯用光谱分析法来研究星云，拍到的大多是发射谱。于是得出结论——**一切星云都是气团！**
- 白白错过了仙女座大星云的吸收谱。



漩涡状的“星云”

- 1845年，富有而又迷恋天文的英国罗斯伯爵三世耗资12000英镑，制造了一架口径1.84米，镜筒长17米的特大望远镜——列维亚桑，首次发现猎犬座的星云M51呈漩涡状，并画下了草图。
- 此后，陆续发现了12个漩涡状星云。
- 1888年，英国天文爱好者罗伯茨把照相术应用到天文观测中，成功拍到仙女座大星云M31的照片，彻底揭示出他的漩涡结构。从此多了一个新名词——“**漩涡星云**”。

不分胜负的伟大辩论

- “岛宇宙”观点：从地球的地位和太阳的地位外推。
- 银河系内星云观点：漩涡星云自转。
- 问题的核心——**距离！**
- 1920年4月，美国科学院在华盛顿为此召开了“宇宙的尺度”学术讨论会。

立克天文台的柯蒂斯

VS

威尔逊天文台的沙普利

Who will win? ??

二、哈勃开创的时代

埃德温·哈勃

- 埃德温·哈勃
(Edwin Hubble)
(1889—1953)，
20世纪最伟大的天文学家，
星系天文学之父。

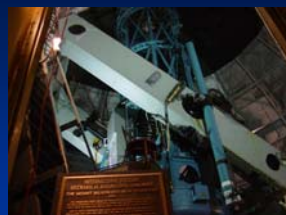


哈勃生平

- 1889年11月20日出生在美国密苏里州马什菲尔德的一个律师世家。
- 1910年芝加哥大学天文系毕业，获理学学士学位。
- 1913年，英国牛津大学文学学士学位（法律）。
- 一年后前往芝加哥大学叶凯士天文台当研究生，1917年获博士学位。
- 1919年一战结束，赴威尔逊山天文台任职。
- 1953年9月28日在前往帕洛玛山天文台观测途中，突发脑溢血逝世，享年64岁。

河外星系的确认

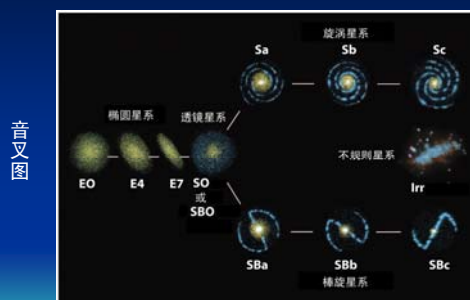
- 1918年，口径2.54米的胡克望远镜在威尔逊山建成。
- 1923年10月6日晚，哈勃用胡克望远镜拍摄了一张M31照片，分辨出“星云”边缘的单颗恒星，并发现了“量天尺”——造父变星，计算出M31的距离为100万光年。
- 结论：仙女座大星云非常遥远，远在银河系之外。它和我们银河系相类似，那里可能就是所谓的“岛宇宙”!!!



星系天文学时代的到来

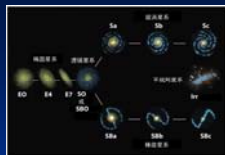
- 哈勃将自己的发现寄给了美国天文学会，后者在1924年12月30日召开的大会上，找人代为宣读了哈勃的结果，举世轰动！
- 紧接着不久，哈勃又在三角座星云M33中发现了造父变星，于是在1926年发表划时代的论文——《作为一个恒星系统的漩涡星云》，一劳永逸的结束了长达170年之久的对神秘“星云”的争论，正式宣布星系天文学时代的到来。
- 与哈勃名字相连的一长串天文术语：哈勃序列、哈勃分类法、哈勃隐带、哈勃光度定律、哈勃光度轮廓、哈勃图、哈勃定律、哈勃常数、哈勃年龄、哈勃半径，等等。

星系的哈勃分类



椭圆星系

- 用E表示；
- 8大次型：E0（圆）-E7（扁）；
- 椭圆星系约占星系总数的60%，是数量最多的星系。
- 直径范围：1-200千秒差距
- 质量范围： 10^5 - $10^{15}M_{\odot}$ 。
- 矮椭圆星系居多



1秒差距=3.26光年

巨椭圆星系M87

- 神秘珍珠直径30千秒差距，长度250千秒差距，质量超过银河系；
- 爆发能量高达 10^{52} - 10^{53} 焦耳，太阳50亿年能量总和为 10^{44} 焦耳。



