

Studies of the convex radial profiles of galactic disks

Tsvetan B. Georgiev

Institute of Astronomy and Rozhen NAO, Bulgarian Academy of Sciences

tsgeorg@astro.bas.bg

(Conference talk)

Abstract. Investigations of galaxy brightness profiles with applying of convex model of the disk profile as more adequate than the Freeman's flat model, are summarized. Decomposition method in the spirit of Kormendy, where both bulge and disk profiles are fitted by the Sersic's formula, is developed. The method is applied on 7 systems of published galaxy profiles, comprising about 110 moderately inclined galaxies and about 150 edge-on galaxies. Typical examples of decompositions, revealed concave bulge profiles and convex disk profiles, are given in Fig.1. The results of the decompositions are used for searching for dependences between the shape of the disk profile and other galaxy parameters. The known anticorrelation between the morphology type of the galaxy and the concavity of its bulge profile is reproduced as test for the method. This report emphasizes mainly on the anticorrelation between the morphology type (or the mass) of the galaxy and the convexity of its disk profile, which was found firstly in the refereed studies. This means that along the Hubble sequence the disk radial profile changes its shape from convex toward flat. Chosen examples of the mentioned anticorrelations in the cases of nearby galaxies and edge-on galaxies are shown in Fig.2 and Fig.3, respectively. Illustrations of the behavior of the disk profile shape from light toward heavy disks are shown in Fig.4.

Key words: galaxies - structure; galaxies - fundamental parameters

Изследвания на изпъкнали радиални профили на галактични дискове

Цветан Б. Георгиев

Обобщени са изследвания на галактични яркостни профили с използване на изпъкнал модел на дисковия профил като по-адекватен от плоския модел на Фриймън. Разработен е метод за декомпозиция на галактичен профил в духа на Корменди, при който профилите на балджа и диска се фитират по формулата на Серсик. Методът е приложен върху 7 системи от публикувани профили, обхващащи около 110 промеждутъчно наклонени галактики и около 150 галактики, видими ребром. На Фиг.1 са представени типични случаи на декомпозиции, изявили вдлъбнати балджови профили и изпъкнали дискови профили. Резултатите от декомпозициите са използвани главно за търсене на зависимости между формата на дисковия профил и други параметри на галактиката. Известната антикорелация между морфологичния тип на галактиката и вдлъбнатостта на балджовия ѝ профил е възпроизведена като тест за методиката. Този доклад акцентира главно върху антикорелацията между морфологичния тип (или масата) на галактиката и изпъкналостта на дисковия ѝ профил, която е намерена за първи път в разглежданите тук изследвания. Това означава, че по Хъббловата последователност радиалните профили на дисковете изменят формата си от изпъкнала към плоска. Избрани примери на отбелязаните антикорелации за случаите на близки галактики и на галактики видими ребром са показани съответно на Фиг.2 и Фиг.3. Илюстрации на поведението на формата на дисковия профил от леки към тежки дискове са показани на Фиг.4.

Увод

Моделиранията на яркостните профили на балджовете и дисковете при спиралните галактики целят определяния на стойности на малък брой добре дефинирани фотометрични параметри, които да бъдат използвани за количествено описание на хъббловата последователност, за сравнения между наблюденията и теорията, за калибриране на методи за определяне на разстояния и др. Фотометричните параметри характеризират светимостите, размерите и формите на галактиките и техните компоненти. Много десетилетия след откриването на галактиките проблемът с моделите на балджовете и дисковите профили, както и с минимално достатъчните и лесно определяеми фотометрични параметри, продължава да бъде сериозен (вж. напр. MacArthur & Courteau 2003, Allen et al. 2006 и цит. изт.)

Истинската форма на радиалния профил на диска се моделира трудно, защото в централната част на галактиката доминира светенето на балджа, а в периферията -

светенето на фона на небето. Затова след класическите фотографически изследвания, особено след работата на Freeman (1970), се приема, че типичният дисков радиален профил е плосък, т.е. линейно-намаляващ в магнитудно представяне или експоненциално-намаляващ в интензитетно представяне.

Обаче, в мнозинството радиални профили на спирални галактики, вкл. и в повечето от профилите в класическите работи, се виждат изпъкнали дискови профили (вж. колекциите от профили в Georgiev 2005ab и Georgiev et al. 2005). Въпреки това, плоският модел продължава да се използва масово като “стандартен” в практиката (вж. напр. MacArthur & Courteau 2003, Allen et al. 2006 и цит. изт.) и в теорията (вж. Mo et al. 1998, van den Bosch 2001 и цит. изт.).

