

# 椭圆星系一些动力学问题研究的进展

阮 葵

(中国科学院北京天文台)

## 提 要

近年来有关椭圆星系的观测研究结果(包括对椭圆星系个体的研究和一系列的统计工作)揭示出一些以前尚不为人们所知的性质,使得关于椭圆星系的形态、动力学状态、形成及演化过程等的研究工作逐步深化。本文介绍的有关椭圆星系的观测结果主要包括:椭圆星系表面光度的径向分布和角向分布;通过光谱观测得到的椭圆星系自转速度和速度弥散度方面的结果。这些均和椭圆星系的动力学状态有着直接的联系,并且是研究椭圆星系形成、演化的重要依据。理论工作的介绍,重点在讲述几种椭圆星系的动力学模型和三种流行的关于椭圆星系形成、演化过程的理论。

## 一、关于椭圆星系的一些观测结果及性质

### 1. 径向光度分布

绝对星等 $M_V$ 小于-15等的椭圆星系,称为亮椭圆星系,亮椭圆星系表面光度的径向分布基本遵从de Vaucouleur  $r^{1/4}$ 律<sup>[1],[2]</sup>:

$$\lg I(r)/I(r_c) = -3.33[(r/r_c)^{1/4} - 1]$$

只是在椭圆星系像的核心和最外围部份, de Vaucouleur  $r^{1/4}$ 律不能很好地描述表面光度的径向分布。

绝对星等 $M_V$ 大于-15等的椭圆星系,称为矮椭圆星系。矮椭圆星系的表面光度在半径较大处下降得很快,下降的速度比 de Vaucouleur  $r^{1/4}$ 律所描述的快得多,其表面光度的径向分布与球状星团较相似。King从动力学模型出发计算得到的含有三个参数的半经验律,可以较好地描述矮椭圆星系表面光度的径向分布。对King半经验律中的参数进行调整,便可描述 $M_V$ 小于-15等的亮椭圆星系表面光度径向分布。King的三参数半经验公式为<sup>[3]</sup>:

$$\Sigma = \Sigma_0 \left\{ \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right]^{1/2}} - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{r_t}{r_c}\right)^2\right]^{1/2}} \right\}^2$$

其中,参数 $r_t$ 为潮汐半径(tidal radius),在潮汐半径处亮度为零;

参数 $r_c$ 为核半径(core radius),在核半径处表面亮度为中心表面亮度的1/2;

参数 $\Sigma_0$ 为中心亮度。

对于矮椭圆星系,  $C \equiv \lg \frac{r_t}{r_c} = 0.75$ ; 对于亮椭圆星系,  $C \approx 2-3.5$ 。

星系的表面光度分布遵从一致的规律,表明星系经历了相似的动力学演化过程。因此,亮椭圆星系经历了相似的动力学演化过程,达到彼此相近的动力学平衡状态;矮椭圆星系也是如此。然而,亮、矮椭圆星系表面光度遵从不同的分布规律的事实,表明了它们各自经历了不同的动力学演化过程,可能有着不同的形成过程。椭圆星系光度和核半径 $r_c$ 、中心表面亮度 $\mu_{0.0}$ 之间存在的相关关系也证实了上述想法。Kormendy 发现,亮椭圆星系的上述相关特性和矮椭圆星系的上述相关特性之间存在明显的不连续<sup>[4]</sup>,如图1所示。

## 2. 角向光度分布

椭圆星系的测光结果表明,椭圆星系的视等光线(即椭圆星系投影的等强度线)是一组椭圆线。并且发现许多绝对亮的椭圆星系( $M_V \leq -21^m$ )等光线的椭率随着半径的变化而发生变化,椭率随半径变化的趋势不一,椭率随着半径的增加而变大的椭圆星系居多<sup>[5-14]</sup>。di Tullio 发现在团内的椭圆星系其椭率随半径增大而增大,场椭圆星系的椭率随半径增加而减小<sup>[15]</sup>。近期又有观测结果表明,一些 $M_V \leq -21^m$ 的亮椭圆星系的等光度线不但有椭率变化,而且等光度线主轴的位置角也随半径的变化而变化,即主轴扭曲<sup>[12], [16], [17]</sup>。从星系像的中心到 $r \sim 100''$ 的地方,位置角最大的变化量为 $70^\circ$ (NGC7626)。椭圆星系的视等光线结构见图2。

