第四章 本星系群

本星系群

LOCAL GROUP
And XXIV
And XVII
And V
M110
Andromeda Galaxy
Cassiopeia Dwarf
And X
And XXI
SagDIG
And IX
PegDIG
M32
And XV
NGC 147
And XVI
And XI
And XXVIII
Triangulum Galaxy
And XXIII
NGC 185
Aquarius Dwarf
And XIII
And XIX
And XX
And XXVI
Pegasus
And II
And XVII
And XXII
And XIV
Canes Venatici II
Barnard's Galaxy
Canes Venatici I
And XXV
And I
And III
Pisces Dwarf
Ursa Major I
Hercules
Boötes I
Boötes III
Draco
Coma Berenices
Pisces II
Ursa Minor
Leo I
Leo A
Ursa Major II
Sextans
SagDEG
Leo V
Triangulum II
Leo IV
IC 1613
Milky Way Galaxy
Leo II
Leo T
Reticulum II
Carina
Wolf-Lundmark-Melotte
Sculptor
Small Magellanic Cloud
Grus
Large Magellanic Cloud
Crater II
Horologium I
Tucana II
Fornax Dwarf
Phoenix Dwarf

星系团和星系群

- 暗物质存在和引力相互作用，使得星系在空间分布不是随机：星系团、群
- 星系群：
  - 小规模星系的聚集体，星系数目一般少于50个，直径~1 - 2Mpc，质量 $10^{13}M_{\odot}$
  - 群星系运动速度s ~150 km/s
  - 宇宙中星系分布最常见的结构，近邻宇宙的>50%的星系位于星系群
- 星系团：
  - 比星系群大，但星系团和星系群没有严

~ 10

超星系团

- 超星系团：星系群和星系团组成了超星系团。与星系团不同，超星系团成员星系之间**不再受引力束缚**，成员星系之间可以**相互退行**

本星系群

LOCAL GROUP
And XXIV
And XVII
And V
M110
Andromeda Galaxy
Cassiopeia Dwarf
And X
And XXI
SagDIG
And IX
PegDIG
M32
And XV
NGC 147
And XVI
And XI
And XXVIII
Triangulum Galaxy
And XXIII
NGC 185
Aquarius Dwarf
And XIII
And XIX
And XX
And XXVI
Pegasus
And II
And XVII
And XXII
And XIV
Canes Venatici II
Barnard's Galaxy
Canes Venatici I
And XXV
And I
And III
Pisces Dwarf
Ursa Major I
Hercules
Boötes I
Boötes III
Coma Berenices
Draco
Pisces II
Ursa Minor
Leo I
Leo A
Ursa Major II
Sextans
SagDEG
Leo V
Triangulum II
Leo IV
IC 1613
Milky Way Galaxy
Leo II
Leo T
Reticulum II
Carina
Wolf-Lundmark-Melotte
Sculptor
Grus
Small Magellanic Cloud
Large Magellanic Cloud
Crater II
Horologium I
Tucana II
Fornax Dwarf
Phoenix Dwarf

本星系群

- 本星系群：以银河系和M31的公共重心为中心，半径约为1.2Mpc的空间内的星系总称。
- 两个质量最大的成员星系：银河系与M31；M31比银河系亮约50%。
- 第三亮星系为M33，L(M33) ~ 0.2L(MW)；M31/MW/M33辐射了本星系群可见光~ 90%

- M31、MW、M33旋涡星系；M32为椭圆星系
- 其余是主要是矮星系（矮不规则星系，矮椭圆星系和矮椭球星系）

本星系群

银河系的伴星系多数靠近一个平面；M31也有自己的一批伴星系

其他小星系离大星系M31、MW很远，自由运动.