Все пак, теоретични съображения относно възможна изпъкнала форма на дисковия профил съществуват отдавна. В периферната част на диска, при падане на плътността на междувездушната среда под някакъв критичен минимум, активността на звездообразуването, а оттам и яркостта на диска, би следвало рязко да намаляват. Освен това, изпъкнал и даже пръстеновиден дисков профил би следвало да се наблюдава, ако активното звездообразуване в диска е било съсредоточено в относително къс интервал от време (Yoshii & Sommer-Larsen 1989). Следователно, въвеждането в употреба на изпъкнал модел, съответстващ на типичния наблюдаем дисков профил, би разширило възможностите за наблюдателно и теоретично изследване на строежа и еволюцията на галактичните дискове. В този доклад са представени първите стъпки в това направление.

1 Модели и проблеми

Обикновено изследванията на структурите на галактиките се базират върху декомпозирането на техните профили на балджови и дискови компоненти. При тази процедура се решава некоректна обратна задача, при която малки изменения във входните данни (напр. шум) предизвикват големи изменения в резултата. При това неопределеността на резултата се увеличава и с увеличаване на броя на определяемите параметри. От тази гледна точка едномерната декомпозиция има предимство пред двумерната, която пък е привлекателна с това, че се прилага направо върху кадъра на галактиката. През последните десетилетия едномерната декомпозиция е прилагана десетки хиляди пъти, а само напр. в работата на Allen et al. (2006) - 10 095 пъти.

В класическите фотометрични изследвания на галактики профилите на балджа и диска са моделирани съответно чрез “1/4 модел” (de Vaucouleurs 1959) и “плосък модел” (Freeman 1970). Чрез този подход Simien & de Vaucouleurs (1986) са изявили количествено намаляването на отношението на светимостта на балджа и диска на галактиките от ранните към късните типове. По-късно е било разбрано, че “1/4 моделът”, който описва силно вдлъбнат профил с висока централна яркост и обширна периферия, е резонен само при гигантските елиптични галактики. За другите елипсоидални звездни системи, при които яркостните профили имат различна вдлъбнатост, е бил възприет по-гъвкавият модел на Серсик (Sersic 1968, вж. по-долу). В резултат на този подход е намерено, че с намаляването на масата на елиптичната галактика или балджа на спиралната галактика, яркостният профил на системата става все по-компактен, т.е. все по-малко вдлъбнат, след това плосък, а при най-леките елипсоидални системи - изпъкнал (Andredakis, Peletier & Balcells 1995, Binggeli & Jerijen 1998, Graham 2001). За профилите на дисковете аналогична важна корелация е намерена за първи път в описваните тук изследвания.

Плоският дисков модел противоречи на наблюденията поне в три важни аспекта. Първо, докато плоският модел предсказва винаги централен пик на яркостта, дисковите профили при галактиките от ранни типове често имат централни депресии, моделирани за първи път от Kormendy (1977) и наблюдавани в 1/3 от всички специално изследвани случаи (Anderson et al. 2004 и цит. изт.). Второ, докато плоският модел описва бекрайно радиално намаляване на яркостта, с постоянен

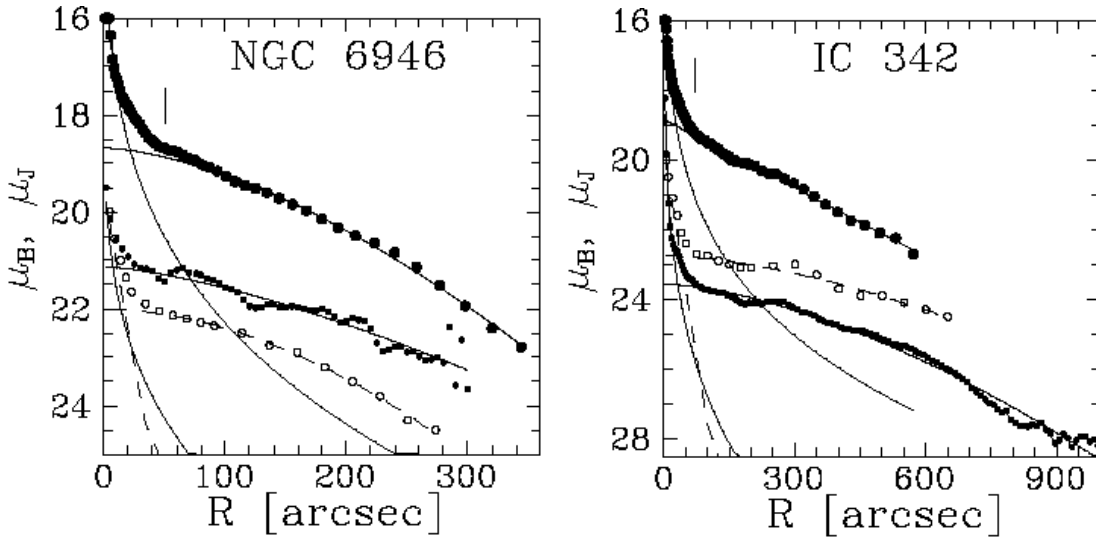
градиент, външните части на дисковите профили по правило изглеждат обрязани, т.е. силно отклоняващи се надолу от плоския модел (van der Kruit & Searle 1981, Pohlen et al. 2002, Pohlen et al. 2004 и цит. изт.). Трето, дисковите мащабни фактори (отразяващи пряко средните градиенти на дисковите яркости), определени от различни автори, се отличават до около два пъти (Knäuper & van der Kruit 1991). При това липсва завидимост между мащабния фактор (т.е. градиента на яркостта) и морфологичния тип (или масата) на галактиката (van der Kruit, 2002). Последните два факта показват, че плоският модел не върши работа дори за определяне на градиента на яркостта за средната, най-добре наблюдаема част на диска.