值得提出的是,观测资料的数据质量直接影响所得到的表面光度分布的置信水平。因此,在研究椭圆星系表面光度分布时,首先须研究观测资料的质量。

对椭圆星系视等光线椭率和主轴位置角变化这一观测现象的最自然的解释,也是当今流行的看法,即这些椭圆星系的等光度面(即等密度面)为互不相似的三轴椭球面,在任一个非主轴方向投影时,投影的等强度线则有椭率和主轴位置角变化<sup>[16], [18-20]</sup>。认为椭圆星系的等光度面是互不相似的三轴椭球面的假设,与传统的认为椭圆星系的等光度面为相似的旋转椭球面,其扁平是由旋转造成的概念相矛盾。下面将详细地讨论和此有关的椭圆星系形成及其成因等问题。

## 3. 椭圆星系的自转速度

自七十年代中期,很多关于椭圆星系自转的观测资料陆续发表<sup>[21-29]</sup>。观测结果表明,大多数 $M_V \leq -21^m$ 的亮椭圆星系其旋转速度的最大值比人们以过去公认的椭圆星系模型为基础得到的最大旋转速度的估计值小很多。以往被公认的椭圆星系模型具有等光度面相似、星系绕一对称轴旋转、转动动能决定星系的形状、弥散速度可各向同性也可各向异性等特性。Binney 基于上述假设,利用张量维里定理计算出椭圆星系 $v/\sigma_0 \sim e$ 的理论关系<sup>[30]</sup>( $v$ 为自转速度, $\sigma_0$ 为中心弥散速度, $e$ 为椭率),但这一理论估计和这些 $M_V \leq -21^m$ 的亮椭圆星系 $v/\sigma_0 \sim e$ 的观测结果不相符:观测结果远小于理论计算值。可见上述椭圆星系模型存在某些问题。结合光度观测中椭圆星系的等光线椭率变化和主轴位置变化的现象,可以认为,一些椭圆星系的形状(即等密度面的形状)主要不是由旋转决定,而是由弥散速度的各向异性决定<sup>[31]</sup>。只是如果星系中每点弥散速度椭球的长轴和相应点的径向平行时,椭圆星系的形状可能由旋转决定<sup>[31]</sup>。

Davies等人<sup>[29]</sup>发表的17个 $M_V \geq -20.8^m$ 椭圆星系的光谱资料表明,这些绝对光度较小的亮椭圆星系的旋转速度比那些绝对光度大的亮椭圆星系的大得多,和上面提到的Binney的理论估计值接近,并且弥散速度的径向分布表明弥散速度各向同性。Davies对旋转速度最大值和光度的关系作了统计,发现它们之间存在相关关系<sup>[29]</sup>:

$$v/\sigma_p = (0.27 \pm 0.06)(\mathcal{L}/\mathcal{L}^*)^{-0.38 \pm 0.04}$$

$$\text{其中 } 0.1 > \mathcal{L}^*/\mathcal{L} > 90.0 \quad \mathcal{L}^* = 1.1 \times 10^{10} h^{-2} \mathcal{L}_{\odot}$$

#### 4. 椭圆星系中弥散速度的分布

大多数椭圆星系的弥散速度随半径的增大而减小, 其中包括几乎所有的矮椭圆星系, 但有一部分亮椭圆星系, 尤其是星系团中大而亮的  $D_0$  星系, 它们的弥散速度随半径的增大保持不变或略有增加<sup>[21]</sup>。

在速度弥散度各向同性、质光比  $M/L$  为常数、密度  $\rho$  遵从 de Vaucouleur  $r^{1/4}$  律分布的模型下, 利用流体动力学方程, 计算得出  $\sigma(r)$  的理论结果是随  $r$  的增大而减小。这与某些椭圆星系的观测结果矛盾。若对上述模型进行修改, 改变质光比  $M/L$  为常数的假设, 而其他条件保持不变, 则在同一个星系中  $M/L$  值的变化范围为 6—80, 才能解释观测得到的弥散速度曲线。如果放弃速度弥散度各向同性的假设, 其他假设保持不变, 则理论计算值和观测值符合得较好。究竟哪种模型更接近真实情况, 还有待于其他方面的观测结果来证实。

