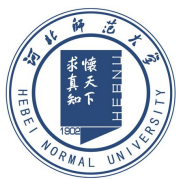


# 椭圆星系



# 椭圆星系是个简单体系？



E0

E2

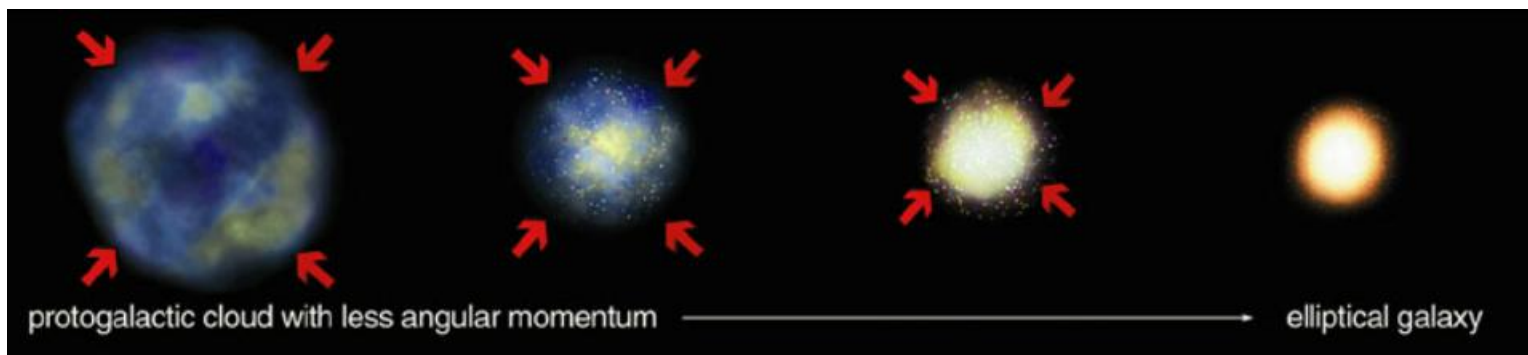
E3

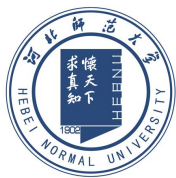
E4

E5

Buta (2011)

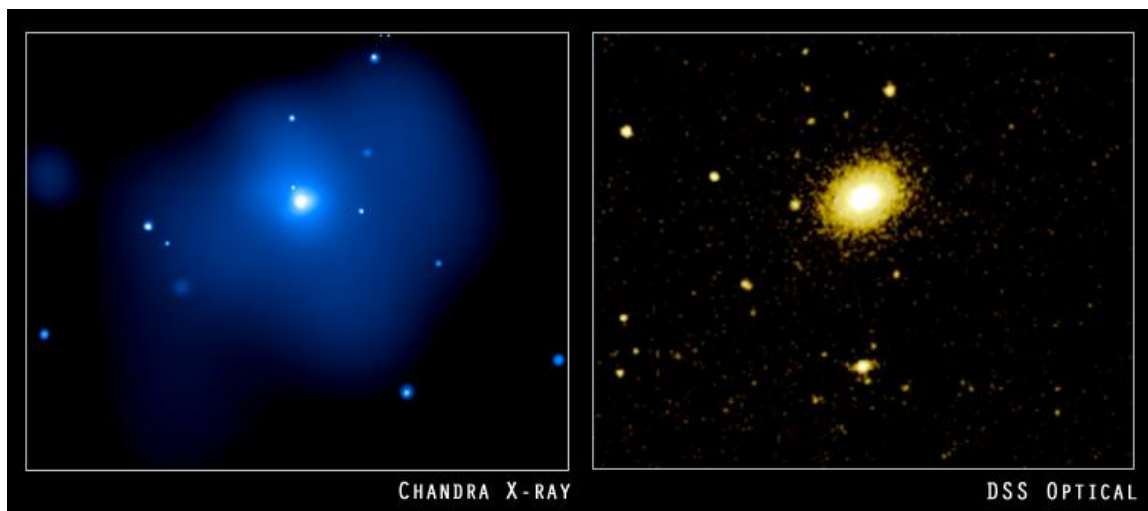
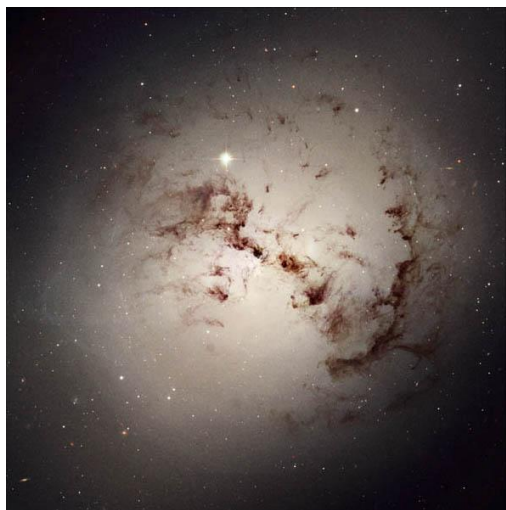
- 椭圆星系图像呈椭圆形；光分布平滑（ $R^{1/4}$ 律）；没有显著子结构
- 椭圆星系中极少含有气体和尘埃
- 椭圆星系完全由年老的星族组成
- 形成于星云整体塌缩：该过程造成剧烈弛豫，恒星和气体完全位力化





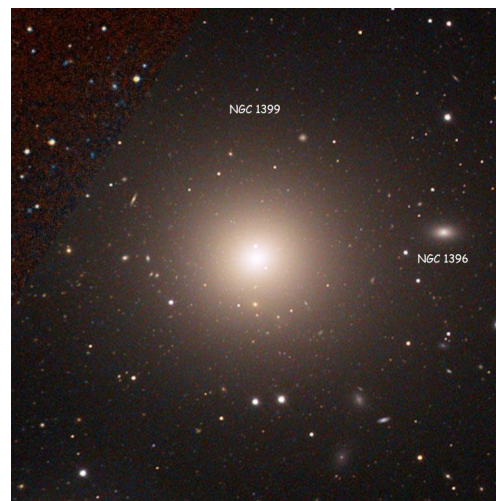
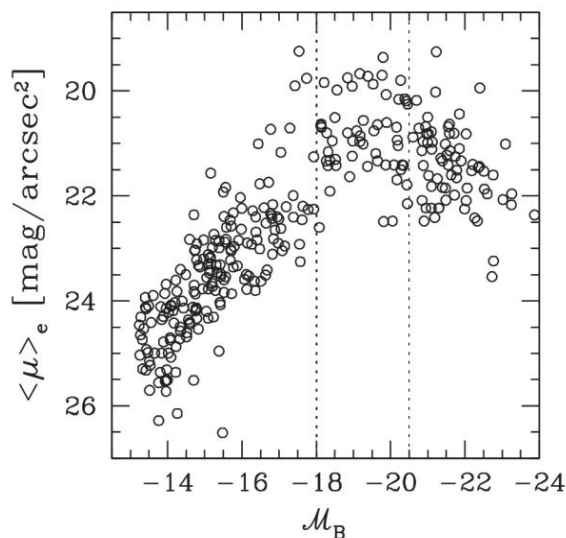
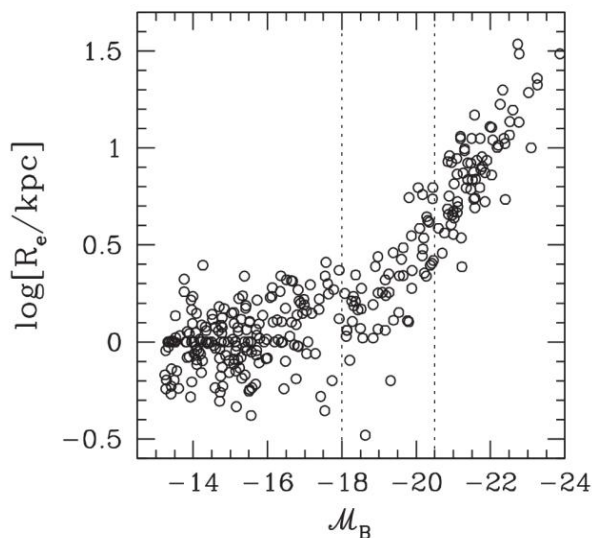
# 椭圆星系是个复杂体系

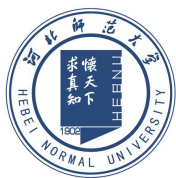
- 椭圆星系中有**热的X射线气体**；有些椭圆星系中有**尘埃成分**
- 椭圆星系中有**转动**成分；有些椭圆星系还有**退耦核**（核区转动与星系其他部位不同）；没有位力化
- 椭圆星系形成于两个星系的**并合**：等级并合模型
- 椭圆星系的**等照度线形状**、**光度**和**转动快慢**等性质相关



# 测光分类

- 椭圆星系的光度分布范围很大；光度基本决定了椭圆星系的性质
  - 巨椭圆星系：  $L > 2 \times 10^{10} L_{\odot}$ ,  $M_B < -20.5$
  - 中等椭圆星系：  $L \sim 10^9 - 10^{11} L_{\odot}$ ,  $M_B = -18 \sim -20.5$
  - 矮椭圆星系：  $L < 10^9 L_{\odot}$ ,  $M_B > -18$
- cD (central Dominant) 星系
  - 极高光度椭圆星系，有很大弥散的恒星晕，多位于星系团中心





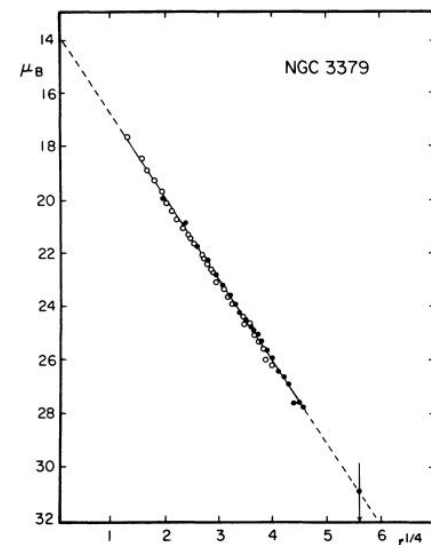
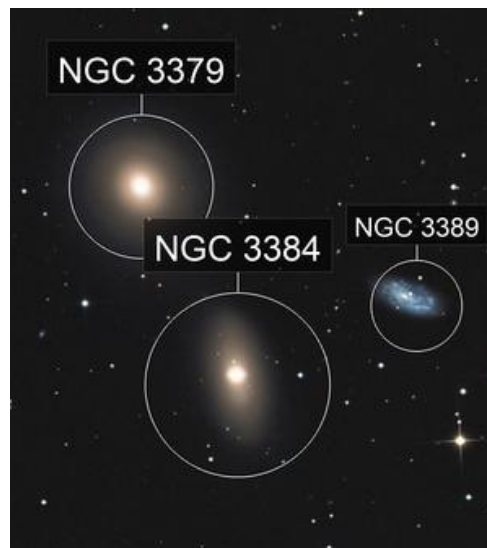
# 面亮度径向分布

