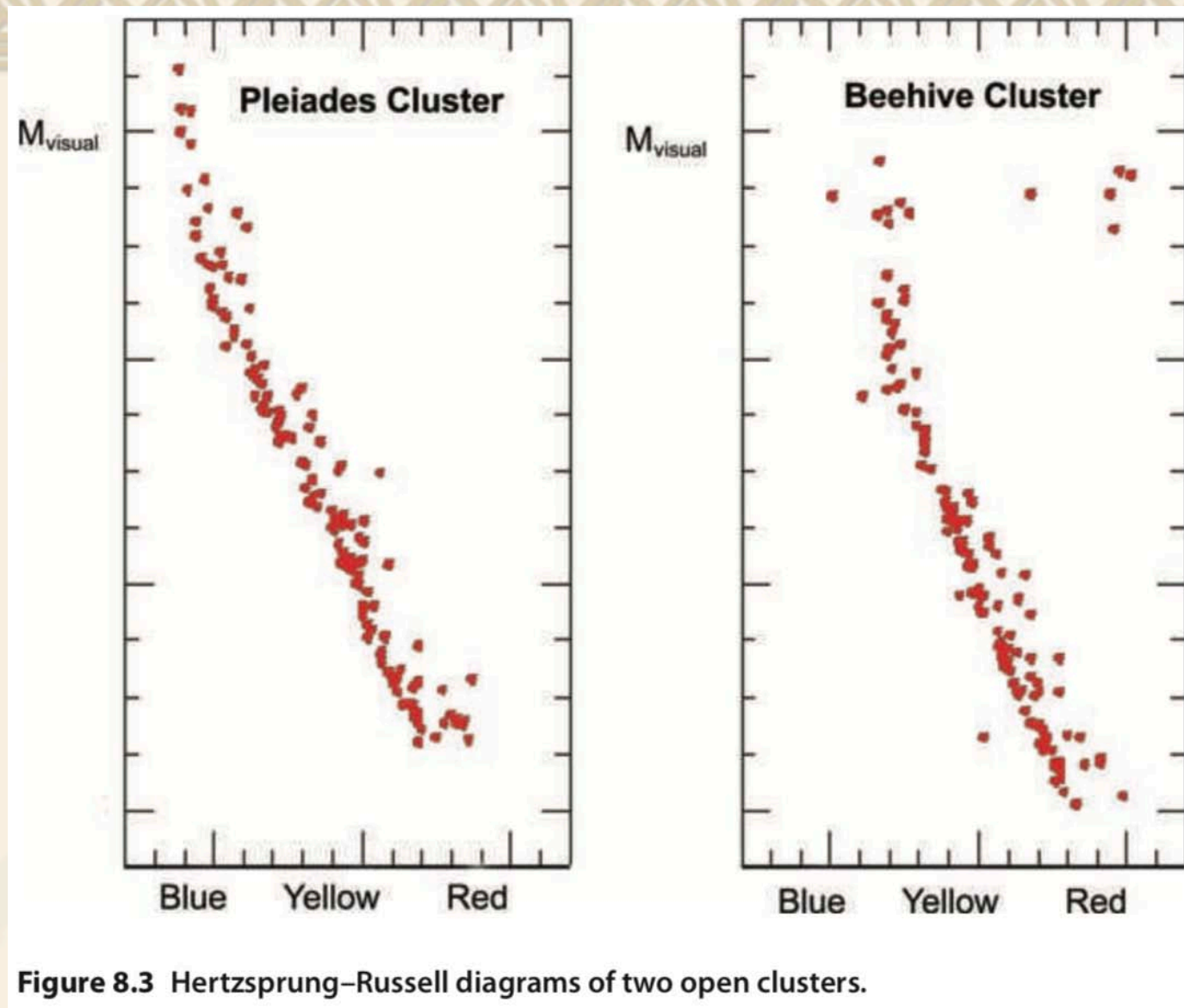


# 疏散星团（开团，open star clusters）

- 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



昴星团：年龄 $<\sim 115\text{Myrs}$

蜂巢星团（Beehive）：  
年龄 $<\sim 750\text{Myrs}$

## 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 $\omega$ 球状星团



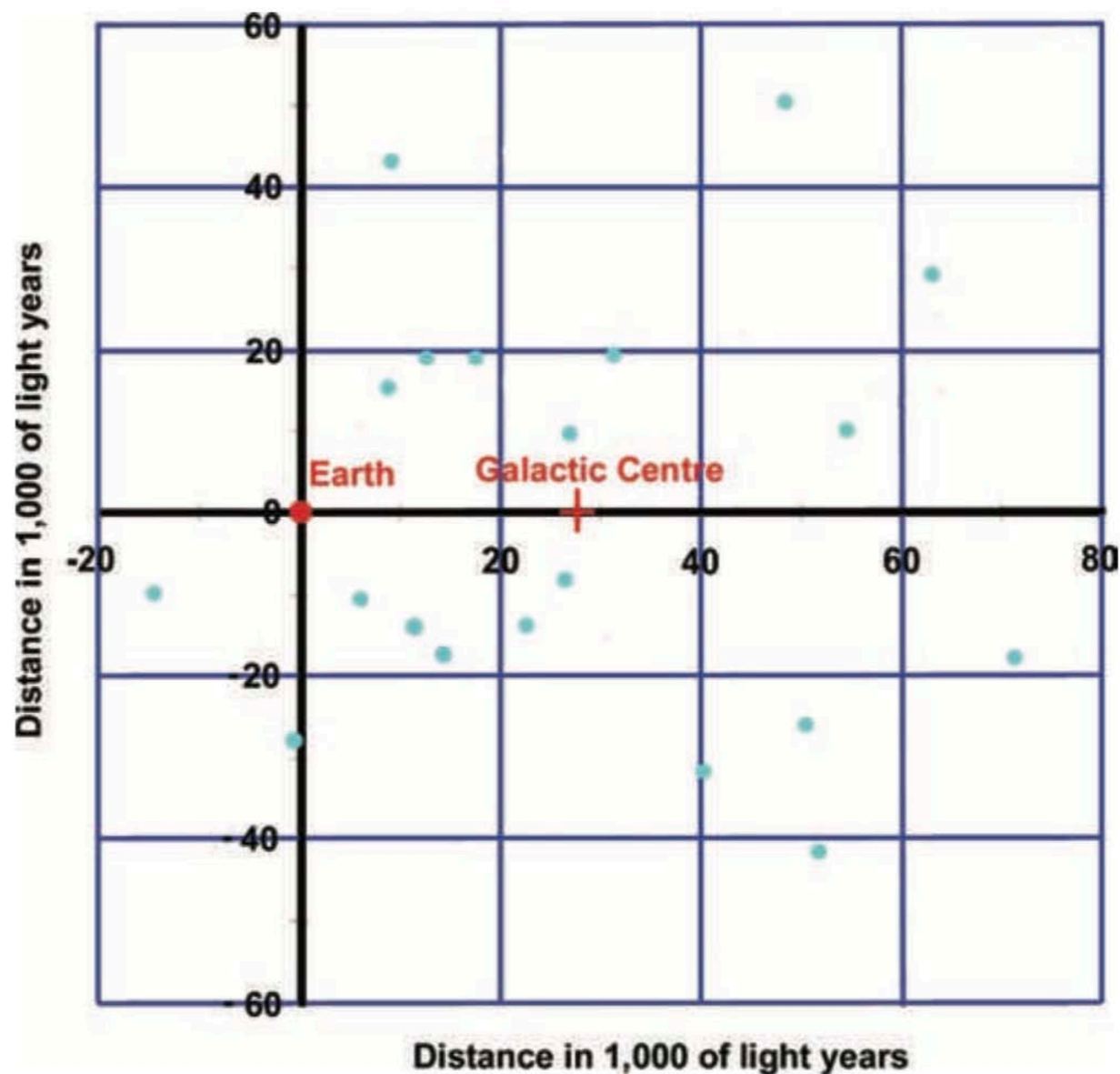
# 星际介质(ISM)和发射星云



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:  $6563\text{\AA}$ -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)