如上面提到的, 亮椭圆星系和矮椭圆星系的弥散速度径向分布的变化趋势不同。可以认为这也是它们本质上不同的反映。亮、矮椭圆星系可能具有不同性质的质光比, 因而可能有不同的物质分布, 意味着可能经历了不同的形成过程。

## 二、椭圆星系动力学模型的研究

椭圆星系动力学模型的研究注重椭圆星系个体现今所具有的动力学平衡状态, 不考虑曾经历过哪些动力学演化过程而达到今天的动力学平衡态, 研究椭圆星系动力学状态的理想方法, 是直接求解静态无碰撞(因为椭圆星系中两体的碰撞时间远远大于 Hubble 时间, 故可认为椭圆星系为无碰撞系统)的 Boltzmann 方程:

$$\mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{x}} - \frac{\partial \phi}{\partial \mathbf{x}} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = 0$$

得到分布函数  $f(\mathbf{x}, \mathbf{v})$  的精确解。然而, 我们对求解此方程所需的关于椭圆星系的知识知之甚少, 无法直接解算。所能做的是设想一种合理的分布函数, 以此为基础建立相应的动力学模型, 将模型具有的性质和观测结果比较, 以探求椭圆星系真实的物质分布。

较早建立的模型采用轴对称势, 而最简单的轴对称系统是在分布函数为运动积分常数能量  $E$  和角动量  $J_z$  的函数的基础上建立模型。Prendergast 和 Tomer 所实现的上述简单模型的分布函数为<sup>[32]</sup>,

$$f(E, J_z) = f_1(E) \exp[\Omega J_z / \sigma^2] \quad \begin{array}{l} E < E_t \\ = 0 \quad \quad \quad E \geq E_t \end{array}$$

其中  $E_t$  为潮汐面处的能量。

此模型的旋转特性是: 旋转速度在中心部分随半径线性增加, 在向潮汐面接近时随半径的增大而减小, 到达潮汐面时旋转速度近似为零, 在潮汐面以外基本保持为一常数。速度弥散度各向同性。表面光度分布由旋转特性决定, 等光线只是在旋转速度达到最大值的半径位置上椭率较大, 在中心和潮汐面附近及以外部分等光线的椭率较小, 即形状接近于圆。

Wilson建立的轴对称模型,其分布函数也是能量和角动量的函数,形式如下<sup>[33]</sup>:

$$f(E, J_z) = f_w(E) \exp[\Omega J_z / \sigma^2 - \frac{1}{2} a^2 (\Omega J_z / \sigma^2)^2]$$

此模型各方面的性质大体上与Prendergast和Tomer模型的性质十分相近。

Bertola和Capaccioli, Illingworth证实了一些亮椭圆星系的自转速度偏小<sup>[34]</sup>。自此,上述由旋转决定形状模型便处于困境。

轴对称势系统中更进一步的模型是建立在分布函数中存在第三个运动积分 $I_3$ 的基础上,分布函数是能量 $E$ 、角动量 $J_z$ 和第三积分 $I_3$ 的函数。具体存在如下几种形式的理论分布函数<sup>[44]</sup>:

$$(i) f = f_k(E) \exp\left[\frac{\Omega L_z}{\sigma^2} - \left(\frac{I_3}{r_0 \sigma}\right)^2\right]$$

$$(ii) f = f_k(E) \exp\left[-(I_3^2 - L_z^2)/(r_0 \sigma)^2\right]$$

$$(iii) f = f_k(E) \exp\left[\frac{\Omega L_z}{\sigma^2} - (I_3 - L_z)^2/(r_0 \sigma)^2\right]$$

$$\text{其中 } f_k(E) = f_0 \left[ \exp\left(-\frac{E}{\sigma^2} - 1\right) \right]$$