本星系群

Table 4.1 Galaxies of the Local Group within 1 Mpc of the Sun: the Milky Way and its satellites are listed in **boldface**; M31 and its companions are listed in *italics*

Galaxy	*Type*	d (kpc)	L_V ($10^7 L_\odot$)	$V_r(\odot)$ (km s^{-1})	l (deg)	b (deg)	$\mathcal{M}$(HI) ($10^6 \mathcal{M}_\odot$)
M31 (NGC 224)	Sb	770	2700	−300	121	−22	5700
Milky Way	Sbc	8	1500	−10	0	0	4000
M33 (NGC 598)	Sc	850	550	−183	134	−31	1500
Large MC	SBm	50	200	274	280	−33	500
Small MC	Irr	63	55	148	303	−44	400
NGC 205	dE	830	40	−244	121	−21	0.4
M32 (NGC 221)	E2	770	40	−205	121	−22	$<2.5^c$
NGC 6822	dIrr	500	10	−56	25	−18	140^c
IC 10	dIrr	660	16	−344	119	−3	100
NGC 185	dE	620	13	−202	121	−15	0.1
NGC 147	dE	760	12	−193	120	−14	None
Sagittarius	dSph	30	8	170	6	−14	None
IC 1613 (DDO 8)	dIrr	715	6	−233	130	−61	60
WLM (DDO 221)	dIrr	950	5	−120	76	−74	60
Pegasus (DDO 216)	dIrr/dSph	760	1	−182	95	−44	3
Fornax	dSph	140	1.5	53	237	−66	<0.7
Sagittarius DIG	dIrr	1050	0.7	−78	21	−16	9
And I	dSph	790	0.5	−380	122	−25	None
Leo I (DDO 74)	dSph	270	0.5	285	226	49	None
And VII/Cas dSph	dSph	760	0.5	−307	110	−10	
Leo A (DDO 69)	dIrr	800	0.4	20	197	52	8
And VI/Peg dSph	dSph	775	0.3	−354	106	−36	
And II	dSph	680	0.2	−188	129	−29	
Sculptor	dSph	88	0.2	107	288	−83	$\lesssim 0.1^c$
LGS3 (Pisces)	dIrr/dSph	620	0.13	−286	127	−41	0.2
Aquarius (DDO 210)	dIrr/dSph	950	0.1	−137	34	−31	3
And III	dSph	760	0.1	−355	119	−26	None
Phoenix	dIrr/dSph	405	0.09	56	272	−69	~0.2
Cetus	dSph	775	0.09		101	−73	
Leo II (DDO 93)	dSph	205	0.06	76	220	67	None
Tucana	dSph	870	0.06		323	−47	None
Sextans	dSph	85	0.05	225	244	42	None
Draco (DDO 216)	dSph	80	0.05	−293	86	35	None
Carina	dSph	95	0.04	223	260	−22	None
And V	dSph	810	0.04	−403	126	−15	
Ursa Minor	dSph	70	0.03	−247	105	45	None
And IX	dSph	790	0.02	−210	123	−20	
Ursa Major	dSph	~100	0.004	−52	160	54	

Note: d is measured from the Sun; $V_r(\odot)$ is radial velocity with respect to the Sun; 'no' HI means $< 10^5 \mathcal{M}_\odot$.
[c] HI is confused with M31's disk (M32), Galactic emission (NGC 6822), or the Magellanic Stream (Sculptor). Andromeda IV is an irregular galaxy in the background; Andromeda VIII is probably a stellar concentration in M31's disk.

离太阳1Mpc以内本星系群星系(36个)：
银河系及其伴星系以粗体标出；
M31及其伴星系用斜体列出

4S：MW/M31/M33/LMC
1E：M32
3dE：NGC147/185/205
3Irr：SMC/IC10/N6822
25 dSph/dIrr：$L \sim 2 \times 10^5 \sim 10^8 L_\odot$

测量本星系群中星系之间的距离不能利用哈勃定律：本星系群中星系之间的相互引力非常强，克服了随宇宙膨胀（宇宙学红移）

只能利用造父变星的周期-光度关系等其它方法，测量距离

研究意义

- 普适性：本星系群是宇宙中典型的星系环境，提供了研究星系特性的一般环境
  - 没有室女座或后发座星系团那样致密
  - 但包含了足够质量，能将星系束缚在一起
- 多样性：不同类型的星系
  - Range of masses, ages, metallicities
  - Range of morphological types
  - Range of environments
- Wide Range of Luminosities
- MW/M31 ~ $2 \times 10^{10} L_{\odot}$
- LMC ~ $2 \times 10^{9} L_{\odot}$
- FormaxdSph ~ $1 \times 10^{7} L_{\odot}$
- Carina dSph ~ $3 \times 10^{5} L_{\odot}$