De Vaucouleurs & Capaccioli (1979)

- De Vaucouleurs发现，多数椭圆星系面亮度 $I(R)$ 与半径 $R$ 的关系可以表示为： $\mu \sim R^{1/4}$

$$I(R) = I_e \exp(-7.67((R/R_e)^{1/4} - 1))$$

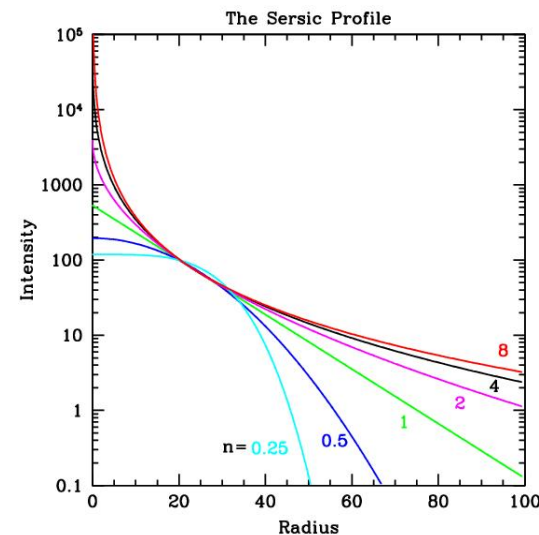
$I_e$ 为半径 $R_e$ 处的面亮度；单位： $\text{mag/arcsec}^2$

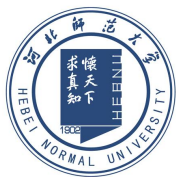


- 椭圆星系的光向中心聚集的程度比旋涡星系的盘高得多
- Sersic Profile

$$I(R) = I_0 \exp \left[ -\beta_n \left( \frac{R}{R_e} \right)^{1/n} \right] = I_e \exp \left[ -\beta_n \left\{ \left( \frac{R}{R_e} \right)^{1/n} - 1 \right\} \right]$$

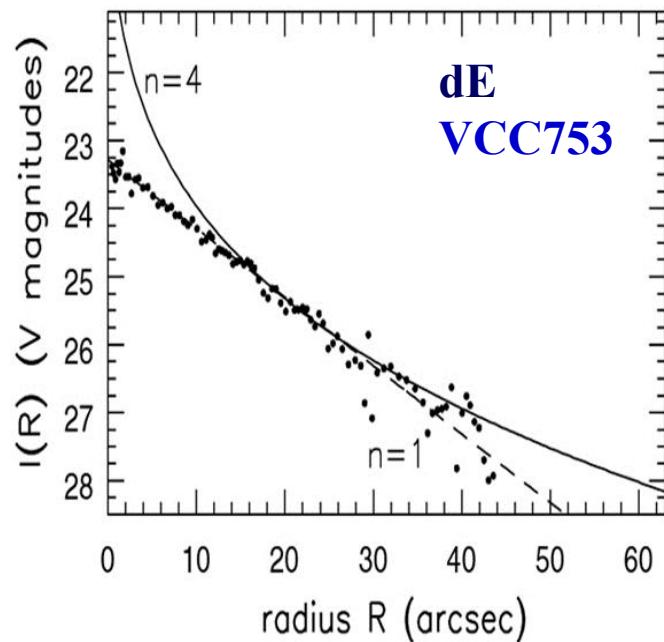
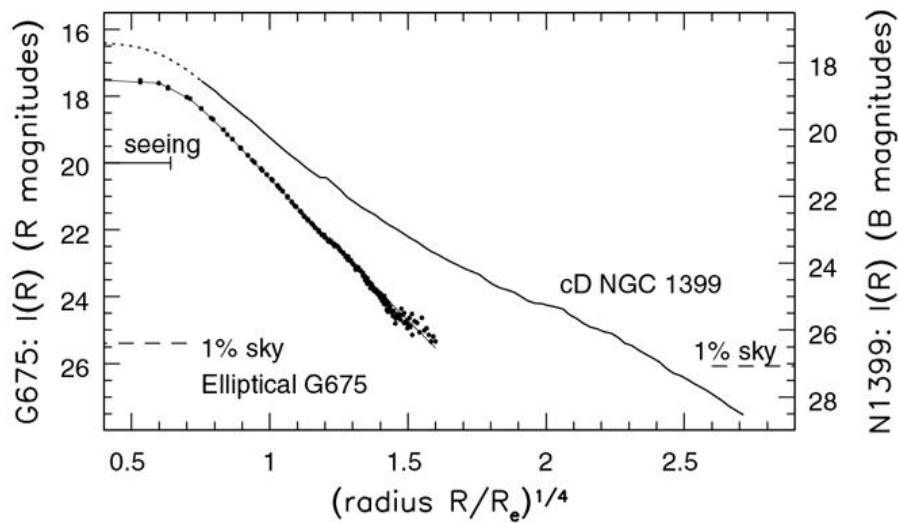
- 指数 $n$ 越大，中心面亮度越陡，外部越平



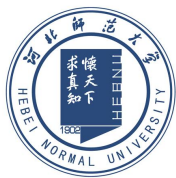


# 面亮度径向分布

- 极亮椭圆星系在星系外围面亮度高于R1/4律预期，存在‘光富余’的外区
- 矮椭圆星系的面亮度接近于 $n \approx 1$ 的指数轮廓dE

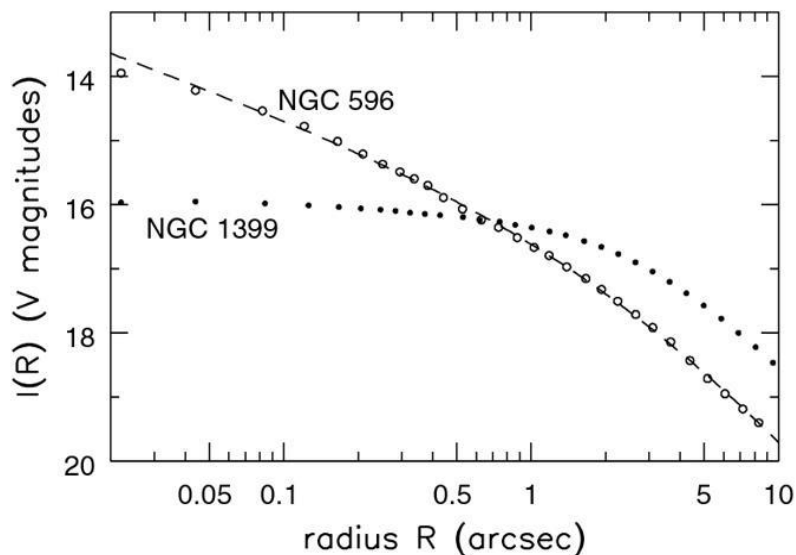


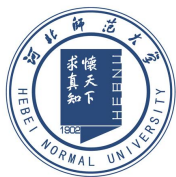




# 面亮度径向分布

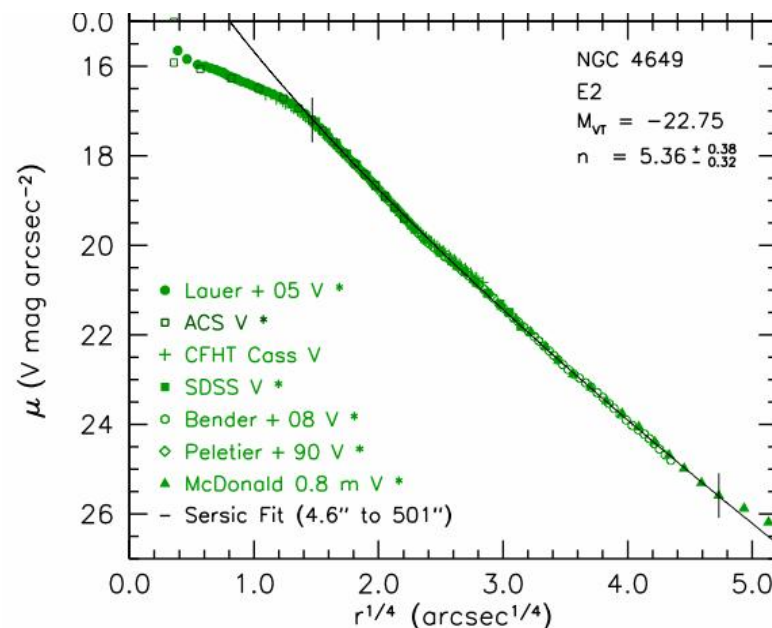
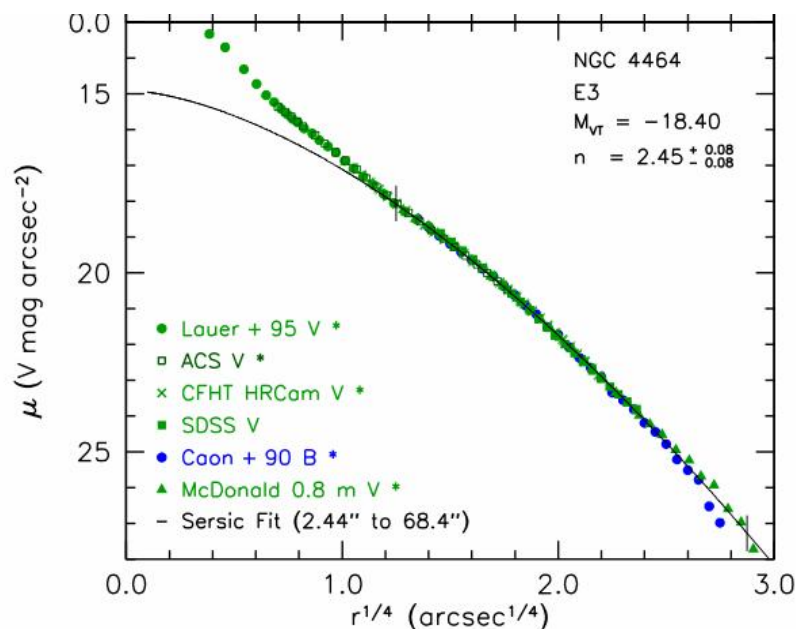
- 椭圆星系的中心面亮度、核半径和星系光度密切相关
- 中心面亮度分布与光度相关
  - 亮椭圆星系有面亮度几乎不变的中央核；中心暗；核大
  - 中等亮度E星系有中央尖峰而不是核；中心亮；核区小