与分布函数形式(i)对应的模型,其旋转速度和前述PT模型、Wilson模型的结果相似,但其弥散速度各向异性,弥散速度椭球不再是圆球形状而呈椭球形状,椭球的长轴和所在点的径向平行。这种情形下,弥散速度的各向异性并不能决定椭圆星系的形状,星系的形状可由旋转决定。这种模型也许可以用来解释那些 $M_V \geq -20.8^m$ 的亮椭圆星系的动力学状态。与分布函数形式(ii)对应的模型无旋转,因分布函数中指数项因子的值约为 $-(\mathcal{L}_z^2 + \mathcal{L}_z^2)$ 而引起此模型的平扁,其中远离赤道平面的恒星运动轨道很少。分布函数形式(iii)是在分布函数(ii)中加上了旋转项,在此基础上建立的模型即是由弥散速度的各向异性决定形状,而不是由旋转决定。

若只研究星系内部恒星的运动性质,则可利用张量维里定理建立模型。对Boltzmann方程进行乘法、积分运算便可得到张量维里定理。由此途径建立模型可不涉及分布函数的具体形式,只需了解星系内物质密度的分布。前面提及Binney计算椭圆星系旋转速度的理论值,便是利用张量维里定理建立模型。

在非轴对称势——三轴对称势系统中,找出分布函数建立模型的分析方法较为困难。不同于上述方法, Schwarzschild提出了另一种研究星系内部恒星运动、物质分布的方法<sup>[35]</sup>。Schwarzschild的做法是给定模型的密度分布(可以是轴对称的,也可非轴对称的),不预先假定第三积分 $I_3$ 的存在。利用计算机算出在给定的势场中质点的运动轨道,检验这些轨道的分布,分析这样的轨道分布是否可以产生初始假设密度所决定的势场,如果轨道分布的势场和初始势场相符,则说明模型是可稳定存在的平衡体;并同时分析质点运动轨道的性质以探查是否存在第三运动积分。Schwarzschild计算了一个三轴密度分布的模型,发现存在第三积分并证明三轴结构是一个能稳定存在的平衡态结构。

另一种研究三轴对称势系统中粒子运动、物质分布的方法是 $N$ 体模拟法。做法是给定原始星系(proto-galaxy)的初始状态,利用计算机模拟从原始星系到星系的动力学演化过程,分

析所得到的平衡态结构的可观测性质并与真正的观测结果比较, 以检验假设的初始条件的真实程度和经历的动力学过程。这一方法较多地涉及到原始星系的初始状态, 因而和星系形成过程的理论有关, 故在第三节椭圆星系形成的讨论中进行较详细的阐述。

### 三、现流行的椭圆星系形成理论和相应的 $N$ 体模拟

#### 1. 椭圆星系的分层成团(Hierarchical clustering)形成理论

这种星系形成理论认为, 宇宙早期的密度扰动是等温扰动, 从膨胀着的物质背景中分离出质量小于星系质量、密度高于背景密度的物质云, 这些物质云逐步聚集起来形成具有星系级质量的球状物质云, 因附近物质云的潮汐力矩作用球状物质云具有一定的角动量, 云中含有大量气体。以后球状物质云冷却, 伴随着物质云的塌缩, 其中的气体以很快的速度形成恒星。在塌缩的初期, 恒星的形成已基本完成, 气体含量较少。人们一般将这样一个具有角动量的恒星球作为原始星系, 原始星系再经过无耗散塌缩、剧烈的松弛(violent relaxation)——系统中能量的重新分布、恒星轨道发生变化的过程, 最后形成速率不大的动力学平衡体, 即我们所观测到的椭圆星系(忽略星系形成后的演化)。

许多数值模拟实验对从原始星系到星系的动力学演化过程进行 $N$ 体模拟, 并考察星系模型的性质<sup>[36-41]</sup>。对这一类数值模拟实验, 在代表原始星系的模型中质点为球对称均匀分布, 弥散速度各向同性, 气体含量很少或者不考虑气体的存在, 角动量的值可进行调节。数值实验的主要结果为: (a) 经动力学演化后所形成的平衡态结构具有椭圆星系的径向光度分布特性; (b) 在一定范围内旋转动能决定最后平衡系统的形状, 初始时的角动量越大最后的形状越扁。但如果初始时的角动量很大, 最后的平衡结构并不是一个很扁的椭球, 而是呈一旋转的棒状体; (c) 弥散速度在较中心部分各向同性, 但在外围部分各向异性。总体上, 模型旋转性质和Binney的理论计算结果基本一致。最近的模拟实验正逐步加入原始星系中气体的影响。这一模型在解释一些亮椭圆星系自转速度很小的现象时遇到困难。