研究意义

- 距离近：为近距研究星系提供了机会
  - 分辨：可分辨这些近邻星系中单个恒星：利用观测的恒星颜色－星等图同恒星演化理论比较，研究星族形成--star formation histories
  - 测量：金属丰度、元素丰度、恒星气体运动学--chemical evolution
  - 利用造父变星测量的距离，研究星系近距相互作用过程对星系物理的影响

- Star Formation Histories
  - Analysis of CMDs shows presence of both old and (some) young stars in the dwarfs -complex SFH
  - dwarfs do not show the same SFH -despite their physical proximity and being in a bound system (the local group)
  - Their relative chemical abundances show some differences with low metallicity stars in the MW

- Stellar Archaeology: studying nearby galaxies by resolving their present-day stellar populations

Stellar Archaeology: studying nearby galaxies by resolving their present-day stellar populations

M_{F814W}
$M_{F475W} - M_{F814W}$

x10^{-10}
SFR (M_{sun} yr^{-1} pc^{-2})
AGE
x10^{9}

4.1 银河系的伴星系

- 大、小麦哲伦云
  - 是银河系最显赫的两个伴星系
  - 只能在南半球看到，肉眼可见
  - 富气体、正在形成恒星和星团
  - 恒星和星团年龄范围分布很宽

- 矮椭球伴星系
  - 弥漫得在天空中几乎不可见
  - 主要由老年和中年恒星组成
  - 内部气态物质很少或者没有
  - 易被银河系引力场扯碎、瓦解

大麦哲伦云

- Large MagellanicCloud (LMC)
- d = 50 kpc, the third closest galaxy to the MW （Sagittarius Dwarf Spheroidal ~ 16 kpc and Canis Major Dwarf Galaxy ~ 12.9 kpc)
- 光学图像：Irr/SB(s)m型，强的星系棒+ 短而粗的旋臂；以前可能是正常的棒旋星系，银河系引力扰动使得旋臂变化
- $M \sim 10^{10} M_\odot$，$L \approx 2 \times 10^9 L_\odot$，local group中第4亮星系
- LMC星族
  - 同时有年老球状星团和年轻的星团和星协
  - 年龄T~4-10Gyr星团少：这期间LMC内部没有恒星形成

银河系　　LMC

LMC的多波段图像

- LMC富有恒星形成原材料-中性氢(HI)
- Hα：有丰富的年轻恒星，尘埃少
- 在可见光波段呈蓝色，紫外波段很亮
- 恒星形成区散布于整个星系(Hα)
- 24μm：年轻恒星加热周围尘埃，热辐射

- 气体丰富；中性氢质量占总质量~ 9%。
- 最年轻的恒星和星际气体重元素最丰富，为太阳金属丰度的1/3到1/2。

小麦哲伦云

- Small MagellanicCloud (SMC)
- 不规则星系(Irr)，内部恒星显示出无序的运动
- 距离d ~ 60 kpc，裸眼能看到最远天体（M31）
- 大小D ~ 8 kpc：在天球上的视角7°×4°；LMC在SMC东20度位置
- ~ 10^8恒星，年龄范围与LMC相似，M ~ 7 × 10^9 $M_\odot$
- 存在丰富的气体和年轻星团，金属丰度比LMC 更低，只有太阳丰度的20%－30%.