Поради указаните съображения в проведените изследвания изначално бе заложен експоненциално-степенен модел - както за балджовия, така и за дисковия профил (Georgiev 2005a). Моделът се дава чрез формулата на Sersic (1968) $I_R = I_0 \exp(R/H)^N$, която в магнитудно представяне има вида $\mu_R = \mu_0 + C R^N$. Трите свободни параметъра на модела са централната яркост $\mu_0 = -2.5 \log I_0$, мащабният фактор $H = (1.0857/C)^{1/N}$ и експоненциално-степенният показател N . При магнитудно представяне случаите $N < 1$, $N = 1$ и $N > 1$ съответстват удобно на вдлъбнат, плосък и изпъкнал профил. Специалните случаи $N = 1/4$ и $N = 2$ съответстват на „1/4 модел“ и на Гаусиан (който при магнитудно представяне е парабола). Прилагането на модела на Серсик и за балджа и за диска налага определяне на 6 свободни параметъра, докато при използване на плосък модел за диска ($N_d = 1$) параметрите са общо 5. В класическите работи (вж. напр. de Vaucouleurs & Simien 1986) при „1/4 модел“ за балджа ($N_b = 1/4$) и плосък модел за диска, определяемите параметри са 4.

Изследванията, които се разглеждат по-долу, са извършени чрез едномерни декомпозиции на профили на галактики в духа на итеративния метод на Kormendy (1977), с помощта на специално разработена С-програма. Програмата обикновено извява вдлъбнати балджови профили и изпъкнали дискови профили, като при галактиките от най-късните типове и двата профила са приблизително плоски. Както при Kormendy (1977), при декомпозирането не е предвидено извяване на трети компонент на галактиката (напр. бар), но е предвидено присъствие на диск с пръстеновидна форма. Последната опция, която се реализира чрез включване в модела на Серсик на втори терм от вида $C_2 R^{2N}$, е прилагана само пробно (Georgiev 2005b, Georgiev & Stanchev 2005b).

На Фиг.1 са дадени примерни декомпозиции на радиални профили на галактиките NGC 6946 и IC 342 от типове Sc и Scd, с абсолютни В-звездни величини -20.9 mag и -20.6 mag. Използвани са данни в J-лъчи от обзора 2MASS (Jarret et al. 2003) и по два различни набора данни в В-лъчи. При NGC 6946 В-данните са от Kim & Chun (1984) (точки) и Walsh et al. (2002) (кръгчета). Втората система данни е с неизвестен яркостен нул-пункт и е изобразена изкуствено с 2 mag по-високо. При IC 342 В-данните са от Buta & McCall (1999) (точки) и от White & Bothum (2003) (кръгчета). Вертикалното отместване от около 1 mag между тези данни може да се обясни с разлика в използваните фотометрични нул-пунктове, а също и с ефект от различната разделителна способност на наблюденията - във втория случай, при ниско разрешение, множество фонове звезди вероятно не са били отстранени и затова яркостта на профила е като цяло по-висока.

На Фиг.1 се вижда още, че при NGC 6946 не са намерени за съпоставяне достатъчно обхватни и дълбоки профили в В-лъчи, а при IC 342 дълбокият профил в В-лъчи от Buta & McCall (1999) показва, че и профилите от 2MASS, с типична граница 23 mag/arcsec², не могат да се смятат за достатъчно дълбоки. Въпреки това, оптималните дискови профили във всички случаи се оказват изпъкнали. Вижда се също така, според очакванията, че в J-лъчи, в сравнение с В-лъчи, балжовите показват по-високи яркости и по-широки периферии, а дисковете - по-големи радиални градиенти на яркостта и по-малки изпъкналости.