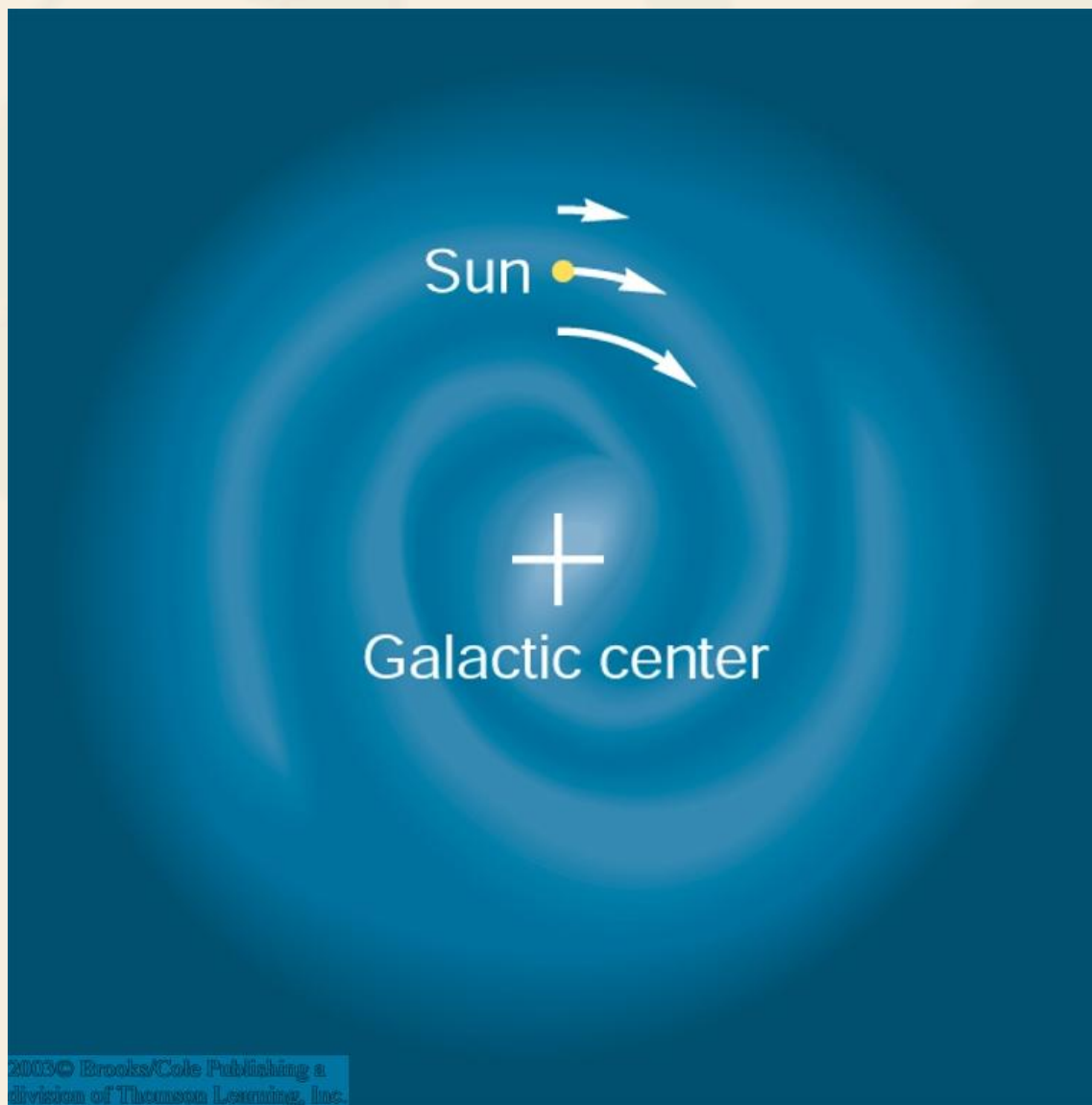
# 银河系的大小、形状和结构



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；给出太阳距离银心距离以及银河系的尺度

Figure 8.7 The distribution of globular clusters as observed by Harlow Shapley.



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)



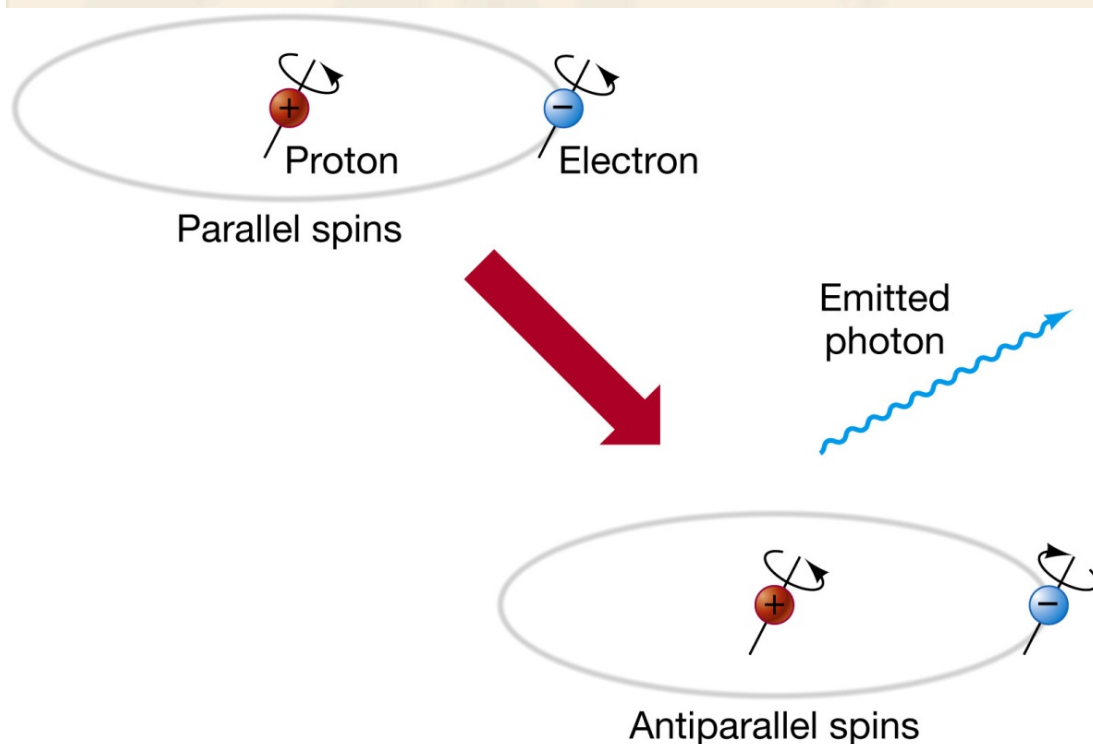
## 银河系的结构

- 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



# 氢线的观测

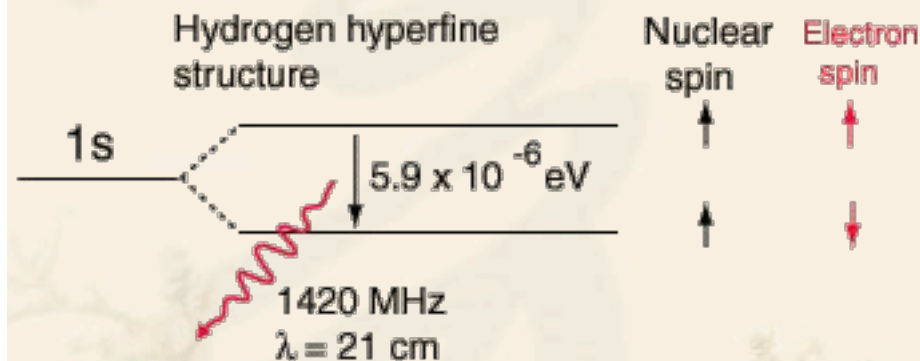
## 21cm氢线的产生机制



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.