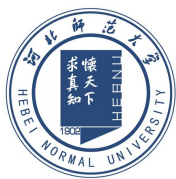


# 面亮度径向分布

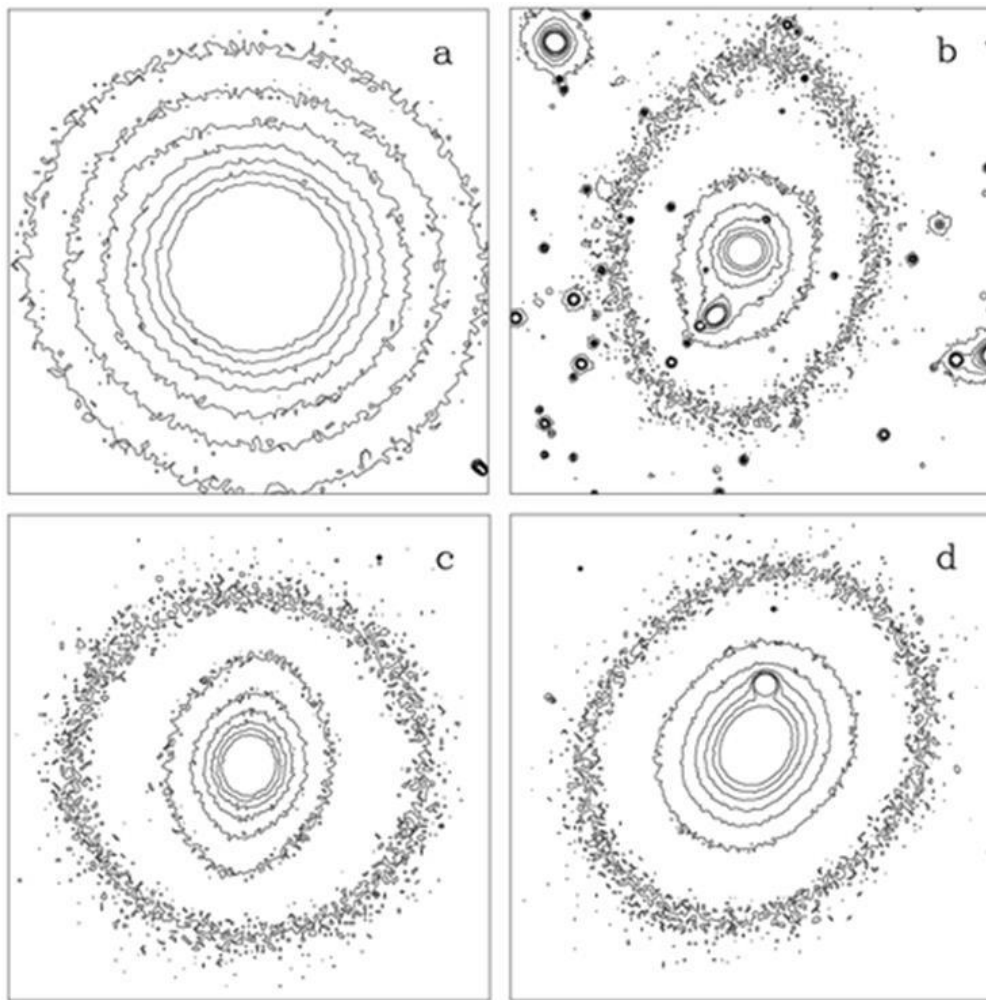
- 利用Sersic形式拟合**中等光度**椭圆星系（如NGC4464）显示核区有**光超出**：**中央尖峰**（无核）
- 利用Sersic形式拟合**高光度**椭圆星系（如NGC4649）显示核区光度**偏低**：**中央核**
- 椭圆星系内区面亮度分布分为两大类：**有核和无核**；与星系**总光度**有关。







# 面亮度二维分布



a) 标准椭圆的等照度线

b) 内外等照度线轴垂直

c) 盘状 (disky) 等照度线

d) 盒状 (boxy) 等照度线

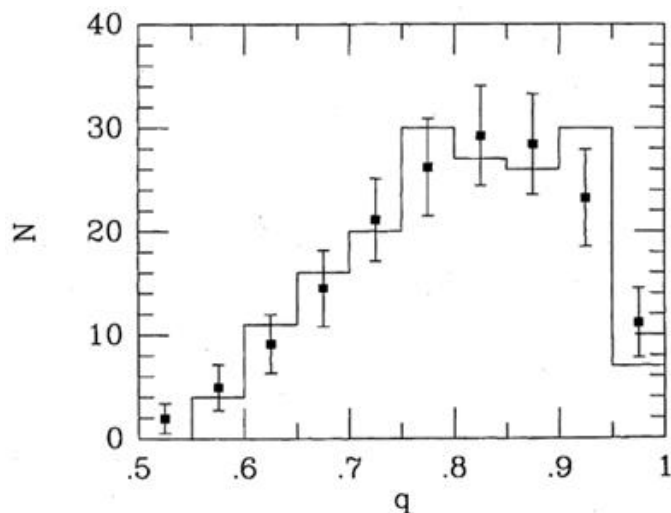
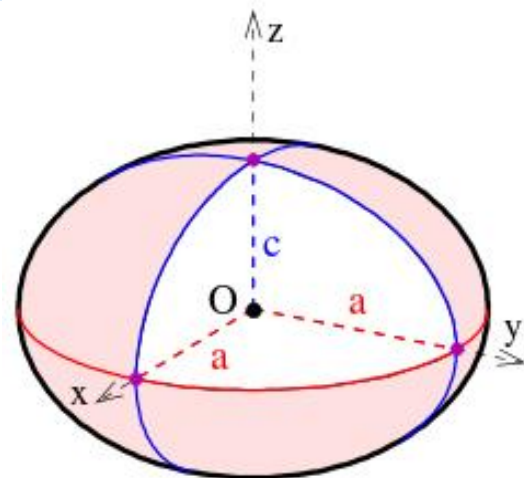
椭圆星系的哈勃型依赖于观测者的视线方向

# 椭圆星系的形状

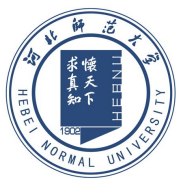
## ➤ 椭球方程

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1$$

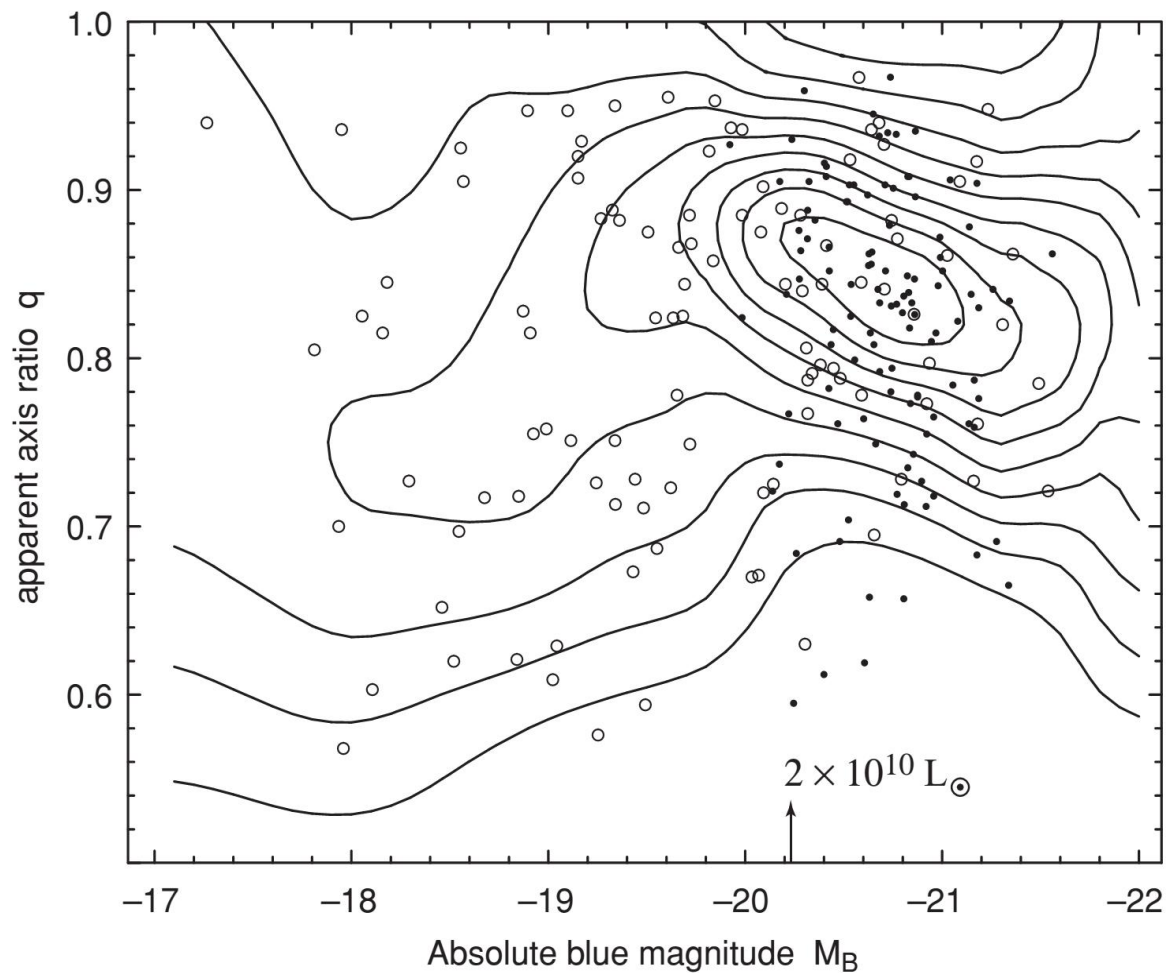
- $a = b = c$ : 球
- $a = b > c$ : 扁椭球 (Oblate Ellipsoid)
- $a = b < c$ : 长椭球 (Prolate Ellipsoid)
- $a \neq b \neq c$ : 三轴椭球 (Triaxial Ellipsoid)