另一类模拟实验, 假设原始星系基本由气体组成, 塌缩过程中伴随着能量耗散、气体压力的存在及恒星的形成。Larson、Carberg进行了上述模拟实验<sup>[42], [43]</sup>。结果表明, 耗散和气体压力的存在使最后的平衡态结构的性质对原始星系的初始状态不太敏感。经历上述演化的气体模型, 形成具有类似于椭圆星系的表面光度径向分布、质光比和弥散速度各向异性分布的平衡态结构。此模型对旋转性质未作详细的讨论。

#### 2. 椭圆星系的薄饼(Pancake)形成理论

pancake理论认为, 宇宙早期的密度扰动是绝热扰动, 从膨胀着的物质背景中分离出质量远大于星系质量、高于背景密度的物质云, 云中含有大量气体, 这些物质云呈薄饼状(pancake)或长椭球状(prolate)结构<sup>[44], [45]</sup>。以后这些大质量的物质云在有耗散塌缩、恒星形成的同时发生碎裂, 碎裂成质量为星系质量级的物质团, 它们保留了大质量物质云那形状扁平的特征, 即它们的形状也呈pancake状, 且具有很小的角动量。此时这些物质团碎块中恒星的形成过程已基本完成, 气体含量较小。具有上述特性的物质团碎块即被认为是椭圆星系pancake形成理论中的原始星系。原始星系经过剧烈松弛, 达到今日存在着的平衡结构——椭圆星系。

这种形成理论由Binney首先提出<sup>[31]</sup>。

在利用计算机模拟星系的动力学演化的数值实验中，通常假设原始星系呈三轴结构，弥散速度各向同性，自转速度较小或者没有自转，处于宏观维里平衡<sup>[46]</sup>。此模型经历无耗散的动力学演化，达到稳定的细致平衡状态。考察演化后的模型，发现尽管经历了剧烈的松弛过程，初始状态上的各向异性仍明显地反映在终态的平衡结构中。终态平衡结构中弥散速度各向异性，形状为三轴椭球，旋转速度较小，表面光度分布相近于椭圆星系。可以认为此模型较成功地描写了一些亮椭圆星系，模拟结果揭示出这些亮椭圆星系由速度弥散度的各向异性决定形状，而旋转并不具有动力学重要性。可是，这一模型还无法解释 $M_V \gtrsim -20.8^m$ 的亮椭圆星系的旋转性质，无法解释光度和旋转速度之间存在的相关关系。为此，还需要对这一类椭圆星系进行认真的光度观测和数值模拟研究。

### 3. 椭圆星系的吞并(merger)形成理论

直到最近才有计算结果表明，物质云之间、星系之间的吞并可能在星系的演化过程中起着重要作用<sup>[47]</sup>，计算得到的吞并遗迹的数量和NGC表中椭圆星系的数目基本吻合的事实、对盘状星系形成过程圆满的的解释以及盘状星系之间的吞并导致恒星球的形成的猜想，均启发人们提出了椭圆星系的吞并形成机制<sup>[48], [49]</sup>。这种想法得到了一些观测事实的支持。NGC 7252中的长尾明显地表明它是吞并后的遗迹，而其表面光度分布和椭圆星系的表面光度分布十分相似<sup>[50], [51]</sup>；Malin和Carter发现一些椭圆星系存在壳层结构<sup>[52]</sup>，用冷云和盘状星系间的吞并可以解释这种现象<sup>[53], [54]</sup>。

盘状星系相互吞并的 $N$ 体模拟实验结果表明<sup>[46, 55-57]</sup>，吞并后形成的物体具有椭圆星系的光度分布特征和较慢的旋转速度；吞并的次数越多，吞并遗迹的质量越大，其旋转速度越小。

这一结果恰好和椭圆星系光度与旋转速度的相关关系相吻合。数值模拟结果还可在一定的程度上解释椭圆星系多数分布在团内的空间分布性质<sup>[47]</sup>。但是椭圆星系的吞并形成机制在现阶段还很不完善。在现有的数值实验中，均假定盘状星系之间的吞并是无气体能量耗散的过程，这和盘状旋涡星系中存在大