平方公里阵列时代的  
21厘米线宇宙学



跃迁几率:  $2.9 \times 10^{-15} / \text{s}$

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



# 其它星系

- 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
- 星系群（最多~100星系）；星系团（~100-1000星系）

## 椭圆星系

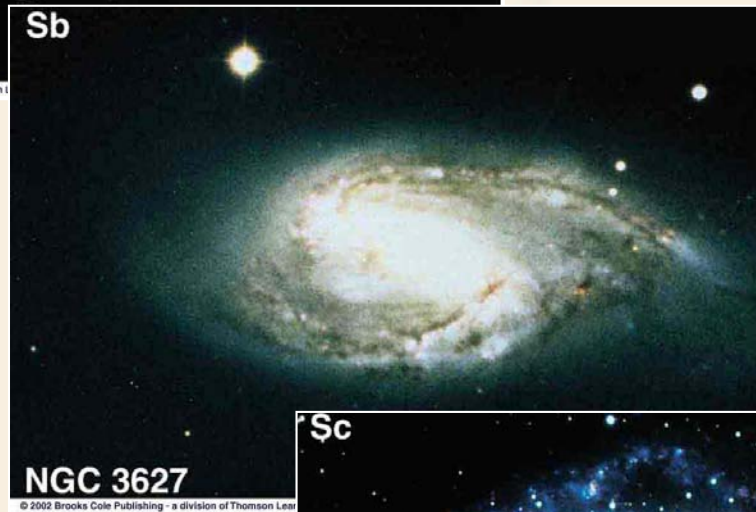
- 在大的星系团的中心，经常观测到一个或者更多的巨椭圆星系： $\sim 10^{13}$ 太阳质量， $\sim 300\,000$ 光年（面积约为银河系九倍），很多星系并合的结果；数量不多
- 椭圆星系： $\sim 10^7-13$ 太阳质量
- 一般来说，年轻恒星很少，恒星形成基本停止，气体基本用完
- 椭圆星系占了宇宙中总星系数目的 $\sim 1/3$

# 漩涡星系

漩涡星系根据它们盘和核球的相对比重分类：Sa, Sb, Sc



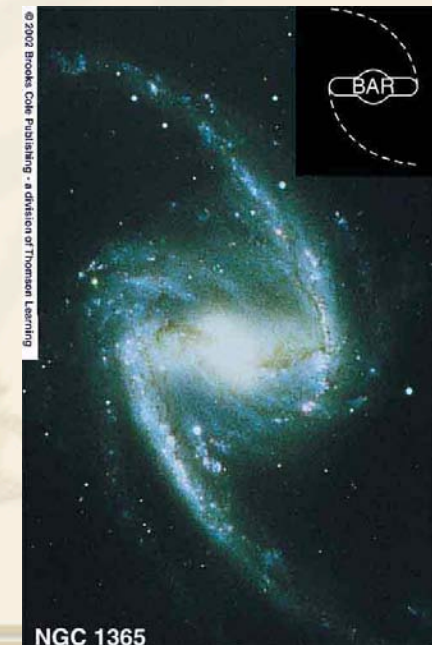
More bulge



More disk

盘越多意味着更多的  
恒星形成

有棒的星系：SBa, SBb, SBc





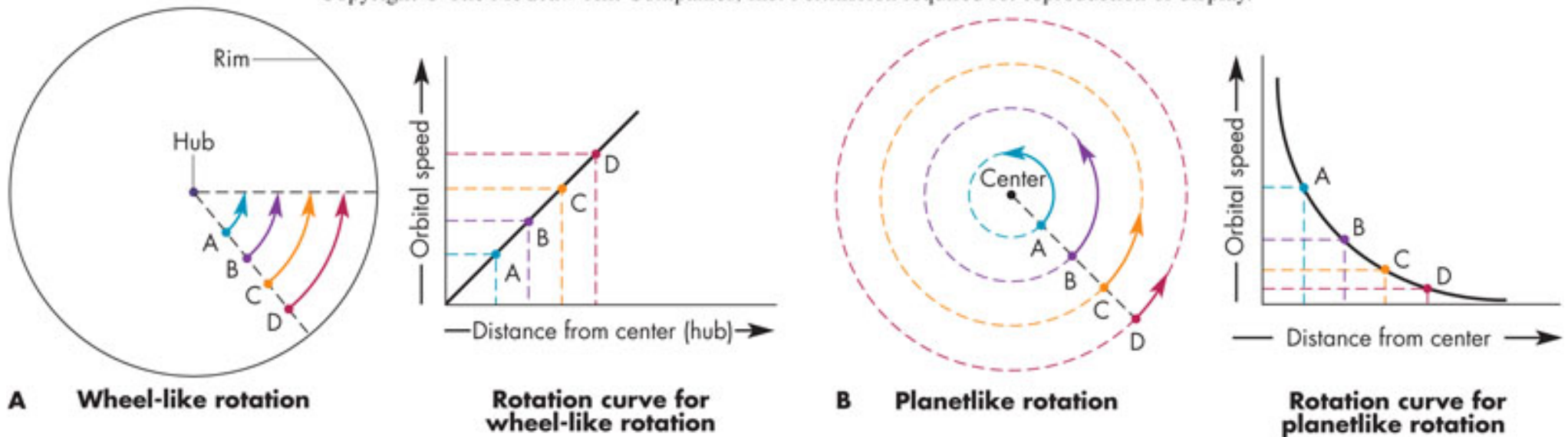
# 漩涡星系中的暗物质

- 1970s, Vera Rubin通过观测漩涡星系中的HII区深红色的H $\alpha$ 谱线的移动, 来测量星系的转动曲线: 偏离开普勒运动!