- 当  $B/A \ll 1$  (星系非常扁平) 时, 近似均匀分布
  - 观测发现**旋涡星系盘**的视轴比  $q > 0.2$  的比例大致相等: S星系的盘大多有  $B/A \leq 0.2$
- 很少有比E7或  $q=0.3$  **更扁** 的椭圆星系: 更扁的E星系会是**动力学不稳定的**



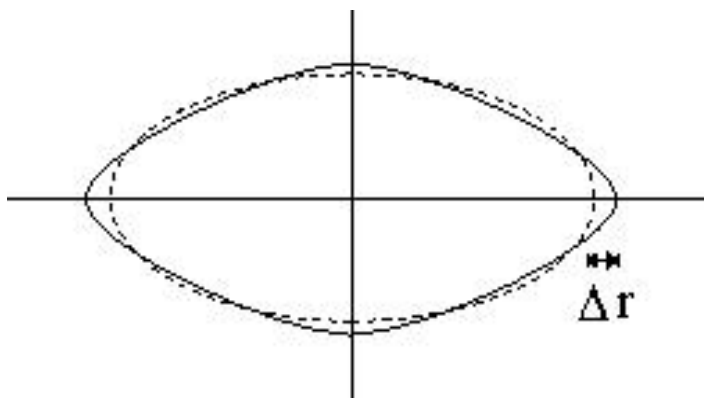
# 椭圆星系的形状



➤ 小质量、暗椭圆星系的表现形状一般要比大的亮星系长 (or 扁)

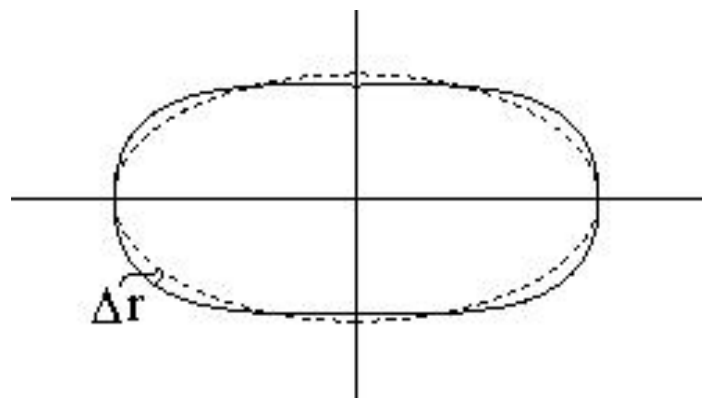
# 等照度线形状

- 椭圆星系的等照度线经常**不是严格的椭圆**，而是有少许的**偏离**
- 椭圆星系等照度线可分为：
  - 沿等照度线的**长轴**有富余的星光：**盘状**等照度线
  - 星系较多的光分布在椭圆的**角落**：**盒状**等照度线



$$r = r_0 + \Delta r(t)$$

$$\Delta r(t) = \sum a_k \cos(kt) + \sum b_k \sin(kt)$$



$a_4 > 0$ : 等照度线为**盘状**，在长轴和短轴上被推出最佳拟合椭圆之外

$a_4 < 0$ : 等照度线在与轴成 $45^\circ$ 处膨出，显示出‘**盒状**’或花生形外貌

FIGURE 3. — Distribution of the ellipticity classes for all observed elliptical galaxies.

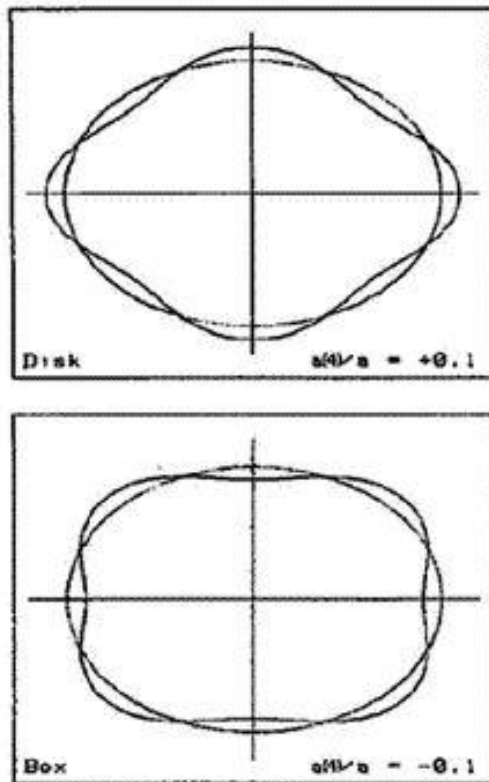


FIGURE 5. — Schematic drawing illustrating isophotes with  $a(4)/a = +0.1$  and  $a(4)/a = -0.1$ .

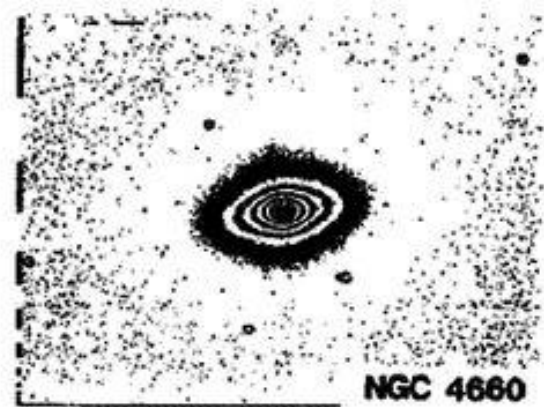


FIGURE 6. — R-image of NGC 4660, an elliptical galaxy with a disk-component in the isophotes ( $a(4)/a \sim +0.03$ ).

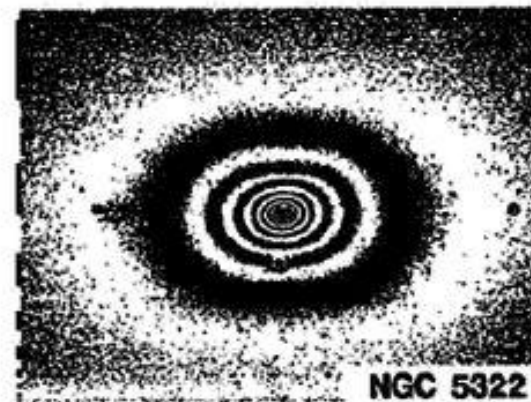
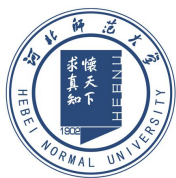
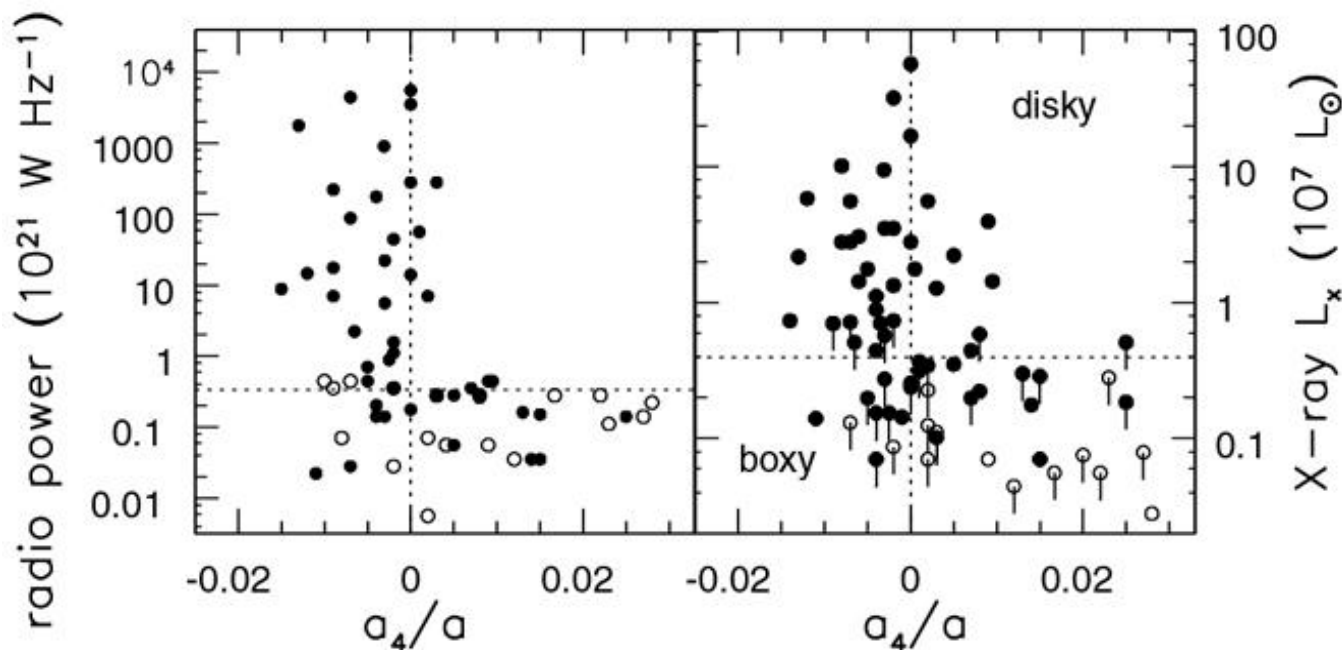


FIGURE 7. — R-image of NGC 5322, an elliptical galaxy with box-shaped isophotes ( $a(4)/a \sim -0.01$ ).