漩涡星系和棒旋星系

- 用S和SB表示；
- 3大次型：a（紧）、b、c（松）；
- 约占星系总数的20%，棒旋星系约占10%。
- 直径范围：5-50千秒差距
- 质量范围： 10^9 - $10^{11}M_{\odot}$ 。



漩涡星系和棒旋星系之最

- 最大的漩涡星系：马卡良348，直径约400千秒差距，能装得下100多个银河系；
- 最小的漩涡星系：NGC3928，直径只有2.8千秒差距；
- 最大的棒旋星系：直径约240千秒差距，位于孔雀座。

一些典型的漩涡星系

仙女座大星云M31，直径约50千秒差距，质量 $3.1 \times 10^{11}M_{\odot}$ 。



一些典型的漩涡星系

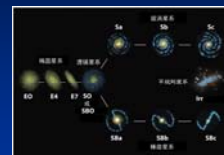


一些典型的棒旋星系



不规则星系

- 用Irr表示;
- 约占星系总数的不到10%。
- 直径范围: 1-10千秒差距
- 质量范围: $10^8-3 \times 10^{10} M_{\odot}$ 。

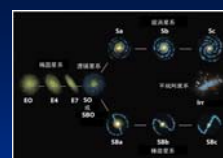


大小麦哲伦星云



一些特殊形态星系

- 透镜星系S0和SB0



一些特殊形态星系

- 超巨弥漫星系cD →
- 矮星系dE和dIrr ↓

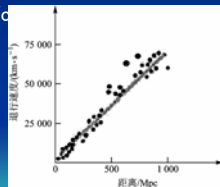


星系的大小、光度和质量

- 星系大小的测定
- 星系光度的测定
- 星系质量的测定
 1. 自转曲线法: $m(r) = rv^2/G$
 2. 双星系质量测定: 开普勒第三定律
近似: $m = (4\pi^2/G) * (a^3/T^2)$
 3. 速度弥散法: 物质运动导致谱线加宽, 估算星系自引力束缚的质量。

星系红移和宇宙膨胀

- 除了M31等极少数星系，绝大多数星系都在远离我们而去。
- 哈勃定律： $v_r = H_0 \times r$
- 定义红移量 $Z = (\lambda - \lambda_0) / \lambda_0 = \Delta \lambda / \lambda_0$
- 当天体视向速度远小于光速时： v_r/c
- 当遥远星系红移量大于或等于1时，考虑相对论效应：
$$v_r/c = [(Z+1)^2 - 1] / [(Z+1)^2 + 1]$$



星系的碰撞与并合

- 车轮星系，是两个星系互相渗透的产物 →
- NGC2207和TC2163碰撞星系 ↓



星系的碰撞与并合

- 天炉座星系NGC 1427A，正以600千米/秒的速度穿过天炉座星系团的中心，这个星系在不断的碰撞中诞生了大量的恒星，并且会在接下来的10亿年里瓦解。



星系的形成和演化

- 第一代星系：中性氢云，引力坍缩和微扰。
- 星系的碰撞和并合改变形态，形成新一代大星系。
- 星系形态形成原因之争：角动量还是密度？

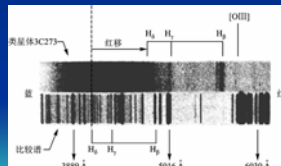
三、活动星系

活动星系核发现简史

- 以活动星系核（AGN）代称活动星系
- 寻找射电源的光学对应体
- 1960，桑德奇，3C48
- 1962，哈扎德，3C273
- 迄今为止最古怪的天体：
 1. 无人认识的怪异发射线；
 2. 说是恒星，射电辐射太巨大，且含有星系特征；
 3. 说不是恒星，紫外照相它又确实只是一颗暗弱蓝星体；
 4. 光谱像行星状星云，但比后者强和宽。

活动星系核发现简史

- 1963, 施密特 (Maarten Schmidt), 3C273
最终证认: 怪异谱线就是人们熟悉的氢的巴尔末线系和电离氧线, 只不过是向红端的方向位移了很多!!!
- 经计算, 3C273的 $z=0.158$, 退行速度 $15\%c$, 距离30亿光年
3C48的 $z=0.367$, 退行速度 $1/3c$, 距离超过50亿光年!
- 类星体 (Quasar)



高红移类星体的基尼斯纪录

- 20世纪70年代: PKS2000-330, $z=3.78$
- 80年代: PC1247+3406: $z=4.897$, 退行速度 $2.8 \times 10^3 \text{ km/s}$, 距离142亿光年
- 2000年: J030117+002025: $z=5.5$
- 2001年: J103027.10+052455.0: $z=6.8$
- 红移本质的争论: 宇宙学性的还是内秉性?