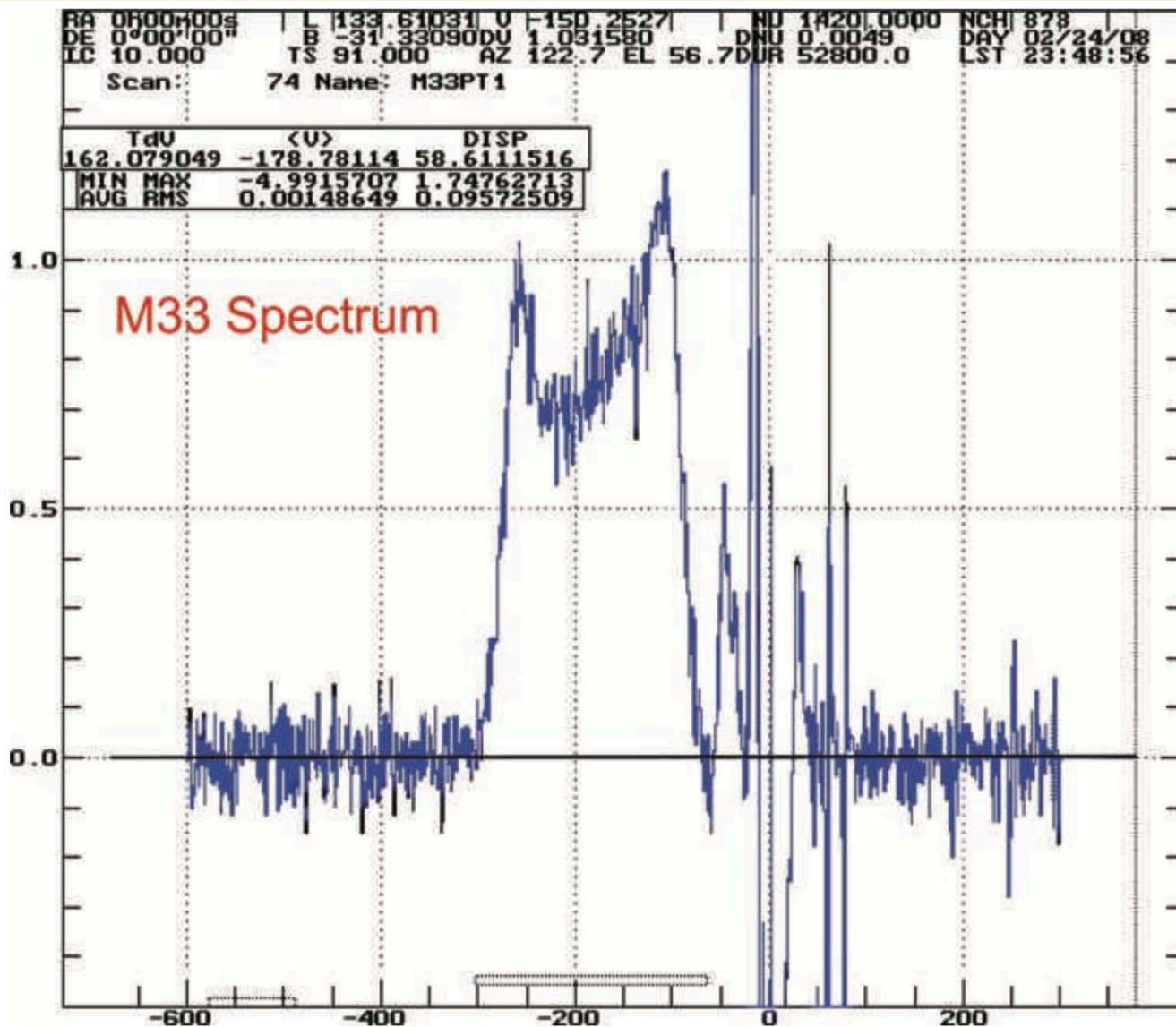
- 暗物质? 修正的牛顿动力学(MOND)?

当加速度极小时:  
 $F=ma^2$  vs.  $F=ma$   
 $F\sim 1/r$  vs.  $F\sim 1/r^2$

Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.



# 星系的质量估计：一个例子



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

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



- 假设M33是圆形的：观测为~71x45角分，星系的倾角：  
 $\arcsin(45/71)=\sim 39^\circ$
- 速度改正：  $100/\cos(39)=129\text{km/s}$
- M33的直径： ~71角分，  $71/(60\times 57.3)=0.020$ 弧度

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

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

$$\begin{aligned} M &= r v^2 / G \\ &= 2.4 \times 10^{20} \times (1.29 \times 10^5)^2 / 6.67 \times 10^{-11} \text{ kg} \\ &= 6 \times 10^{40} \text{ kg} \\ &= 6 \times 10^{40} / 2 \times 10^{30} \text{ solar masses} \\ &= \sim 30 \text{ thousand million solar masses.} \end{aligned}$$

~30x10<sup>9</sup>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： $2.512^{24.3} \approx 5.2 \times 10^9$
- M33中发光物质的质量： $\approx 5.2 \times 10^9$  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： $\sim 8 \times 10^9$  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）

# 不规则星系

- 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）--蜘蛛星云（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



# 星系的哈勃分类

Elliptical



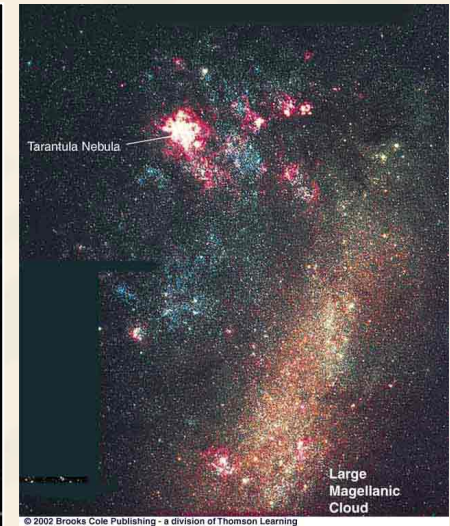
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

Spiral

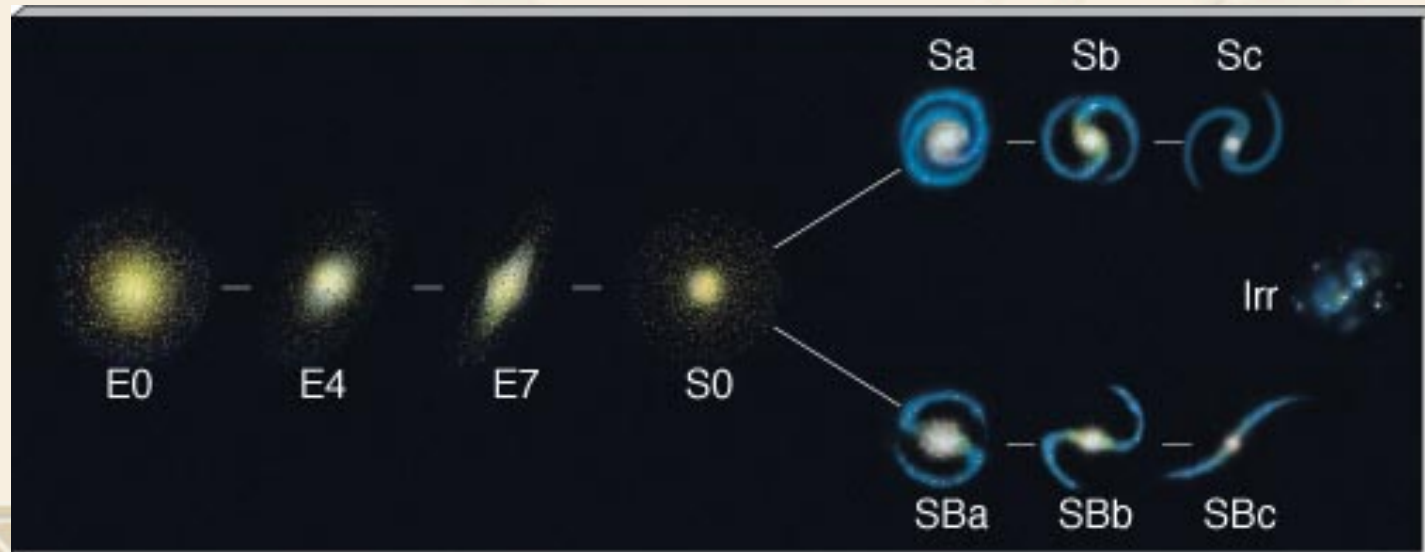


© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

Irregular



© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning



The Hubble  
Tuning Fork



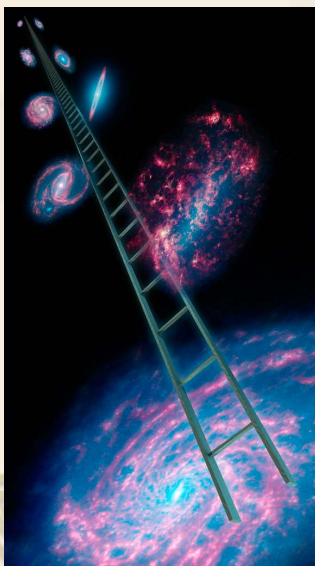
# 宇宙

- 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



LMC、SMC距离的精确测量

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。。。

## 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 $\theta=90^\circ$ ，则环会被同时照亮， $R=c*dt$
- 真实情况： $\theta$ 非 $90^\circ$ ，B在爆发后75天被照亮（对应 $dT_n$ ），A在390天后被照亮（对应 $dT_f$ ）