## 等照度线形状

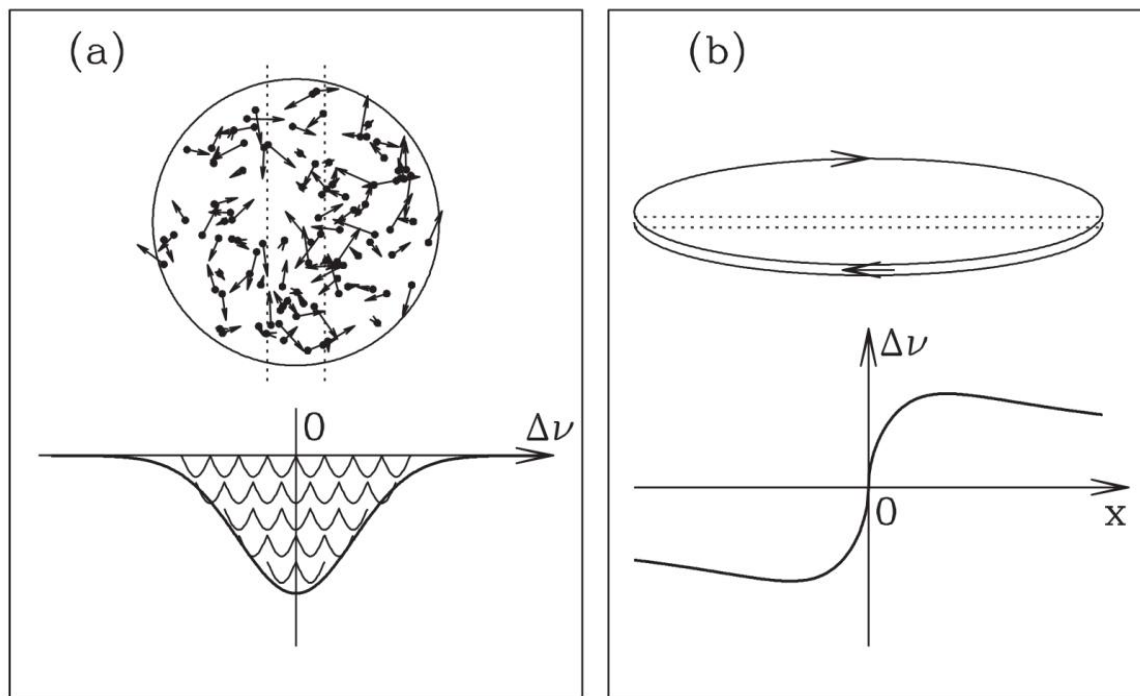


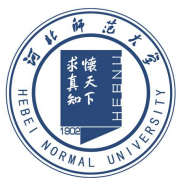
- **盒状星系**：高光度、转动缓慢、速度弥散大，有中心核、中心面亮度低、X射线和射电辐射强，更可能是三轴的
- **盘状星系**：低光度、转动相对较快、中心面亮度高、有中央尖峰、X射线和射电辐射弱，多为扁椭球



# 恒星运动

- 椭圆星系中的恒星**并不遵循有序转动**，大部分动能都在恒星的**随机运动**中
- **较亮的椭圆星系**有较高的**速度弥散**：可以用于测定**距离**（Faber-Jackson关系）
- 测量椭圆星系中恒星的轨道运动速度，比较**困难**（利用光谱**吸收线**）





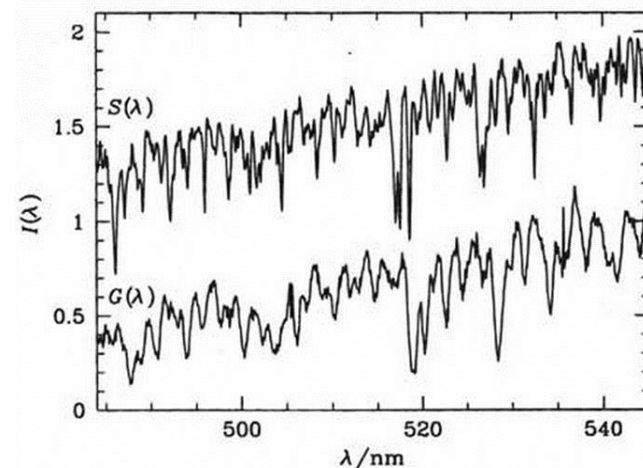
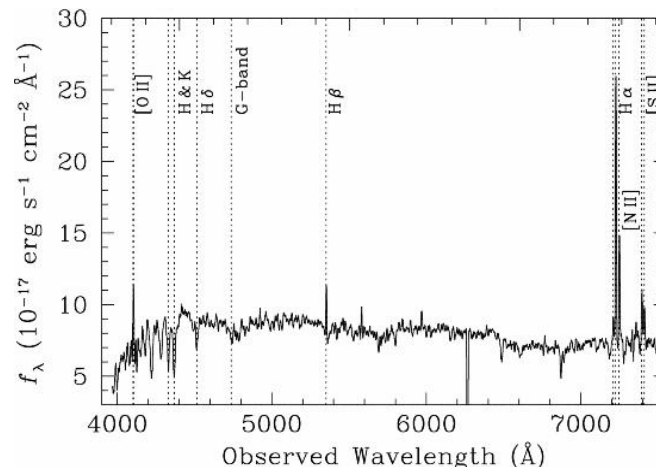
# 恒星速度测量

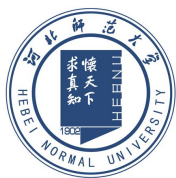
## ➤ 盘星系

- 星系中有年轻**恒星形成区** (HII) 和大量的**HI气体**
- 利用星系光谱中的电离气体**发射线**或中性氢的**21cm线**，可较容易地测量冷或热气体云的**运动速度**

## ➤ 椭圆星系

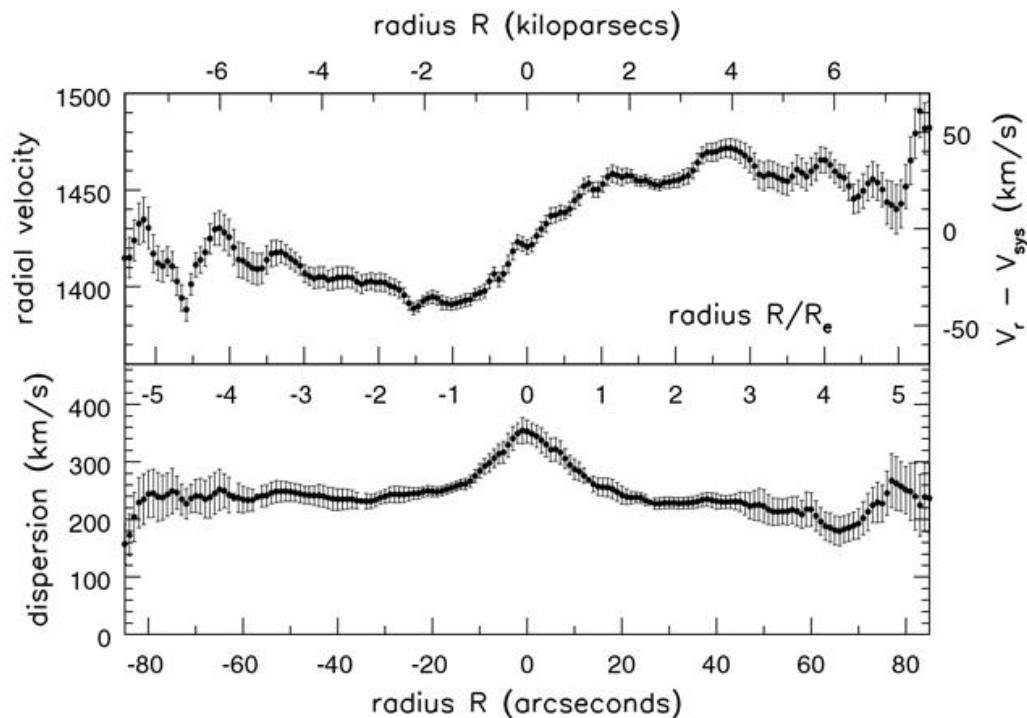
- 没有年轻恒星和冷气体，只能利用星系光谱中的**吸收线**测量恒星运动
- 利用狭缝或光纤，观测星系**不同区域**的光谱：谱线宽度和谱线位置
- 通过与**恒星模版**比较，获得星系光谱的**宽度**（速度弥散，恒星随机运动速度）和谱线**中心位置**（退行速度）
- 星系外围面亮度较暗，吸收线观测更加**困难**：测定椭圆星系运动，需要**长时间观测**，以获得**高信噪比**的光谱

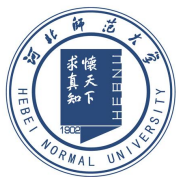




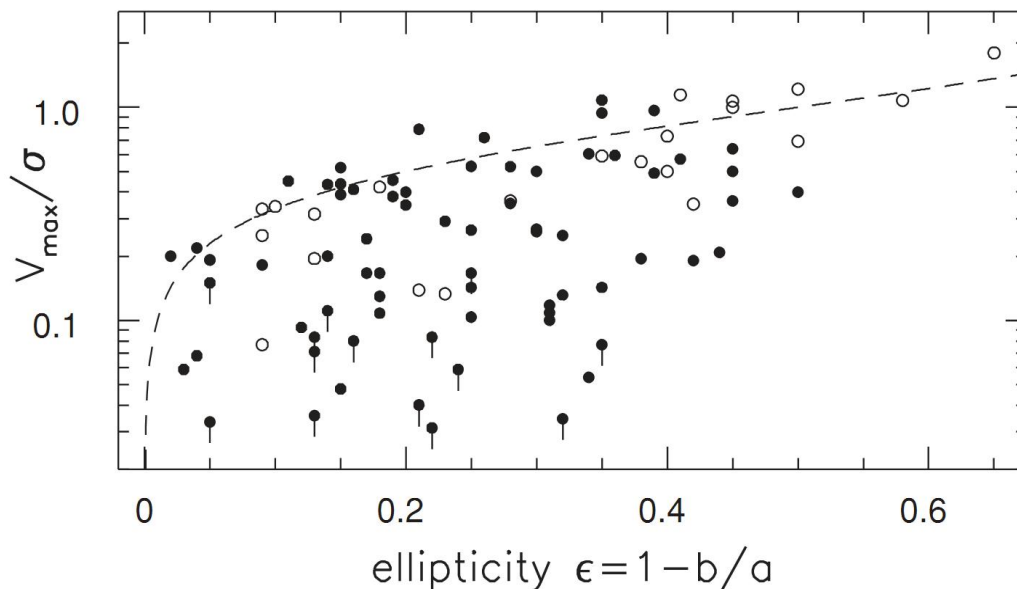
# 椭圆星系的运动

- 椭圆星系**存在转动**，但一般**不是**星系动能的主要成分；
- 星系速度弥散( $\sigma$ )在星系**中心处**远大于星系的其它区域
- 星系盘(如银河系):  $v = 220 \text{ km/s}$ ,  $\sigma = 30 \text{ km/s}$ ,  $v/\sigma \sim 7$ , 称**运动学冷盘**
- 椭圆星系速度弥散更高,  $\sigma \sim n \cdot 100 \text{ km/s}$ ,  $v/\sigma$ 介于0 -1, 称**运动学热体系**