类星体的奇异之处

- 类星体的光度都非常巨大。光度低的与正常星系相当, 光度高的可以达到正常星系的10万倍。
- 类星体的尺度却非常小, 只有几光年。
- 对比: 我们银河系的直径约10万光年, 聚集了3000亿颗恒星; 而一个大小只有几光天的天体, 发出的能量竟然比我们整个星系的还要大得多 (相当于1000个银河系发出的总能量)!
- 结论: 类星体的产能效率相当高, 相当于银河系的一亿倍!

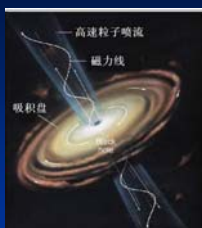
引力透镜

- 爱因斯坦的广义相对论预言的效应。
- 对称的像, 爱因斯坦十字和爱因斯坦环。



类星体的物理模型

- 类星体是活动性很强的活动星系核, 核心很可能是一个黑洞, 而黑洞的周围被一层一层气体包围着。我们所能观测到的来自类星体的各种辐射可能是从这些气体发出的。类星体核心的黑洞集中了类星体的绝大部分质量, 约为1亿-1万亿个太阳质量。在黑洞周围的区域主要辐射X射线和紫外线, 往外是稀薄气体, 它们发射可见光。类星体延伸的外层可以达到非常广阔的范围, 主要发射射电辐射。

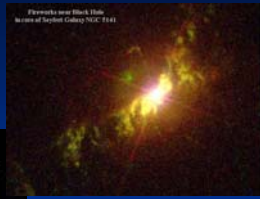


塞弗特星系

- 塞弗特 (Seyfert) 星系的光度介于普通星系和类星体之间的, 中心有明亮的恒星状活动星系核, 大小只有几光年, 星系核的亮度比我们的银河系亮1万倍。星系核的周围有暗弱的旋涡结构, 星系一般是Sa型或Sb型的旋涡星系。此外, 星系核有很强的紫外、红外及射电辐射, 有人推测塞弗特星系中心是个具有强磁场的高速旋转的大质量星体或者黑洞。

塞佛特星系

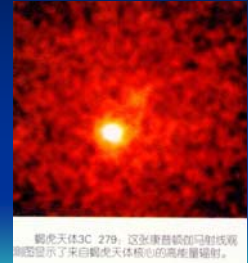
猎犬座的NGC5141



鲸鱼座的M77

蝎虎BL天体

- 与其他活动星系最大的不同在于蝎虎天体光变非常迅速并且飘忽不定。就蝎虎座BL而言，一天内亮度变化就可达到10%-32%，有几个蝎虎BL天体亮度变幅达100倍。如此快的光变和大的变幅是难以想象的。另外还有一点令人迷惑的是，这类天体的光谱竟然几乎只是连续谱，没有之有很弱的谱线，因而很难测定它们的距离。



蝎虎天体3C 279：这张詹姆斯·韦伯太空望远镜显示了来自蝎虎天体核心的高能辐射。

射电星系

- 有些星系的射电辐射非常之强，远远超过光学波段的辐射。如果一个星系的射电辐射功率超过 10^{34} 瓦特量级，我们就称之为“射电星系”。

半人马A射电星系
NGC5128



另外还有M87

射电星系

- 星系NGC1316的光学-射电合成图。其光学跨度仅6万光年，射电总跨度却超过了100万光年。这是一个经历多次碰撞后形成的恒星帝国。



星暴星系

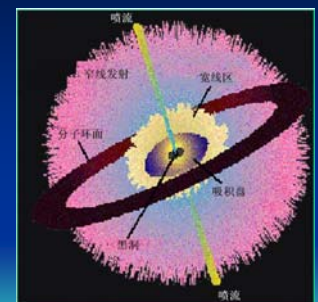
- 星暴星系是指有大质量恒星爆发或正在形成的星系，它们的内部正在发生着极为激烈的恒星形成过程。星暴星系一般有比形态相同的其它星系有更蓝更亮的核。