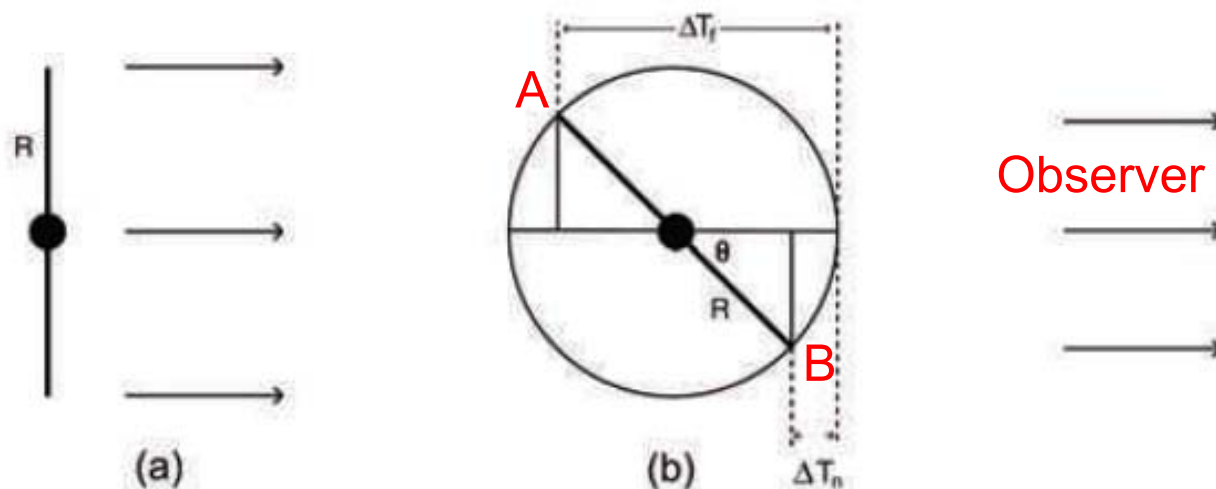
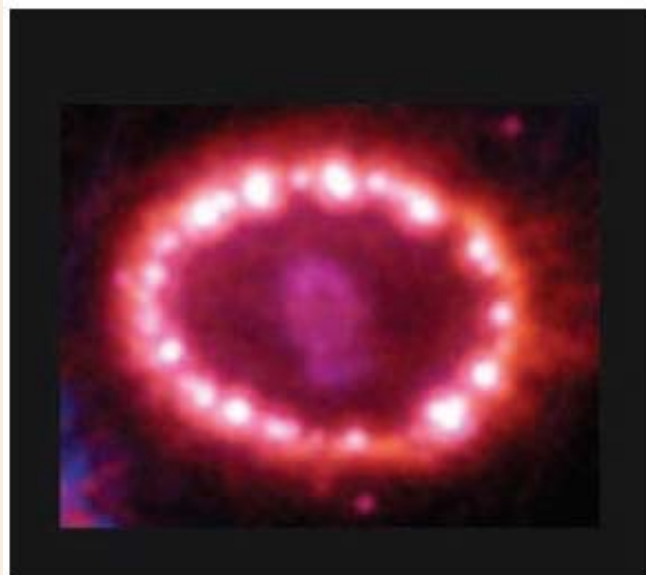


Figure 8.20 The geometry of the ring surrounding Supernova 1987A. Image: NASA, P. Challis, R. Kirshner (Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics) and B. Sugerman (STScI).





# 量天尺-造父变星

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

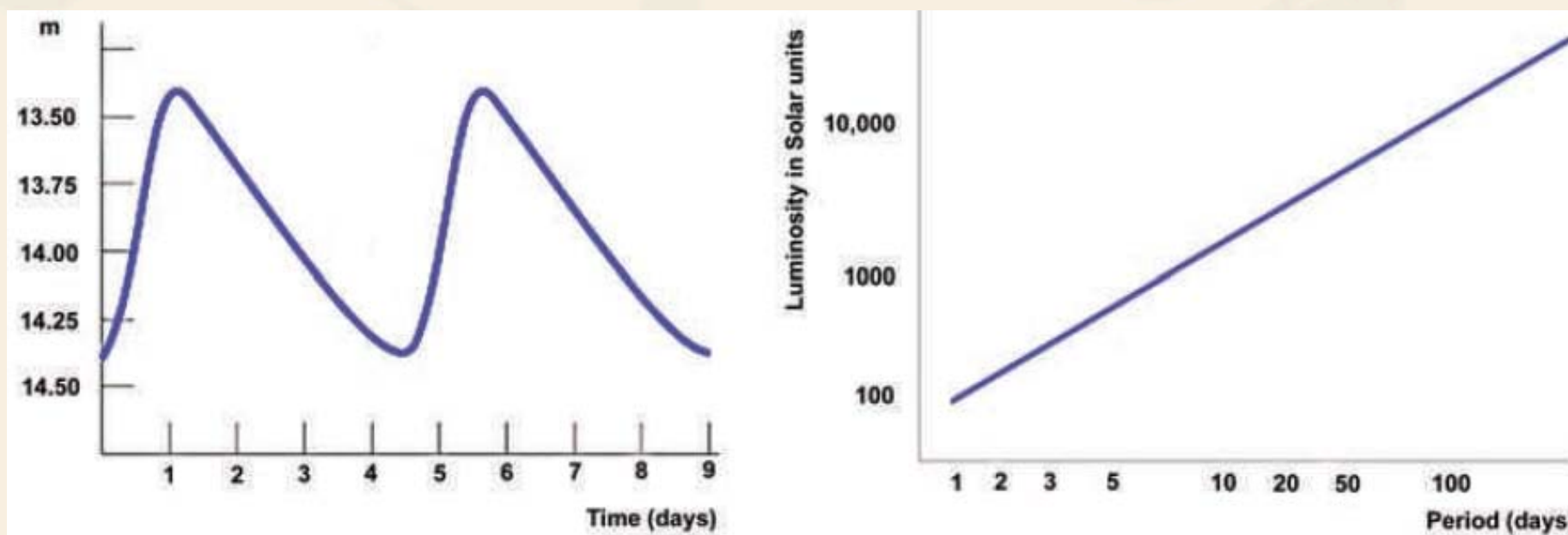
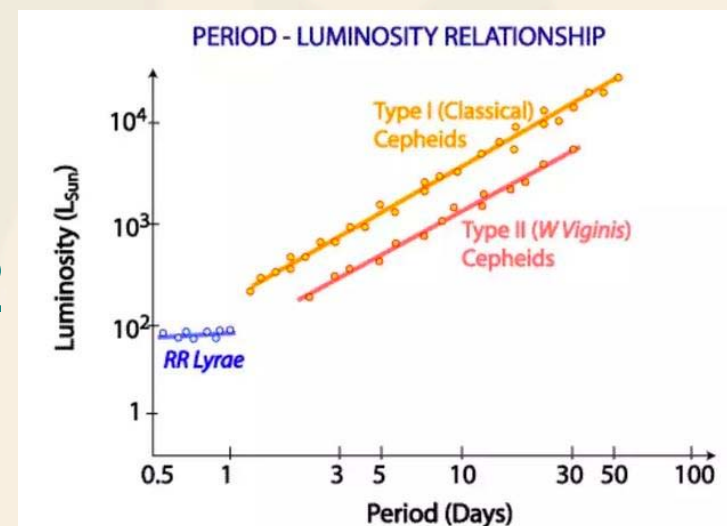


Figure 8.21 (a) A Cepheid variable light curve and (b) the period-luminosity relationship.