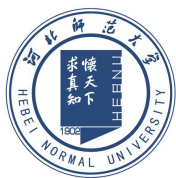
# 椭圆星系的转动



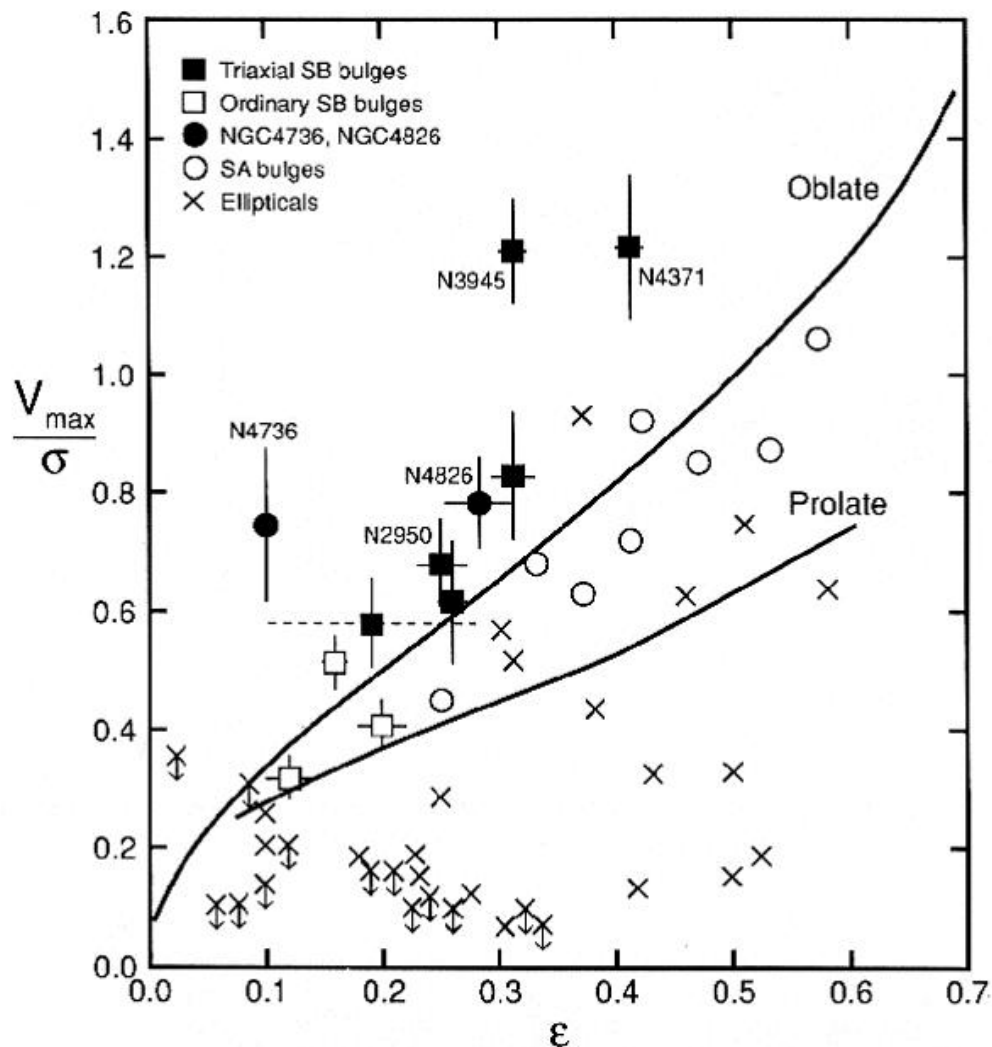
- 假设椭圆星系是轴对称的且绕对称轴 $z$ 转动，随机运动是各向同性的，则有：

$$\left(\frac{V_{\max}}{\sigma}\right) = \left(\frac{V}{\sigma}\right)_{\text{iso}} \equiv \frac{\pi}{4} \sqrt{2[(1-\epsilon)^{-0.9} - 1]} \approx \sqrt{\epsilon/(1-\epsilon)}$$

- 具有各向同性速度弥散的扁椭球星系，应当落在图中曲线 $\left(\frac{V_{\max}}{\sigma}\right) = \left(\frac{V}{\sigma}\right)_{\text{iso}}$ 附近
- 许多椭圆星系，特别是较亮的(实圈) 椭圆星系在曲线之下：椭圆星系的转动速度比假定随机运动是各向同性的模型，给出的预计转动速度要慢得多



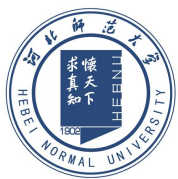
# 椭圆星系的转动



➤ 许多椭圆星系，包括一些很扁的椭圆星系，**转动**速度慢

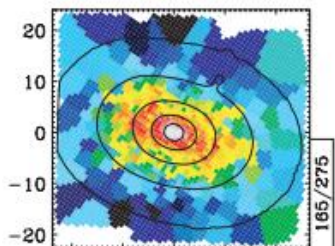
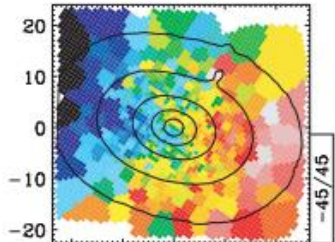
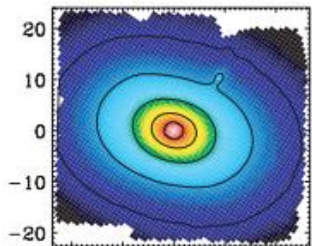
➤ 有些椭圆比较扁平，完全是因为**转动**引起；有些椭圆星系比较扁，是因为随机运动**速度各向异性**引起的



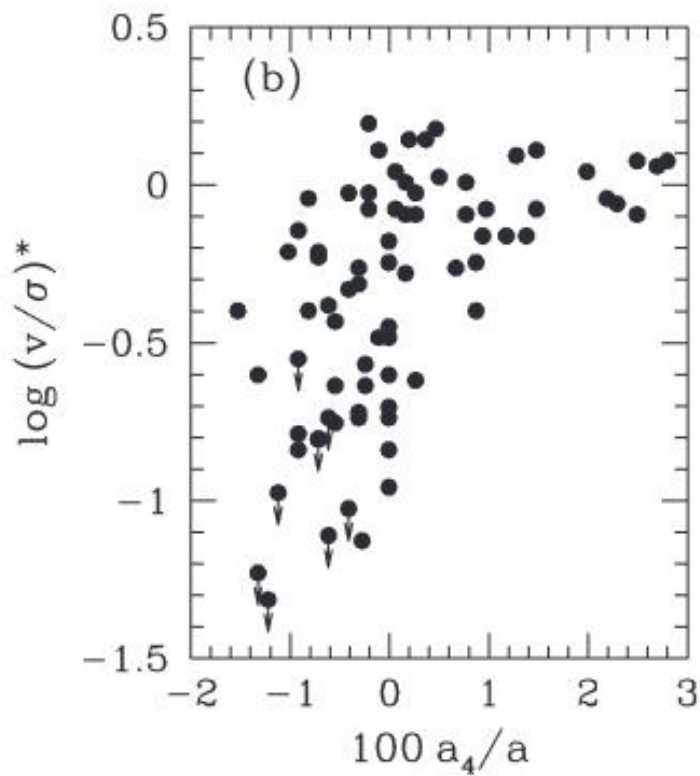
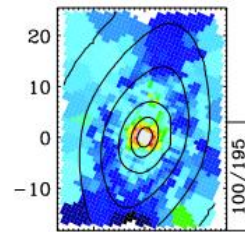
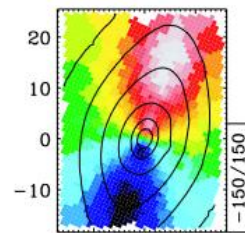
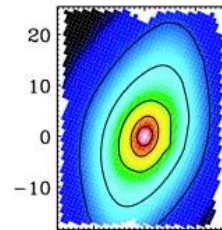