麦哲伦流

- 大、小麦哲伦云都含有丰富的中性氢气体
- M(HI)/L_B：银河系≈ 0.1；LMC约为0.3；SMC约为1.0
- 矮椭球星系dSph中几乎不含任何HI气体
- 麦哲伦流：连接大、小麦云之间的气体‘桥’，内部有年轻星团；包含~2 × 10^8 $M_\odot$的HI气体

- 大、小麦哲伦云的中心现在相距约25 kpc，在环绕彼此运转
- 也在一个穿过银极的平面内环绕银河系运行，周期约2Gyr
- LMC的引力吸引，把SMC中性氢气体拉出，形成了麦哲伦流

尘埃消光

MW R_V=3.1: dn/da $\propto a^{-3.5}$, 50Å < a < 0.25μm
Maiolino AGN: dn/da $\propto a^{-3.5}$, 50Å < a < 10μm
SMC
LMC
MW (R_V=3.1)
Maiolino AGN
MW (R_V=4.4)
A_λ/A_V
λ^{-1} (μm^{-1})
0
2
4
6
8
10

矮椭球星系

- 银河系伴星系还包含至少十个矮椭球星系，应该还有的没被发现
- 以矮星系出现的星座命名，如：
  - 玉夫座(Sculptor，1938年发现)；天炉座(Fornax，1938)；人马座(Sagittarius ，1994)；大熊座(UrsaMajor，2005)
- 矮椭球星系的面亮度大约比麦哲伦云低数百倍，很难发现
- 矮椭球星系内气体、尘埃少；几乎没有年轻的恒星；全都含有一些非常老的恒星：形成早

- 矮椭圆星系（Dwarf Elliptical Galaxy）：小的椭圆星系，dE（如M32），dE的特性与普通E差别大
- 矮椭球星系（Dwarf Spheroidal Galaxy）：面亮度更暗的矮椭圆星系，记作dSph

矮星系、核星团、球状星团的比较

- 矮星系和球状星团质量相近，但空间尺寸差别很大：小的矮椭球星系只有大的球状星团那么亮，但半径要大得多
  - 矮椭球星系是真正的星系，多数矮星系内部有球状星团存在
  - 矮星系并不是一次就形成了它们所有的恒星：它们全都包含着在数十亿年间从具有不同重元素丰度的气体中诞生的恒星
- 矮椭球星系中有大量暗物质，球状星团中没有

Table 4.2 Dwarf galaxies, compared with the nuclear star cluster of M33, and three Milky Way globular clusters

System	L_V ($10^7 L_\odot$)	σ_r (km s^{-1})	r_c (pc)	r_t (pc)	t_{sf} (Gyr)	$\mathcal{M}/L_V$ ($\mathcal{M}_\odot/L_\odot$)	$\log_{10}(Z/Z_\odot)$ range
NGC 147 dE	12	20–30	260	1000	3–5	7 ± 3	−1.5 to −0.7
NGC 185 dE	13	20	170	2000	<0.5	5 ± 2	−1.2 to −0.8
Pegasus dIrr	1	9(HI)		500(HI)	<0.1	2–4	−2.3 to −1.7
Fornax dSph	1.5	13	400	5000	<2	~15	−2 to −0.4
M33 nucleus	0.25	24	<0.4		<1:	~1	−1.9 to −0.7
Sculptor dSph	0.2	9	200	2000	>10	~10	−2.6 to −0.8
ω Cen gc	0.1	20	4	70	>10	2.5	−1.6 to −1.2
M15 gc	0.04	12	<0.01	85	>10	2	−2.15
Carina dSph	0.04	7	200	900	2–10	~40	−2.7 to −0.3
M92 gc	0.02	5	0.5	50	>10	1.5	−2.15

2 kpc

0.1 kpc

矮椭球星系颜色-星等图

Carina (船底座) Dwarf Spheroidal galaxy

船底座矮椭球星系中恒星颜色-星等图

叠加了年龄不同的贫金属星（$Z=Z_\odot/50$）等龄线

- 颜色星等图显示，矮星系有**不同年龄的星族**：2%的恒星t<2.5Gyr,其余恒星在T~3/7/15Gyr前的3次暴发中诞生
- 所有的矮椭球星系，**重元素丰度低**，最亮的矮椭球星系的元素丰度~$1/30Z_\odot$：星系越暗，金属丰度越低
- **贫金属原因**：形成恒星困难；引力弱，金属增丰的气体丢失到星系际空间

4.2 本星系群中的旋涡星系

- 本星系群含有3个大的旋涡星系：银河系(MW)、M31和M33 (LMC, SBm)
- M31距离d = 770 kpc(~2.5 百万lyrs)，是肉眼能够看见最远天体(SMC)
- M33距离d = 730 -940 kpc；~ 3 百万lyrs，光度比M31暗，故难认得多
- 通过比较MW、M31和M33的特性：了解旋涡星系的共同性质和不同性质