Фиг. 1. Декомпозиции на профили на галактиките NGC 6946 и IC 342. Горните профили, представени с големи точки, съответстват на данни в J-лъчи от обзора 2MASS. Малките точки и кръгчета съответстват на данни в B-лъчи от различни източници. Късите вертикални линии показват оптималните за декомпозицията радиуси, отделящи условно балдж-доминираната от диск-доминираната части на профила. Намерените модели на балджовете и дисковете са представени с криви.

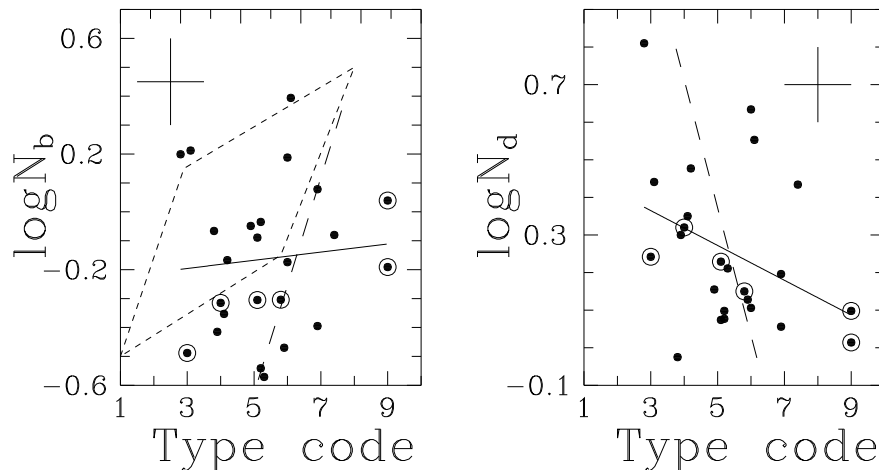
2 Изпъкналите дискови профили при елитни галактики

Знанията за галактиките и Вселената се основават до голяма степен върху резултатите от изучаването на най-близките галактики M 31, M 33, LMC и SMC. Затова описваните изследвания започнаха с анализ на 20 публикувани профили на тези галактики, плюс един профил на модел на Млечния път (MW) и един профил на ярката спирали M 83 (Georgiev 2005a). Визуалното съпоставяне на профилите показва тенденции в измененията на балджовите и дисковите профили в зависимост морфологичния тип (или масата) на галактиката, които бяха потвърдени от резултатите на декомпозициите. Видя се, в съгласие с Andredakis et al. (1995), че от ранните към късните спирали балджовият профил става все по-малко вдълбнат, клонейки към плосък. Новият резултат бе, че същевременно дисковият профил става все по-малко изпъкнал, клонейки към плосък. При M 31 дисковият профил е почти парабола, а при LMC и SMC е приблизително права. Нагледно представяне на тази тенденция е дадено на Фиг.4, в ляво. Освен това бе установено, че наблюдаемата изпъкналост на дисковия профил леко намалява с увеличаване на дължината на вълната на наблюдението.

Изследванията на разнородни по условията на получаването си профили на най-близките галактики показват, че сравнително най-уверено се определят параметрите на формите на профилите - $\log N_b$, $\log N_d$ и $\log N_d/N_b$. Оценките на горните граници на стандартните грешки на тези параметри са съответно 0.15, 0.10 и 0.20. Други важни параметри, зависещи по-силно от фотометричната система, са централната яркост на диска, разликата между звездните величини на диска и балджа (или логаритъмът на отношението на светимостите на балджа и диска) и логаритъмът на отношението на мащабните фактори на диска и балджа. Оценките на горните граници на съответните наблюдателни грешки са 0.3 mag, 0.5 mag (или 0.2) и 0.6 (Georgiev 2005a и цитираните по-долу следващи работи).

Трябва да се отбележи, че всички споменати по-горе фотометрични параметри не зависят от разстоянието до галактиката. Те биха могли да се използват като индикатори за морфологичния тип и/или за гигантизма на галактиката в многомерни варианти на зависимостта на Тули-Фишер.