# 椭圆星系的转动

NGC 5982 ↗

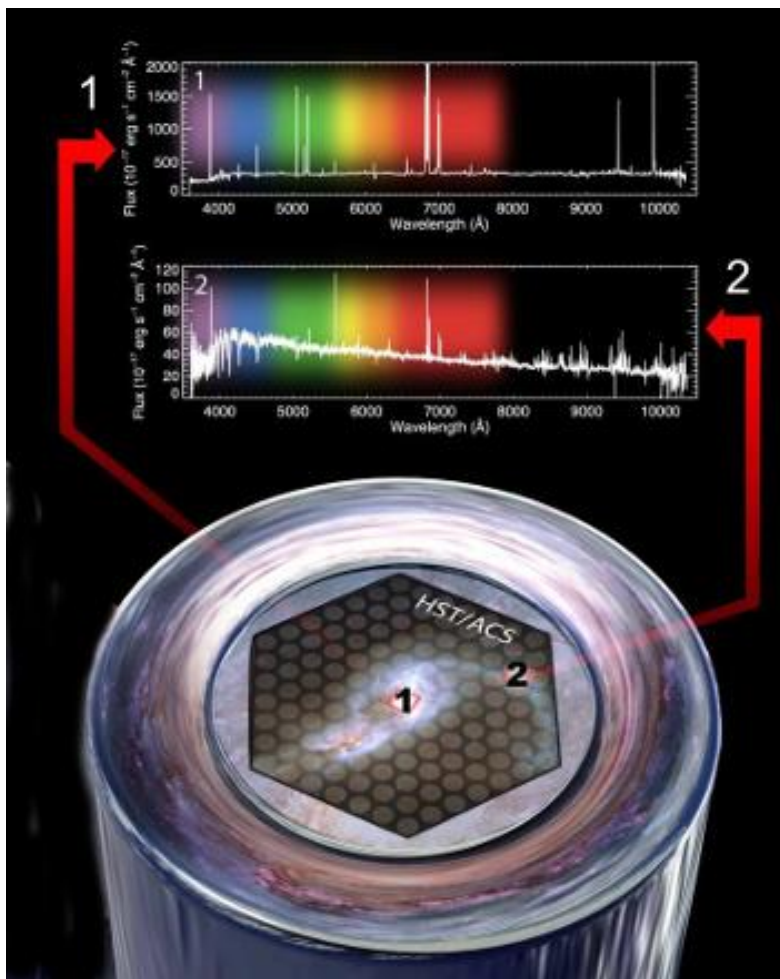


NGC 4660 ↖



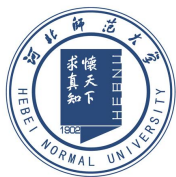


# 积分视场光谱观测

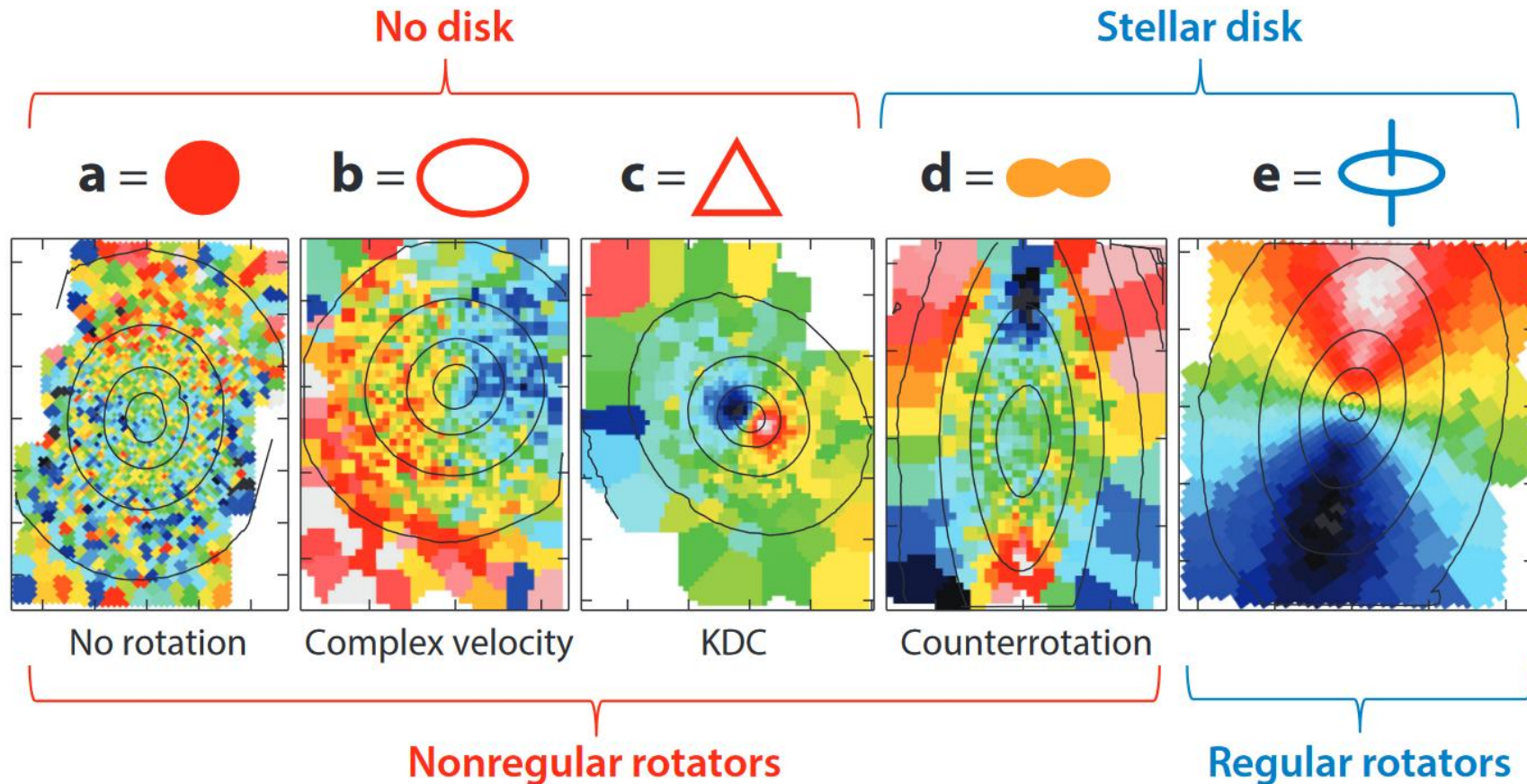


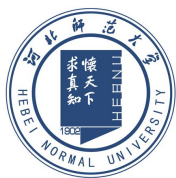
## Integral field spectroscopy



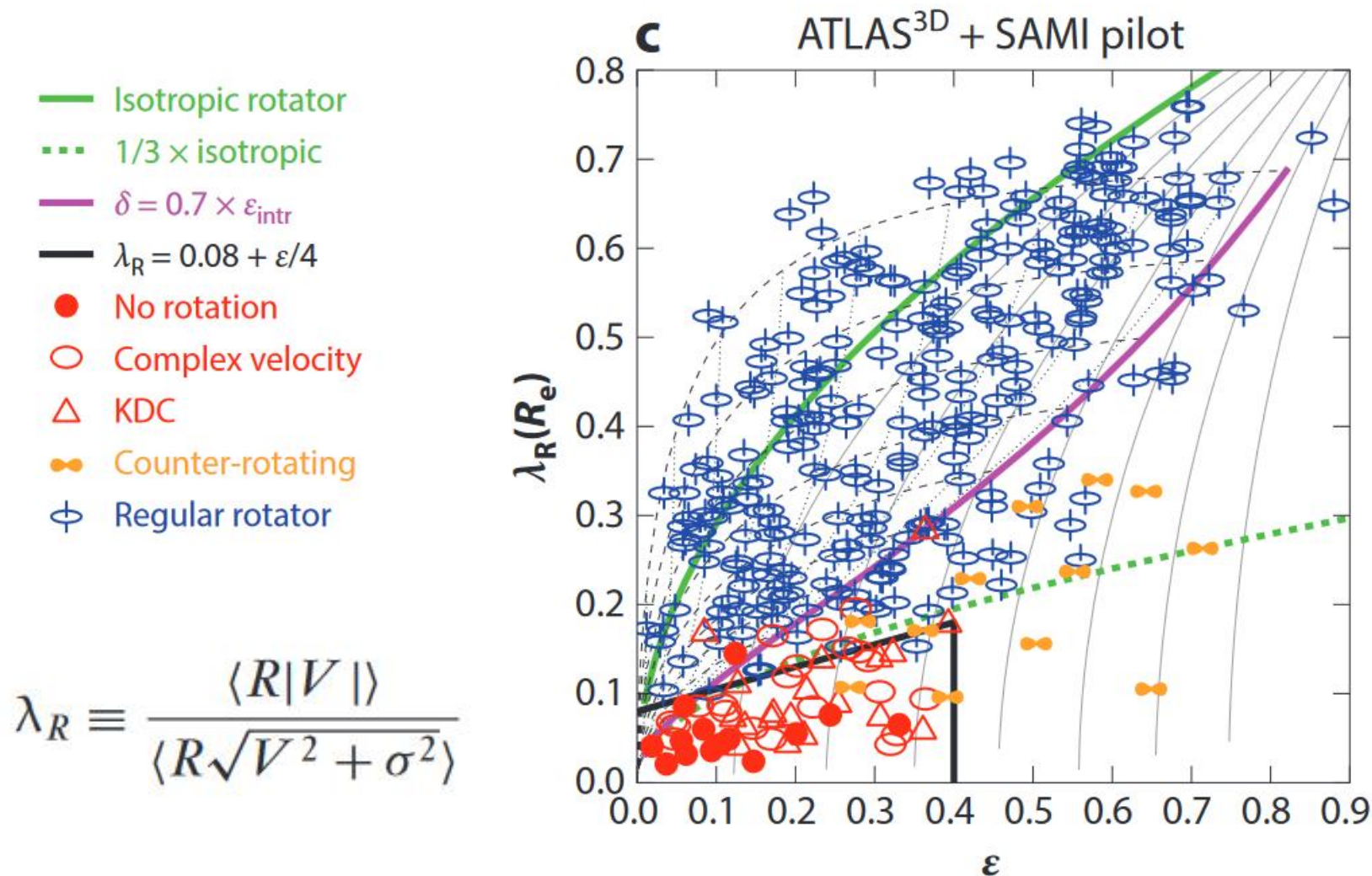


# 积分视场光谱观测





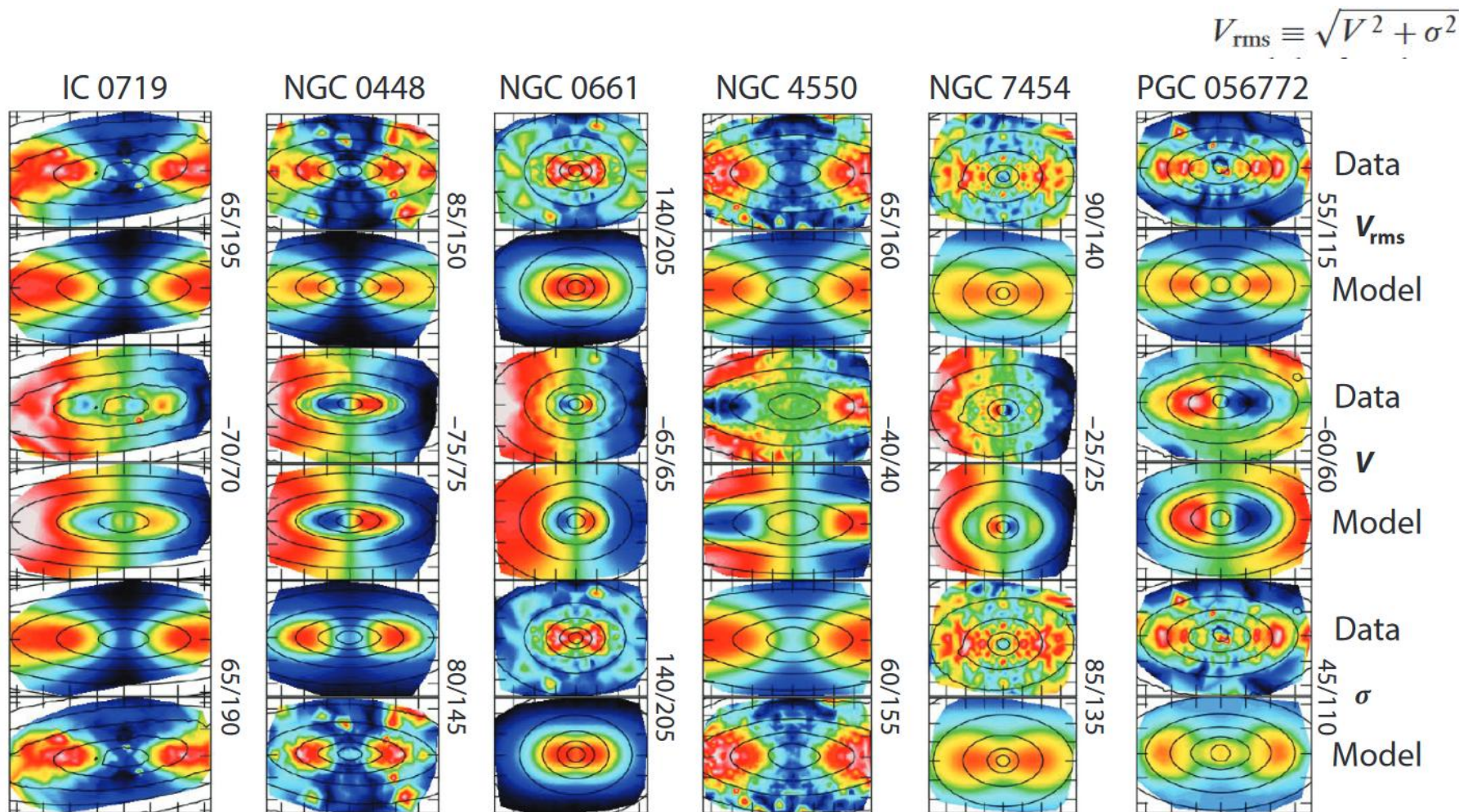
# 积分视场光谱观测

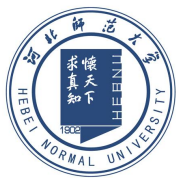




# 积分视场光谱观测

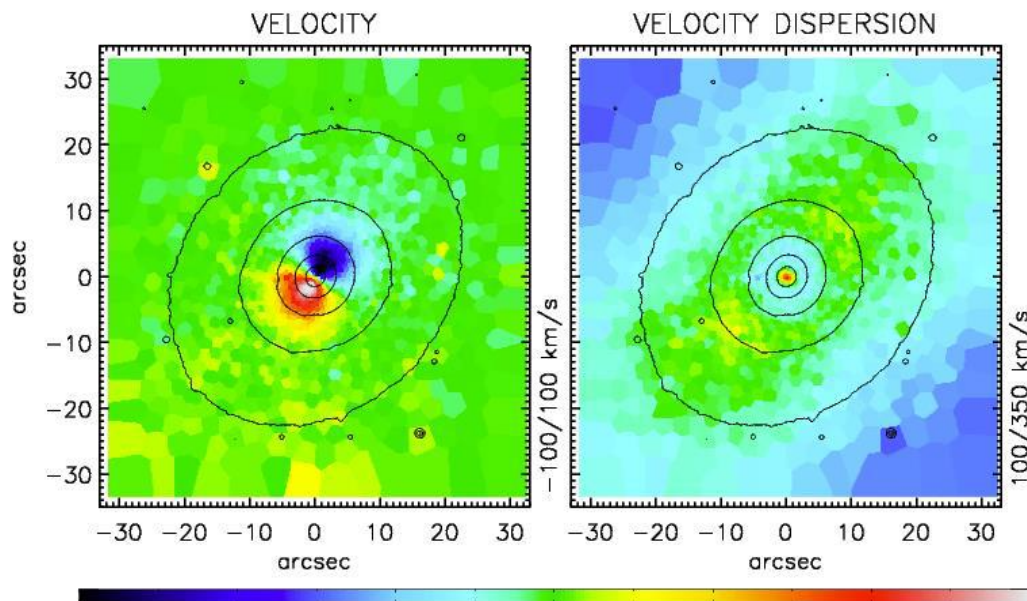
- 基于动力学模型(Jeans模型, Schwarzschild模型)对星系运动进行重构



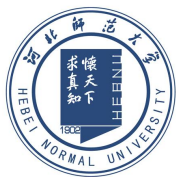


# 运动学退耦核

- ~ 25% 的椭圆星系，有一个**分离的、转动的核区** ( $\sim 1\text{kpc}$ ;  $0.1-0.3R_e$ ) : 称作运动学退耦核, **Kinematically Decoupled Cores (KDCs)**
- KDCs 特性:
  - **快速转动**:  $(V_r/\sigma) = 1 - 4.5$
  - **反相转动**: 有些KDC和星系整体的转动方向相反, 可能有不同的起源
  - **金属丰度高**: KDC的金属丰度比星系其它部分高(Mg2 line)
  - **有子结构**: 有KDC的椭圆星系, 常含有由气体和尘埃组成的子结构( $\sim 40\%$ )

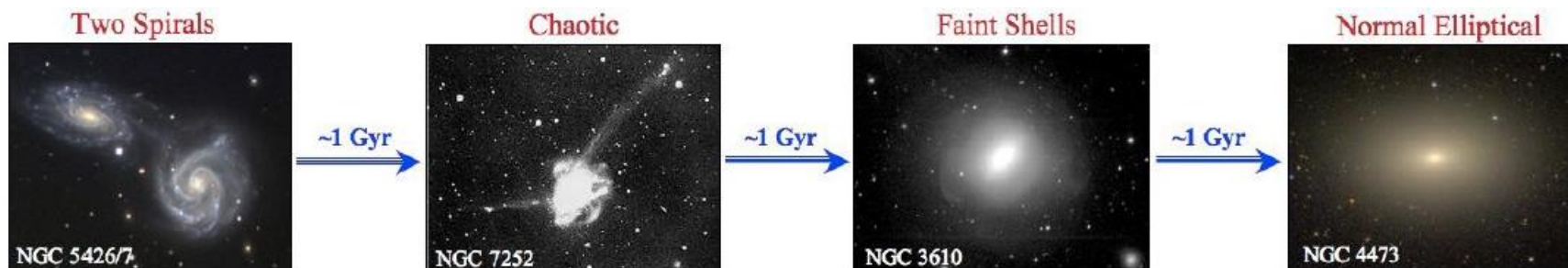




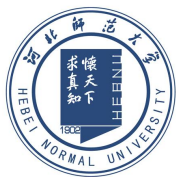