M31 (Sb)

- M31在很多方面，都是一个比银河系大的星系
  - 质量$M = 1.5 \times 10^{12} M_{\odot}$，M(MW) = $8.5 \times 10^{11} M_{\odot}$
  - M31中有10^{12}个恒星， 银河系有2-4 $\times 10^{11}$个恒星
  - $M_V = -21.52$，$L_V = 3.64 \times 10^{10} L_{\odot}$(MW $M_V = -20.9$)
  - 盘中恒星旋转快，V~260 km/s (MW V~220 km/s)
  - 已知的球状星团约460 个（超过银河系中的2倍）
- 伴星系包括椭圆星系M32，3个dE，~10个dSph

M31

- M31中央核球占其总光度的比例大于银河系的相应值，~30%－40%
  - 核球在紫外波段很暗，几乎不含年轻恒星
  - 核球含有稀薄的电离气体，以及少量较密的HI 气体尘埃云。

M31的结构

- 星系核
  - HST观测发现，M31核有两个相隔约0.5″ 或2pc光斑
  - 一个是致密的中心天体，质量$M_{BH} \sim 2 \times 10^8 M_\odot$黑洞
  - 另一个可能是在动力学摩擦影响下已旋入中心的星团
  - 与银河系不同，M31 核没有气体和尘埃（或含量少）

- 球状星团
  - M31 的贫金属球状星团遵循随机运动轨道；星团系统很少或几乎没有显示出有序转动。
  - 与银河系不同，M31中球状星团的年龄分布很广，除了年老球状星团，也有较年轻球状星团：吞食其他星系?
- 气体：HI质量约$4 - 6 \times 10^9 M_\odot$，集中于r ~ 10 kpc处的环形恒星形成区。SFR ~ $1 M_\odot/yr$（MW $SFR \sim 3 - 5 M_\odot/yr$）

M33

- M33是一个Sc或Scd型晚型旋涡星系：核球很小；旋臂开放且不平滑，主要由新近形成恒星的明亮蓝色聚集区组成
- M33比银河系小且暗，只比LMC亮2 -3倍：恒星数4×10^{10}个(银河系$2\sim4\times10^{11}$个)；盘的质量$(3\sim6)\times10^{9}M_{\odot}$，旋转速度V~120 km/s.

- M33比MW、M31 HI气体丰富
  - HI气体质量$M\sim3.2\times10^{9}M_{\odot}$
  - 气体盘延展，$>3\ R_H$(~30 kpc)
- 分子气体少：几乎没有CO发射线
  - 缺乏分子气体（年轻恒星诞生于致密分子云）×
  - CO对H2的比小于银河系中的值：可能性更大✓

M33

- 星系核区
  - 核区大小$r\sim0.8kpc$，有一个亮的HII区，有本星系群中最亮的X射线源（$1.2\times10^{39}erg\ s^{-1}$）
  - 无大质量黑洞存在的迹象：根据核区恒星运动，中心区域质量$M<3,000M_{\odot}$

- M33 中心有一个致密核心星团
  - 比任何银河系球状星团都亮，其$LV\approx2.5\times10^{6}L_{\odot}$
  - 星团核很小，恒星密度超过$10^{7}L_{\odot}pc^{-3}$
  - 核星团有老年、中年和年轻恒星（非单代恒星）

M33

M33的紫外和红外波段图像

- 恒星形成
  - 中心r < 4′ 区，原子气体变成分子气体效率高，有强的CO辐射；r > 4′ ，HI转换为分子气效率略低
  - 星系中~10% 的气体为分子态存在：恒星形成
  - 单位面积的SFR比M31高：3.4 $Gyr^{-1}pc^{-2}$ （M31: ~0.74)。SFR ~ 0.45 ±0.1 solar masses per year.

- HI图像显示恒星形成区周围有空洞：feedback

HI分布有大的空穴，常以盘内的恒星形成区为中心