В следващото изследване на Georgiev et al. (2005) бяха декомпозирани 28 сравнително дълбоки и подробни профили на близки галактики. Профилите са главно фотографически, понеже все още липсват дълбоки и обхватни CCD наблюдения на големите по ъглови размери близки галактики. Целта бе да се търсят корелации между изпъкналостта на дисковия профил и други параметри на галактиката. Най-нажните резултати са показани на Фиг.2. Тук са използвани данните за 24 галактики, а в работата на Georgiev et al. (2005) - само за 20 галактики.



Фиг. 2. Антикореции между морфологичния тип на галактиката и вдлъбнатостта на балджа (в ляво) или изпъкналостта на диска (в дясно) по профили на близки галактики (по Georgiev et al. 2005). Плътните и прекъснати линии представят правите и обратни регресии, а кръстовете - оценките на стандартните отклонения. Ромбът показва приблизителното разположение на данните при Andreakis et al (1995). Кръгчетата отбелязват галактиките (от ляво на дясно) M 31, MW, M 83, M 33, LMC, SMC, чиито дискови профили са съпоставени на Фиг. 4, в ляво.

В лявата част на Фиг.2 е показана антикорелацията, известна от Andreakis et al (1995), която тук е изявена слабо. В дясната част на Фиг.2 антикорелацията между изпъкналостта на дисковия профил и морфологичния тип се вижда по-добре. Трябва да се отбележи, че параметрите на балжовия профил, моделиран тук и при Andreakis et al. (1995) по формулата на Серсик, зависят от модела на диска. В обсъжданите изследвания е търсен оптимален изпъкнал вместо оптимален плосък дисков профил, поради което съответният наш оптимален балджов модел е по-вдлъбнат отколкото при Andreakis et al. (1995). Затова на Фиг.2, в ляво, точките на Georgiev et al. (2005) са разположени средно по-ниско от тези на Andreakis et al. (1995).

В същата работа (Georgiev et al. 2005) четири много дълбоки профили на галактики бяха използвани за оценяване на влиянието на дълбочината на наблюдението върху стойността на параметъра N_d , характеризиращ формата на дисковия профил. Намерено бе, че за неподценяване на изпъкналостта на дисковия профил дълбочините на наблюденията във B,V, R, I, J, H и K лъчи би трябвало да бъдат съответно около 27.5, 26.5, 26, 25.5, 25, 24.5 и 24 mag/arcsec². За съжаление, болшин-

ството от профилите, изследвани в дискутираните работи, не удовлетворяват този критерий.

Дипломната работа на Yankulov (2005) бе базирана на 2MASS профили в J-лъчи на 31 спирални галактики, отбрани от елитните 100 галактики на Jarret et al. (2003). Типовете на галактиките са от Sa до Sd, наклоните са от 20^0 до 70^0 , амплитудите на кривите на въртене са от 200 до 700 km/s, а J-абсолютните звездни величини - от -22 до -25 mag. Антикорецията за балджовете бе потвърдена както на Фиг.2, в ляво, но антикорелацията за дисковете, като тази на Фиг.2, вдясно, остана неизяснена. Все пак, получените параметри участваха в очаквани корелации, като например намаляване на отношението на светимостите на диска и балджа към късните типове галактики, както при Simien & de Vaucouleurs (1986). На базата на данните за дисковете на галактиките от Yankulov (2005) в работата на Stanchev et al. (2007) бяха построени за първи път фундаментални равнини за спиралните галактики в J-лъчи. Коефициентите на равнините са близки до тези, получени от други автори в I-лъчи и разбросът на данните е неголям.

Дипломната работа на Deshev (2006) бе базирана на профили в системите g и r на 30 произволно избрани галактики с ниска повърхностна яркост от обзора SDSS, както и на B и R-профили на 12 такива галактики, взети от работата на Romanishin et al. (1983). Анализът на данните от първата извадка показва, че помасивните дискове, имат средно взето по-изпъкнали дискови профили, близки до параболи (Dehsev et al. 2006). Втората извадка, съдържаща по-дълбоки и по-подробни профили показва също, че изпъкналостта на дисковия профил корелира със светимостта на галактиката и с отношението на мащабните фактори на диска и балджа (Dehsev et al. 2007).

3 Изпъкналите дискови профили при галактики видими ребром

В сравнение с видимостта анфас, видимостта в профил (ребром) на една дисково-доминирана галактика води до леко понижаване на интегралната светимост, до малко увеличаване на размера и до увеличаване на средната повърхностната яркост с над 1 mag/arcsec². Заедно с това градиентът на повърхностната яркост в периферийните части на изображението на галактиката нараства, следователно всички фотометрични параметри стават по принцип по-точно определяеми. Освен това, при вид в профил амплитудата на кривата на въртене и ширината на линията на неутралния водород HI на галактиката са най-добре наблюдаеми, без да има нужда от корекция за наклон на галактиката към лъча на зрението. Затова светимостите на галактиките видими в профил (ребром) са много добри индикатори на разстояние (Stanchev et al. 2004ab).