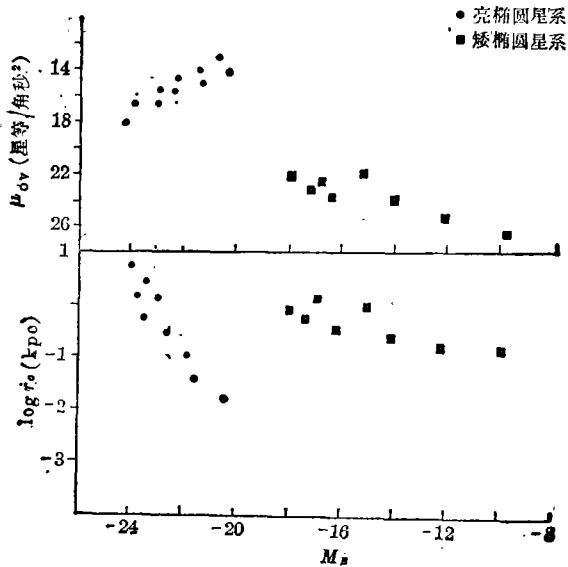


图 1. 椭圆星系的绝对星等和核半径  $r_0$ 、中心表面亮度  $\mu_{0V}$  的关系。

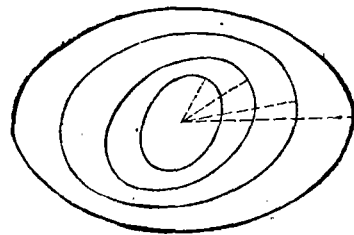


图 2. 椭圆星系的视等光线近似为椭圆。某些椭圆星系的视等光线有椭圆率变化，且等光线的主轴方向也有变化。

量气体的事实有明显的出入。模拟实验的某些结果还不能和椭圆星系的观测性质相符, 其中显著的是在自转速度为300(公里/秒)的两个盘状系统吞并后形成的类椭圆星系系统中, 其弥散速度远远小于椭圆星系中所观测到的恒星弥散速度值。

## 四、小 结

本文主要介绍了椭圆星系一些与动力学性质有关的观测结果、理论模型和各种形成理论, 没有涉及星系中恒星的形成演化、物理活动等性质。当今关于椭圆星系的研究多是注重于星系各体的性质和形成演化。可是, 像椭圆星系在空间的分布这类集体性质会给椭圆星系的形成理论提供重要线索。对椭圆星系真实的物理学状态、动力学状态的了解, 需要大量可靠的观测资料, 并需开展统计性质的研究和相应的理论工作。

## 参 考 文 献

- [1] de Vaucouleur, G., *Ann d' Ap.*, 11(1948), 247.
- [2] de Vaucouleur, G. and Capaccioli, M., *Ap. J. Suppl.*, 40 (1979), 699.
- [3] King, I. R., *A. J.*, 71 (1966), 64.
- [4] Kormendy, J., *Ap. J.*, 295 (1985), 73.
- [5] Evans, D. S., *MNRAS.*, 111 (1951), 526.
- [6] Liller, M. H., *Ap. J.*, 132 (1960), 306.
- [7] Liller, M. H., *Ap. J.*, 146 (1966), 28.
- [8] Carter, D., *MNRAS*, 182 (1978), 797.
- [9] King, I. R., *Ap. J.*, 221 (1978), 1.
- [10] Strom, K. M. and Strom, S. E., *A. J.*, 83 (1978), 73.
- [11] Strom, K. M. and Strom, S. E., *A. J.*, 83 (1978), 732.
- [12] William, T. B. and Schwarzschild, M., *Ap. J.*, 227 (1978), 56.
- [13] Bertola, F. and Capaccioli, M., *Ap. J.*, 200 (1975), 439.
- [14] Barbon, R.; Benacchio, L. and Capaccioli, M., *A. Ap.*, 51 (1976), 25.
- [15] di Tullio, G., *A. Ap.*, 62 (1978), L17.
- [16] Bennachio, L. and Galletta, G., *MNRAS*, 193 (1980),
- [17] Galletta, G., *A. Ap.*, 81 (1980), 179.
- [18] Galletta, G., *Ap. and Space Sci.*, 92 (1983), 335.
- [19] Galletta, G., *Ap. and Space Sci.*, 103 (1984), 39.
- [20] Merritt, D., *A. J.*, 87 (1982), 1279.
- [21] Illingworth, G., *IAU Symp.*, No. 100, p257, (1982).
- [22] Illingworth, G., *Ap. J.*, 218 (1977), L43.
- [23] Petersen, C. J., *Ap. J.*, 222 (1978), 84.
- [24] Davies, R. L., Ph. D. thesis, University of Cambridge.
- [25] Schechter, R. L. and Gunn, J., *Ap. J.*, 229 (1979), 472.
- [26] Williams, T. B., *Ap. J.*, 244 (1981), 458.
- [27] Young, P. J. et al., *Ap. J.*, 222 (1978), 456.
- [28] Efstathiou, G., Ellis, R. S. and Carter, D., *MNRAS*, 193 (1980), 931.