## 例子：利用造父变星测量M81距离

- 一颗LMC中的造父变星有 $\log P=1.4$ 与 $\text{mag}=13.9$
- 其在M81中有 $\text{mag}=22.8$ ，暗 $22.8-13.9=8.9\text{mag}$
- 对应亮度比 $2.512^{8.9}=3632 \rightarrow$ 距离比 $(3632)^{0.5}=60.2$
- M81距离为： $51.5 \times 60.2=3104\text{kpc}=10.1\text{MLy}$

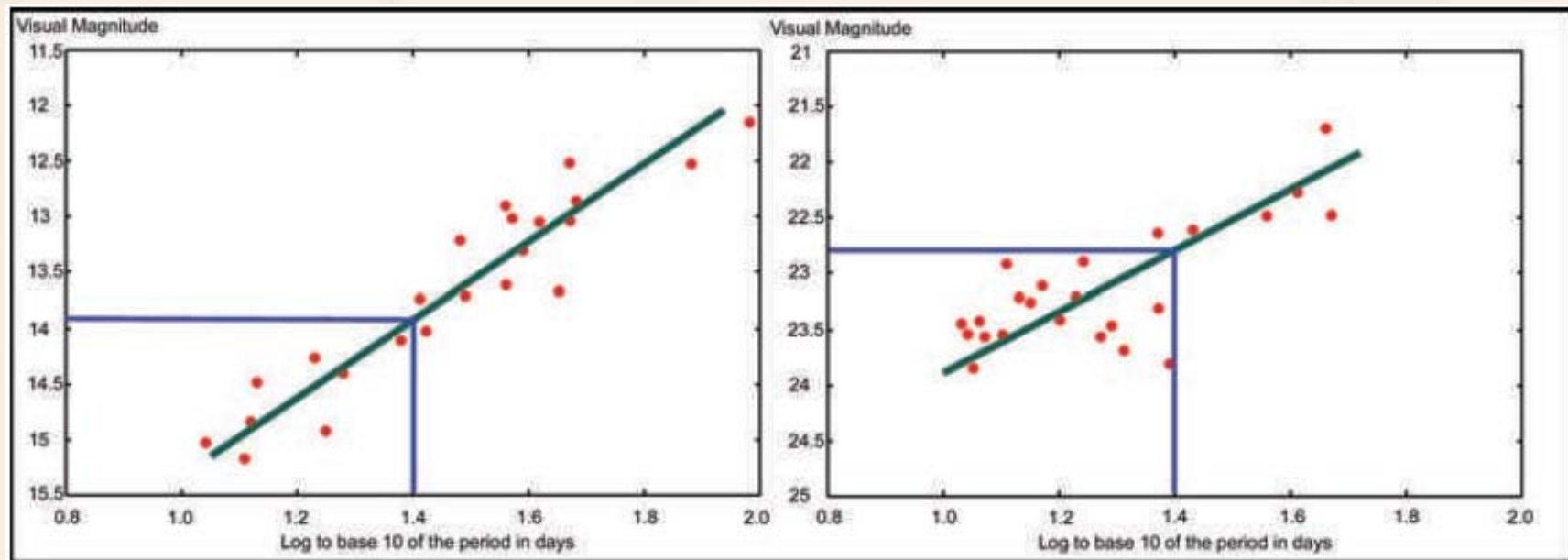


Figure 8.22 Plots of visual magnitude against  $\log_{10}$  of the period for Cepheid variables in the Large Magellanic Cloud (a) and M81 (b).

## 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



# 活动星系核 (AGNs)



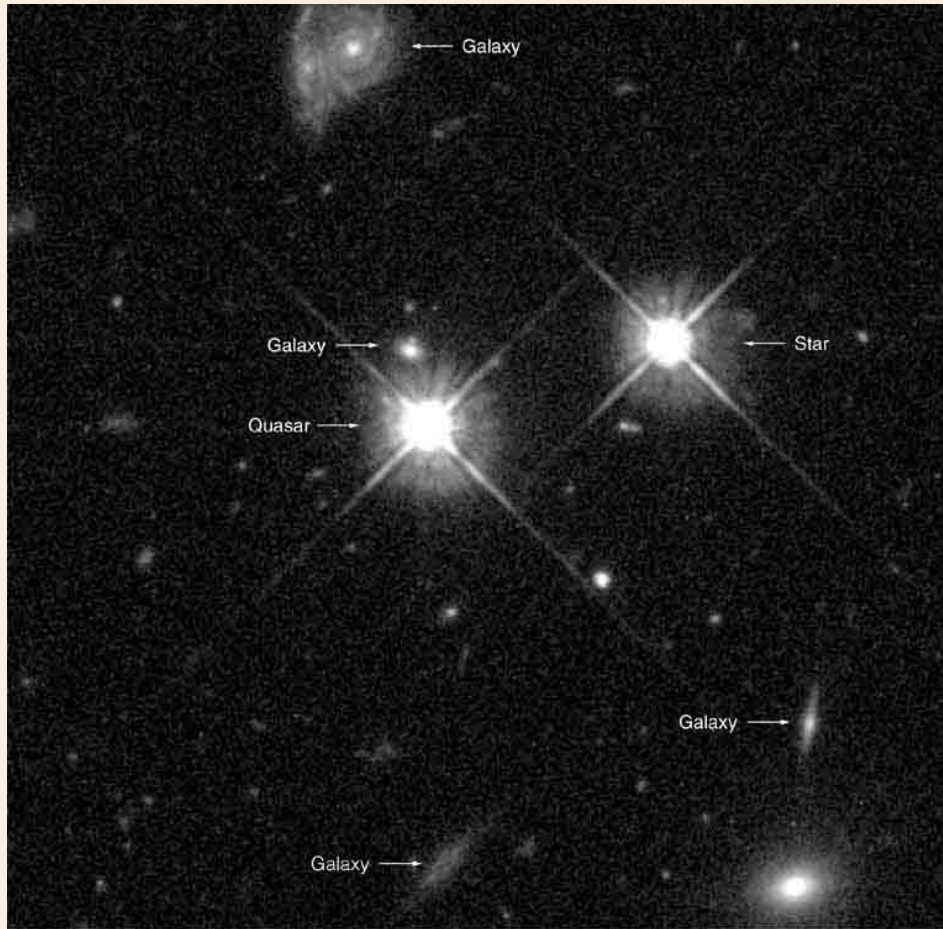
*(University of Warwick, retrieved from [bordermail.com.au](http://bordermail.com.au))*