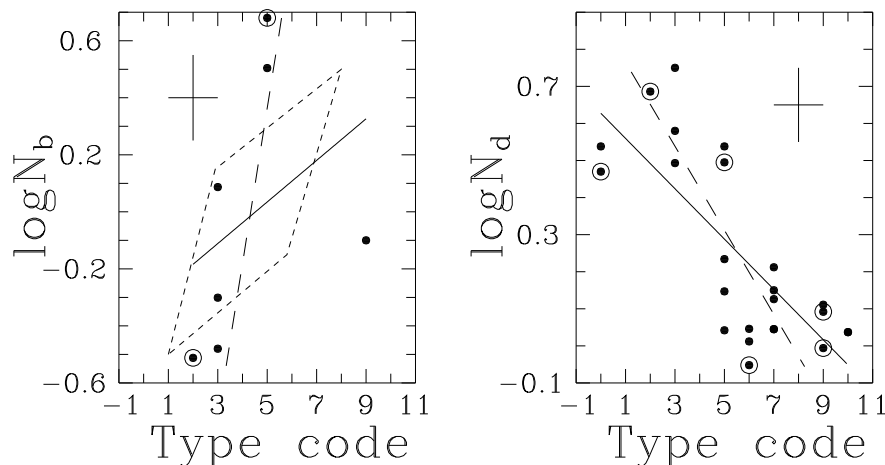
Когато един тънък галактичен диск с плосък радиален профил ($N_d = 1$) се наблюдава ребром, поради интегрирането на източниците на лъчение по зрителния лъч профилът на голямата полуос на наблюдаемото изображение става леко изпъкнал. Когато дискът има изпъкнал радиален профил ($N > 1$) и се наблюдава ребром, профилът по голямата ос също става малко по-изпъкнал, като този ефект намалява с приближаването към $N_d = 2$. Когато тънкия диск има точно гаусов радиален профил ($N = 2$) и се наблюдава ребром, профилът на голямата полуос на изображението е пак гаусов, но с други параметри. Във всички споменати случаи наблюдаемият изпъкнал профил на голямата ос на изображението на галактиката може да се моделира с формула на Серсик. Накрая, когато един диск има пръстен-новидна форма и се наблюдава ребром, профилът на голямата полуос следва има централно плато или дори депресия. В такъв случай може да се използва формула на Серсик с включен терм от втори порядък.

Изследванията на галактики видими ребром започнаха с извличане на 119 профили в R-лъчи от атласа на Karachentsev et al. (1992) и събиране на множество такива профили от други източници. Оказа се, че повече от 4/5 от събраните над 200 профила показват добре изявени изпъкнали форми (Stanchev et al., 2002).

Профилите на големите оси на 119-те галактики бяха декомпозирани и бе намерено, че изпъкналостта на дисковия профил корелира със светимостта на галактиката. Бе намерено също така, че дисковите профили на галактиките с изявени балджове са по-силно изпъкнали и клонят да имат централни плато (Georgiev & Stanchev et al. 2005b).

По-късно по същия начин в работата на Georgiev & Stanchev (2005a) бяха обработени 24 дълбоки и подробни профили в В-лъчи на близки галактики видими ребром. Бе намерено, че масивните дискове, характерни за галактиките от ранни типове, показват силно изпъкнали профили, докато профилите на маломасивните дискове са слабо изпъкнали. Така резултатите от изследванията, особено относно изпъкналите профили на дисковете, описани в Раздел 2, бяха ясно потвърдени. На Фиг.3 са показани съответните резултати, аналогични на резултатите, показани на Фиг.2.

На Фиг. се виждат антикорелациите между морфологичния тип на видимата ребром галактика и вдлъбнатостта на балджовия ѝ профил (в ляво) или изпъкналостта на дисковия ѝ профил (в дясно). В профила на голямата ос на една спирална галактика видима ребром дисковият компонент може да доминира дори в областта на балджа. Затова от изследваните 24 профила балджови компоненти бяха изявени само в 7 случая - при 6 масивни галактики от ранни типове и само при една малка галактика от късен тип - NGC 55. Поради тази причина антикорелацията на Andredakis et al (1995) е видима на Фиг.3, вляво, само като тенденция. Там най-дясната точка съответства на галактиката NGC 55.