- [29] Davies, R. L. et al., *Ap. J.*, 266(1983), 41.  
 [30] Binney, J., *MNRAS*, 183 (1982), 501.  
 [31] Binney, J., *MNRAS*, 177 (1976), 19.  
 [32] Prendergast, K. H. and Tomer, E., *A. J.*, 75 (1970), 674.  
 [33] Wilson, C. P., *A. J.*, 80 (1975), 175.  
 [34] Bertola, F. and Galletta, G., *A. Ap.*, 77 (1979), 363.  
 [35] Schwarzschild, M., *Ap. J.*, 252 (1982), 236.  
 [36] Gott, J. R., *Ap. J.*, 186 (1973), 481.  
 [37] Gott, J. R. and Thuan, T. X., *Ap. J.*, 204 (1976), 649.  
 [38] Miller, R. H., *Ap. J.*, 223 (1978), 122.  
 [39] Miller, R. H. and Smith, B. F., *Ap. J.*, 227 (1979), 407.  
 [40] Hohl, F. and Zang, T. A., *A. J.*, 84 (1979), 585.  
 [41] van Albada, T. S., *MNRAS*, 201 (1982), 939.  
 [42] Larson, R. B., *IAU Symp.* No. 58, p191, (1973).  
 [43] Carberg, R. G., *Ap. J.*, 286 (1985), 73.  
 [44] Sunyaev, R. A. and Zeldovich, Y. B., *A. Ap.*, 20 (1972), 189.  
 [45] Lin, C. C. et al., *Ap. J.*, 142 (1965), 1431.  
 [46] Aarseth, S. J. and Fall, S. M., *Ap. J.*, 236 (1980), 43.  
 [47] Silk, J. and Efstathiou, G., *Fundamentals of Cosmic Physics*, 19 (1985), No. 1, 84.  
 [48] Villumsen, J. V., *MNRAS*, 199 (1982), 493.  
 [49] Toomre, A. and Toomre, J., *Ap. J.*, 178 (1972), 623.  
 [50] Schweizer, F., *Ap. J.*, 252 (1982), 455.  
 [51] Schweizer, F., *IAU Symp.*, No. 100, p319, (1983).  
 [52] Malin, D. F. and Carter, D., *Nature*, 285 (1980), 643.  
 [53] Quinn, P. J., Ph. D. thesis (1982), Australian National University.  
 [54] Quinn, P. J., *IAU Symp.*, No. 100, (1983).  
 [55] Jones, B. J. T. and Efstathiou, G., *MNRAS*, 189 (1979), 27.  
 [56] Roos, N., *A. A.*, 95 (1981), 349.  
 [57] Findlay, D., Ph. D. thesis (1983), University of Cambridge.

(责任编辑 林一梅)

## Review on the Research in Dynamics of Elliptical Galaxy

Ruan Kui

(Beijing Astronomical Observatory, Academia Sinica)

### Abstract

Recent observations on elliptical galaxies have revealed their many surprising properties, which are advancing the research in morphology, dynamical state, formation and evolution of elliptical galaxies. Elliptical galaxies' surface brightness distribution, rotating velocity and velocity dispersion, which all reflect the dynamical state of elliptical galaxies introduced in this paper. Some dynamical models and current theories on the formation and evolution of elliptical galaxies have also been discussed.