# 运动学退耦核

- KDCs are likely to be a byproduct of **dissipational tidal capture**
  - Gas and/or star system **captured**
  - Dissipation (loss of orbital energy) occurs: stellar system decays by **dynamical friction**; gas settles, losing energy by line radiation.
  - Angular momentum inherited from merger (not from host): at large radii we have random orientation (of gas/dust); at center torques/precession aligns with **minor axis**.
  - Gas disk undergoes star formation to generate a **stellar disk**. Stars age and disk becomes **photometrically** difficult to identify.
- Formation of ellipticals via single event is only **part** of story
  - **ongoing mergers/accretion** plays at least some role in construction of present-day ellipticals



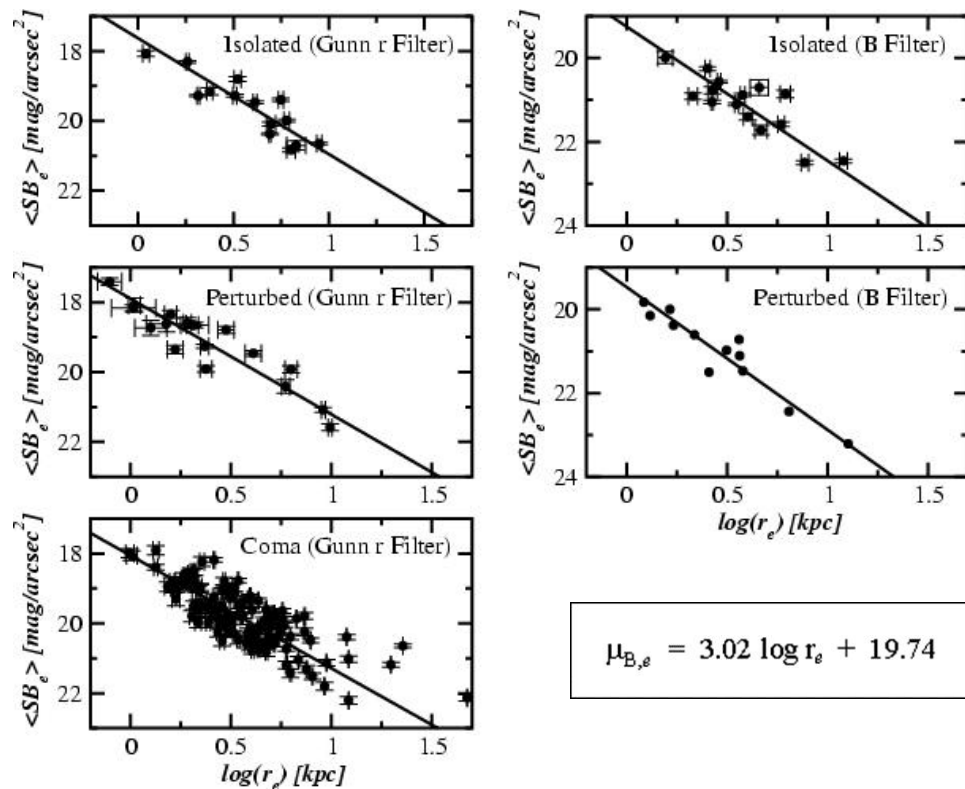


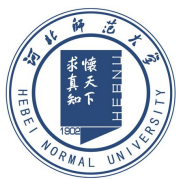


# 标度关系 I

## ➤ Kormendy Relation

- 椭圆星系越亮，中心面亮度越低
- 椭圆星系越亮，有效半径( $R_e$ )越小





# 标度关系 II

## ➤ 颜色星等关系

■ 光度越高的椭圆星系，颜色更红