Фиг. 3. Антикорелации между морфологичния тип на галактиката и вдлъбнатостта на балджа (в ляво) или изпъкналостта на диска (в дясно) по профили на галактики видими ребром (по Georgiev & Stanchev 2005a). Кръгчетата отбелязват галактиките (на дясната диаграма, от ляво на дясно) NGC 4710, NGC 7814, NGC 5907, UGCA 93, NGC 3109 и UGCA 61, чиито дискови профили са съпоставени на Фиг. 4, в дясно. На лявата диаграма от тези галактики са представени само NGC 7814 и NGC 5907. (вж. още Фиг.2)

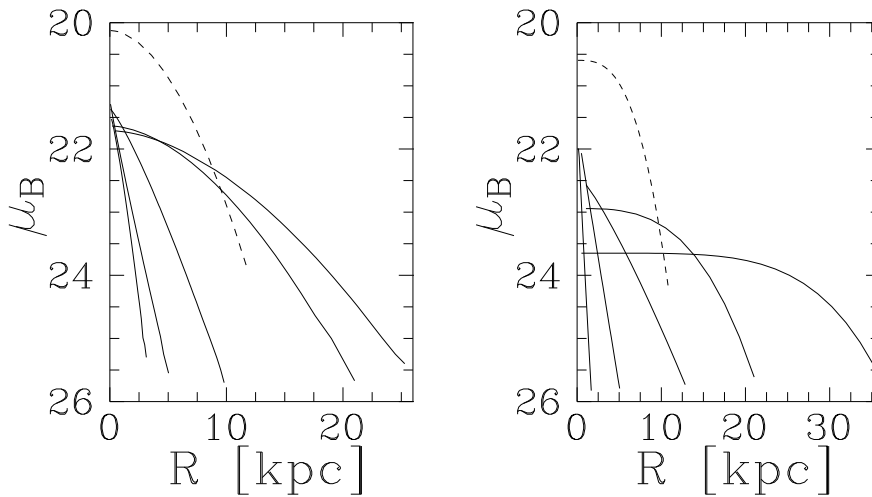
Антикорелацията между морфологичния тип и изпъкналостта на профила на голямата полуос на видимия ребром диск, представена на Фиг.3, в дясно, е вече почти зависимост. Нагледно представяне на изменението на формата на наблюдаемия профил в зависимост от морфологичния тип (или масата) на галактиката е дадено на Фиг.4, в дясно. В този пример дискът на най-масивната от разглежданите галактики, NGC 7814, показва голямо по размери плато в централната си част. Този диск би следвало да бъде пръстеновиден.

Декомпозиции на галактики с възможен пръстеновиден диск са демонстрирани в работата на Georgiev & Stanchev (2005b). Показано е, че при използване на втори терм във формулата на Серсик, с експоненциално-степенен показател $2N$, пръстенообразен диск се детектира добре при видимите ребром галактики IC 4871 и ESO 416-G25, а също и при видимите почти анфас галактики 7 Zw 793 и M 51.

Изводи

От проведените изследвания може да се заключи, (1) че радиалните профили на галактичните дискове са по правило изпъкнали, (2) че формулата на Серсик е подходяща за моделиране на изпъкнали дискови профили и (3) че изпъкналостта на дисковия профил антикорелира с морфологичния тип (или масата) на галактиката. Визуална представа за тази антикорелация е дадена на Фиг.4 за най-близките галактики (в ляво) и за близки галактики видими ребром (в дясно).

Все пак, разглежданите в този доклад антикорелации са далеч от зависимости. За подчертаване на този факт и на двете диаграми на Фиг.4 са показани силно отклоняващите се от изявената тенденция галактики с висока повърхностна яркост - съответно M 83 и NGC 4710.



Фиг. 4. Съпоставки на моделите на дисковите профили на избрани галактики за онагледяване на изменението на формата на дисковия профил в зависимост от масивността на диска. В ляво - близките галактики SMC, LMC, M 33, MW, M 31 (плътни криви) и M 83 (пунктир). В дясно - видимите ребром галактики UGCA 61, NGC 3109, UGCA 93, NGC 5907, NGC 7814 (плътни криви) и NGC 4710 (пунктир)

Резултатите от дискутираните работи, получени по литературни данни, често единствени за дадената галактика, при това - недостатъчно дълбоки и подробни, не позволяват да се отговори на интересния въпрос: От кой параметър зависи повече изпъкналостта на дисковия профил - от масата на галактиката или от отношението на масите на балджа и диска? На този и други въпроси би следвало да се потърси отговор в бъдещи изследвания, след допълване и усъвършенстване на използваната методика. Независимо от това, изпъкналостта на дисковия радиален профил би трябвало да започне да се отразява резонно и от теорията.