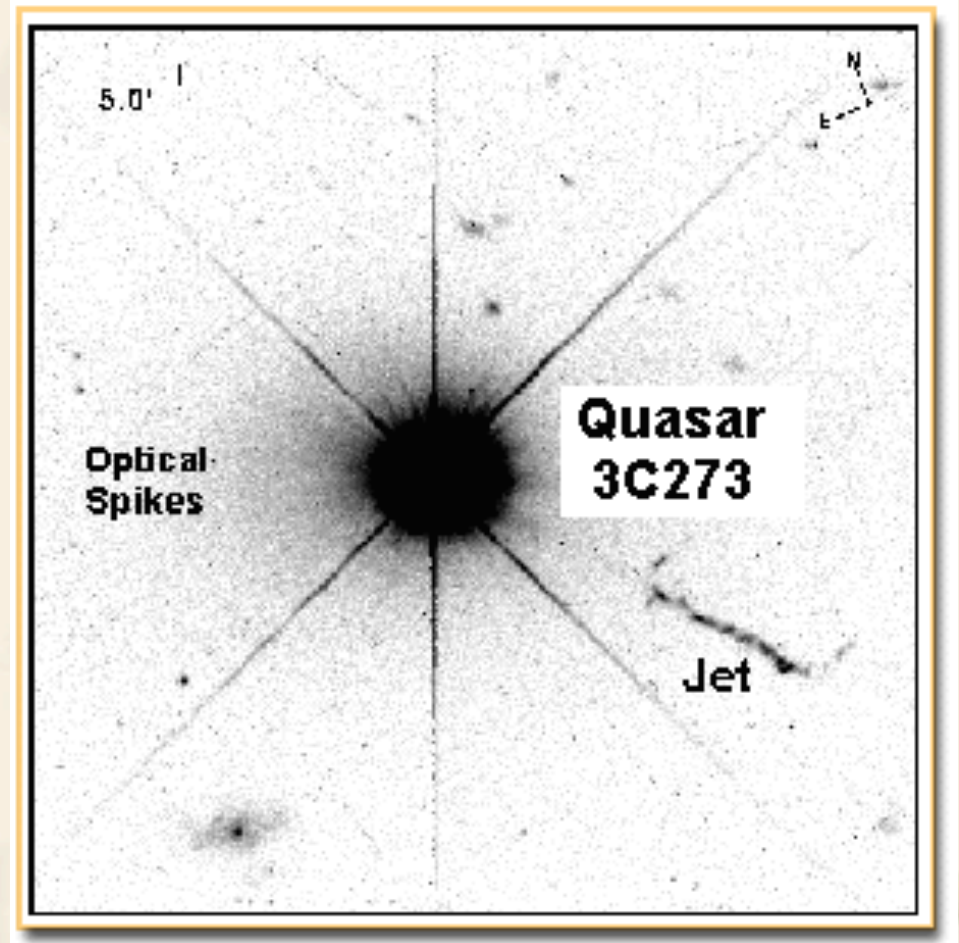
变幻莫测的  
超大质量黑洞

- Tremendous amounts of energy from the center of a galaxy
- Excess emission across almost all wavelengths
- Accretion of mass onto SMBH ( $\sim 10^6$ - $10^{10}$   $M_{\text{sun}}$ )
- Most luminous persistent sources of electromagnetic radiation
- Three key components

# 类星体



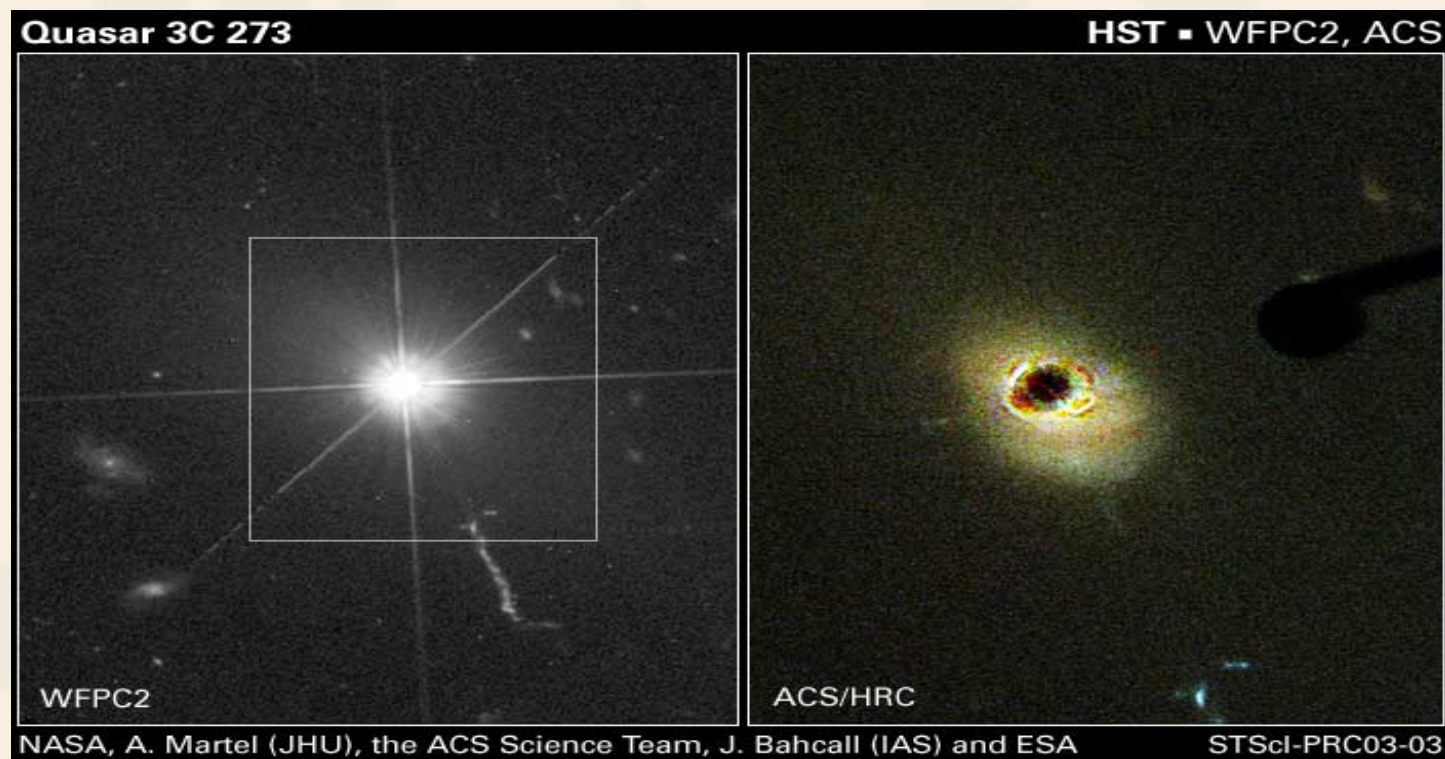
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning



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



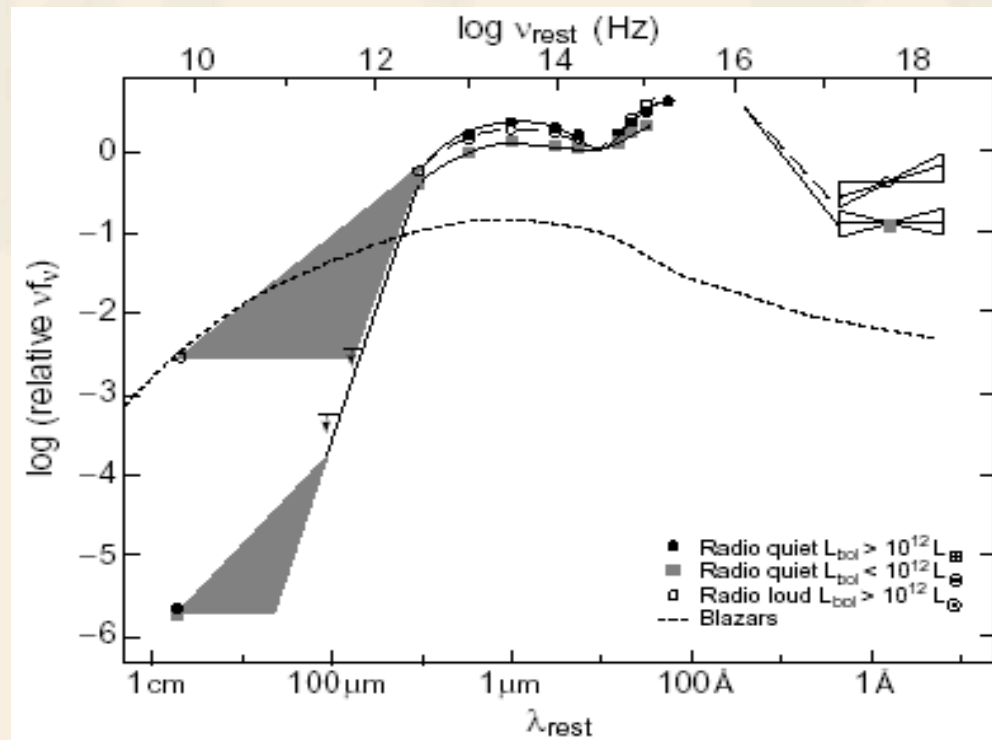
# 活动星系核：高光度



- ❖ 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！

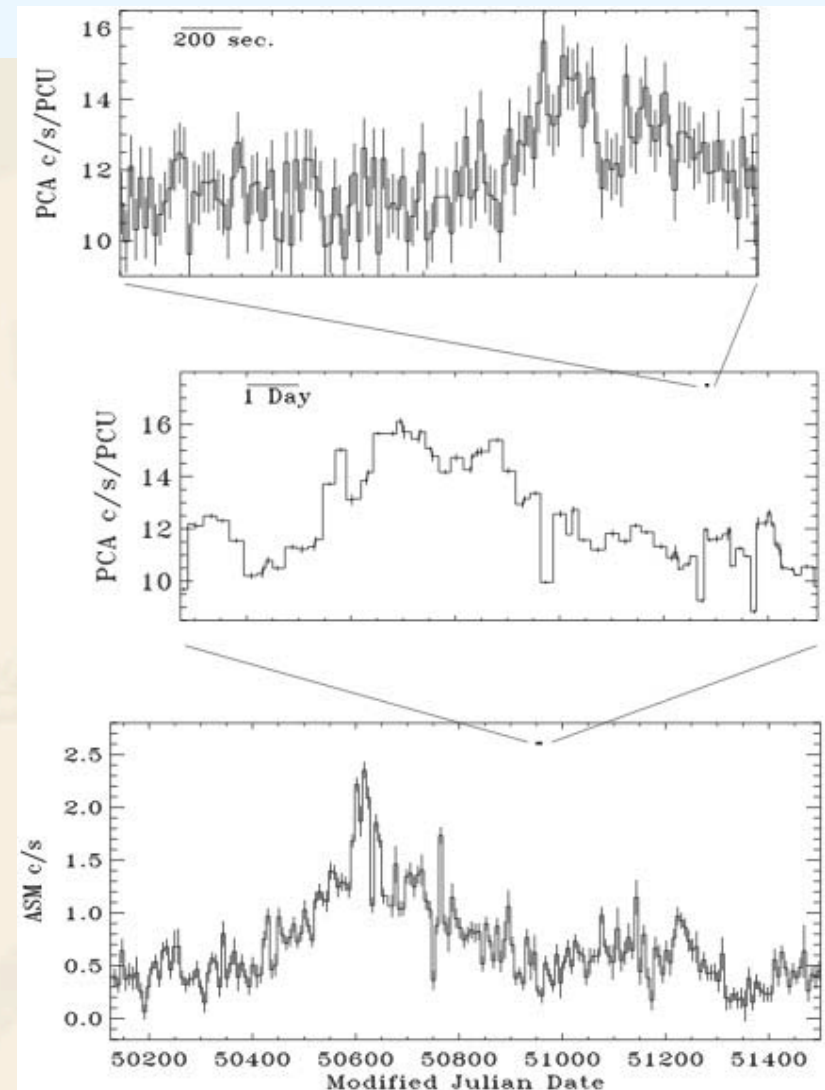
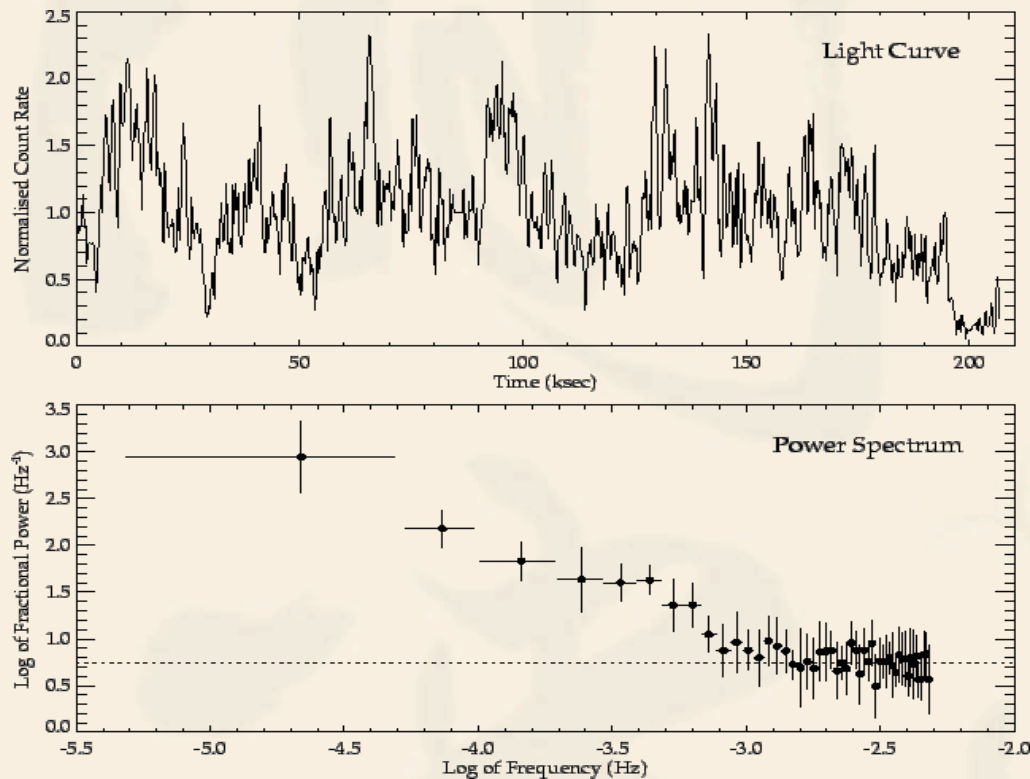


# 活动星系核：宽的能谱



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

# 辐射区域：尺度小！



- ❖ Light crossing time argument: a source that varies significantly in time  $t$  must have size  $R < ct$

# 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:

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



# 星系群和星系团

- 星系群：~几十个星系
- 星系团：最多~几千个星系
- 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：都为漩涡星系，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



通  
过  
丰  
研  
场  
宇  
宙  
化  
学  
来  
近  
究  
宇  
宙



孤  
立  
中  
央  
星  
系  
周  
围  
的  
小  
质  
量  
卫  
星  
星  
系  
与  
暗  
弱  
展  
恒  
星  
晕

## 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