位于大熊座的M82

活动星系核的统一模型

- 超大质量黑洞是发电机



星系中央的黑洞

- 遮盖技术下拍摄的NGC 1097



四、星系团和超星系团

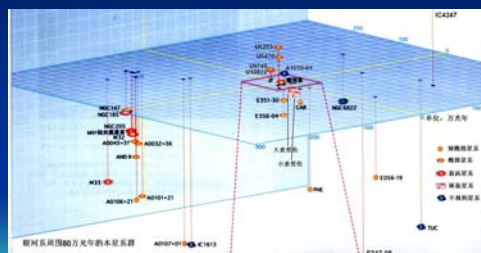
星系天体层次

- 多重星系——星系团——超星系团——总星系



本星系群

- M31、银河系、M33，总质量占整个星系团的95%以上。
- 一些矮椭圆星系和几个不规则的星系。



室女星系团

- 富星系团室女座星系团，距离我们大约有5000万光年，由2500个星系组成。
- 我们本星系群在它强大的引力作用下，向它靠拢，将来会同它合并到一起。



后发星系团

- 包含上万个星系。
- 星系呈很规则的球对称分布，分布很密集，且基本都是椭圆星系，很少的几个漩涡星系都分布在星系团的外围。

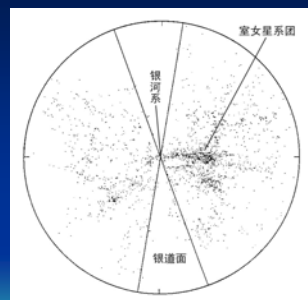


超星系团

- 超星系团是引力在极大范围上作用的结果，它的结构和演变与宇宙本身的结构和演化密切相关。
- 本超星系团：大小约1亿光年，总质量 10^{16} 个太阳质量，质量中心位于或靠近室女星系团，银河系位于其边缘附近，离质量中心约4000万光年。它的扁平饼状可能意味着在自转。
- 目前，我们已经发现了宇宙中数千个星系团和50多个超星系团，离我们较近的超星系团包括武仙超星系团、北冕超星系团，巨蛇-室女超星系团等。

本超星系团

- 本超星系团的局部（尺度大约为3亿光年）
- 图中的每一个点都代表一个星系，中心是银河系。



大吸引体

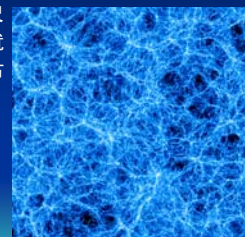
- 前几年在距银河系约2.5亿光年的地方发现一个巨大的引力源，总质量大约有 10^{17} 个太阳质量，尺度达4亿光年，天文学家把它叫做大吸引体（The Great Attractor）。
- 它的引力非常强大，以至于我们银河系和其他数百万个星系，都被吸向这个天体。它有可能是许多个超星系团组成的甚大超星系团的中心。

位于大吸引体中央附近的超星系团
A033627（或者叫做Abell 3627）



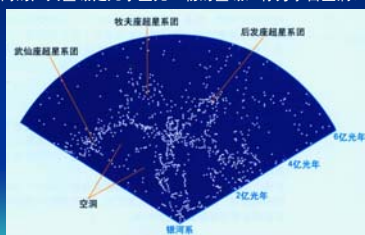
宇宙的大尺度结构

- 近20年来，通过星系红移定出距离，可以画出星系分布的三维图，发现宇宙结构似“海绵”或“蜂窝”、“肥皂泡”状，有普通的纤维状特征和巨大的宇宙空洞、宇宙长城等特征。这些特征表明，在星系团和超星系团的尺度上星系的分布不是均匀的，但就更大范围平均而言，宇宙物质分布大体上可以近似当作均匀的。



宇宙棒球手

- 哈勃太空望远镜实测出来的第一张超星系团图片。
- 胳膊和腿是星系的长带，或者说是纤维，其中与后发星系团距离差不多的几千个星系密集在一个长约5.5亿光年，宽约2亿光年，厚约1.5亿光年的片状区域中，星系密度比周围高约5倍。这是已知的宇宙中最大的结构，称为宇宙长城。而纤维之间的广大区域是几乎空无一物的区域，称为宇宙空洞。



暗物质和暗能量

- 星系团质量问题——暗物质
- 宇宙加速膨胀——暗能量
- 近期空间探测表明，宇宙中物质和能量分布为：暗物质 23%
暗能量 73%
普通物质 4%



21世纪初物理学上空的两朵乌云

谢谢大家！

Thanks!