Литература

- Allen P.D., Driver S.P., Graham A.W., Cameron E., Liske J.,
de Propriis R., 2006, MNRAS 371,2
- Anderson K. S., Baggett S.M., Baggett W.F., 2004, AJ 127, 2085
- Andredakis Y. C., Peletier R. F., Balcells M., 1995, MNRAS 275, 874
- Binggeli B., Jerjen H., 1998, A&A 333,17
- Buta R.J., McCall M.L., 1999, ApJS 124, 33
- Deshev B.Z., 2006, Master Thesis, Dep. Astronomy, Sofia University (in Bulgarian)
- Deshev B., Georgiev T., Nedialkov P., Stanchev O., Bomans D., 2006,
Meetings in Physics at University of Sofia, V. 6
- Deshev B., Stanchev O., Georgiev T., 2007, Astrophys. Invest. 8 (in this issue)
- de Vaucouleurs G., 1959, in: Handbuch der Physik LIII, ed. Flugge S.,
Springer-Verlag Berlin, p.275, 311
- Freeman K.C., 1970, ApJ 160, 811
- Georgiev T.B., 2005a, Aerospace Research in Bulgaria, 19, 29
- Georgiev T.B., 2005b, Aerospace Research in Bulgaria, 20, 145
- Georgiev T.B., Georgiev I.Y., Koleva N.A., Nedialkov P.L., Stanchev O. I., 2005,
Aerospace Research in Bulgaria, 20, 145
- Georgiev T. B., Stanchev O.I, Nedialkov P.L., 2004, Annuaire d'Universite de Sofia,
Faculte de Physique, 97, 111 (in Bulgarian)
- Georgiev T. B., Stanchev O.I., 2005a, Bulgarian Journal of Physics 32, 65
- Georgiev T. B., Stanchev O.I., 2005b, Publ. Astron. Soc. "Rudjer Boskovic"
(Serbia) 5, 175
- Graham A.W., 2001, AJ 121,820
- Jarret T.H., Chester T., Outri R., 2003, ApJ 125, 525
- Karachentsev I.D., Georgiev Ts.B., Kajsin S.S., Kopylov A.I.,
Ryadchenko V.P., and Shergin V.S., 1992, Astron. Astroph. Transactions, 2, 256.
- Kim S.-W., Chun M.-S., 1984, JKAS 17, 32
- Knapen J.H., and van der Kruit P.C., 1991, A&A 248,57
- Kormendy J., 1977 Ap.J 217, 406
- Kregel M., van der Kruit P. C., 2004, MNRAS 355, 143
- MacArthur L.A. Courteau S., 2003, ApJ 582, 689
- Mo H.J., Mao S., White S.D.M., 1998, MNRAS 295, 317
- Pohlen M., Dettmar R.-J., Luetticke R., Aronica J., 2002, A&A 392, 807
- Pohlen M., Beckman J., Huttemeister S., Knappen J., Erwin P.,
Dettmar R.-J., 2004, arXiv:astro-ph/0405541
- Romanishin W., K.M.Storm K.M., Storm S.E., ApJS, 1983, 53, 105
- Simien F., de Vaucouleurs G., 1986, ApJ 302, 564
- Sersic J.-L., 1968, Atlas de Galaxies Australes,
Cordoba: Obs. Astron.Univ.Nat.Cordoba
- Stanchev O., Georgiev T., Goranova Y., 2002, Publ. Astron. Obs. Belgrade 73, 231
- Stanchev O., Nedialkov P., Georgiev T., 2004a, Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci.,
57/6,5, arXiv:astro-ph/0412324
- Stanchev O., Nedialkov P., Georgiev T., 2004b, Comp. Rend. Acad. Bulg. Sci., 57/7,5
- Stanchev O., Georgiev T., Deshev B., Nedialkov P., 2007,
Astrophys. Invest. 8 (in this issue)
- van den Bosch F. C., 2001, MNRAS 327 1334
- van der Kruit P.C. Searle 1981, A&A 95, 105
- van der Kruit P., 2002, in eds. G.S.Da Costa & E.M. Saadler,
The Dynamics, Structure & History of Galaxies, ASP Conference Serries
- Walsh W., Beck R., Thuma G., Weiss A., Wielebinski R., Dumke M., 2002, A&A
387, 7
- White P.M., Bothum G., 2003, PASP 115,811
- Yankulov I., 2005, Master Thesis, Dep. Astronomy, Sofia University (in Bulgarian)
- Yoshii Y., Sommer-Larsen J., 1989 MNRAS 236, 779