
Българска Академия на Науките
Институт по Астрономия
с Национална Астрономическа Обсерватория

Морфологична характеристика на избрани
Сийфърт галактики и сравнителен
анализ с извадка от неактивни галактики

Люба Стоянова Славчева-Михова

Дисертационен труд
за
присъждане на образователната и научна степен “доктор”

Научна специалност:
01.04.02 Астрофизика и звездна астрономия

Научен ръководител:
доц. д-р Георги Петров

София, 2011 г.

Съдържание

1	Въведение	1
1.1	Сийфърт ядра	1
1.1.1	Исторически преглед	1
1.1.2	Класификация и Обединен Модел	2
1.2	Барове	3
1.2.1	Орбити и резонанси	3
1.2.2	Пренос на ъглов момент и разрушаване на баровете	5
1.2.3	Наблюдателен аспект	7
1.2.4	Очаквана корелация между барове и ядрена активност	8
1.2.5	Захранване на ядрената активност	9
1.3	Пръстени	10
1.4	Взаимодействия	11
1.5	Проблемът с ъгловия момент и подходи за неговото решаване	14
1.6	Цели и структура на дисертационния труд	15
2	Дефиниране на извадките, наблюдения и първична обработка	17
2.1	Дефиниране на извадките	17
2.2	Наблюдения	22
2.2.1	Сийфърт галактики	22
2.2.2	Неактивни галактики	26
2.3	Първична обработка	27
2.3.1	Корекция за офсетен сигнал	27
2.3.2	Корекция за плоско поле	27
2.3.3	Корекция за космически частици и лоши пиксели	27
2.3.4	Корекция за наличието на интерференчна структура	28
2.3.5	Съвместяване на изображения	28
2.3.6	Определяне качеството на изображението	30
3	Повърхностна фотометрия	31
3.1	Адаптивна филтрация	31
3.2	Корекция за нежелани структури	35
3.3	Определяне фона на небето	37
3.4	Фитиране на изофотите с елипси	39

3.5	Спомагателни изображения	40
3.6	Характеризация на баровете	41
4	Привеждане към стандартна система	43
5	Локално обкръжение	46
6	Коментари на индивидуалните Сийфърт галактики	49
6.1	Mrk 335	49
6.2	III Zw 2 (III Zw 2A в NED)	50
6.3	Mrk 348	50
6.4	I Zw 1	51
6.5	Mrk 352	52
6.6	Mrk 573	53
6.7	Mrk 590	54
6.8	Mrk 595	55
6.9	3C 120	56
6.10	Ark 120	56
6.11	Mrk 376	57
6.12	Mrk 79	58
6.13	Mrk 382	59
6.14	NGC 3227	59
6.15	NGC 3516	61
6.16	NGC 4051	61
6.17	NGC 4151	62
6.18	Mrk 766	63
6.19	Mrk 771	64
6.20	NGC 4593	65
6.21	Mrk 279	65
6.22	NGC 5548	67
6.23	Ark 479	67
6.24	Mrk 506	68
6.25	3C 382	69
6.26	3C 390.3	69
6.27	NGC 6814	70
6.28	Mrk 509	70
6.29	Mrk 1513	70
6.30	Mrk 304	70
6.31	Ark 564	71
6.32	NGC 7469	71
6.33	Mrk 315	72
6.34	NGC 7603	73

6.35 Mrk 541	74
7 Дискусия	75
7.1 Морфологична характеристика на извадката от Сийфърт галактики . .	75
7.2 Дял и сила на баровете	79
7.3 Дял на пръстените	80
7.4 Близка околност и асиметрии на галактиките	81
7.5 Обща дискусия	82
7.6 Устойчивост на резултатите на базата на различни източници на данните	82
7.7 Приложение за захранване на Сийфърт ядрата	83
8 Резултати, заключение и научни приноси	85
9 Публикации	87
9.1 Публикации, на които се основава дисертационният труд	87
9.2 Други публикации	88
Библиография	91
Контурни карти и профили на Сийфърт галактиките	106
Abstract	125

Глава 1

Въведение

1.1 Сийфърт ядра

1.1.1 Исторически преглед

Активните галактични ядра (active galactic nuclei, AGNs) са най-ярките, и същевременно най-далечните, обекти, които могат да се наблюдават във Вселената и най-мощните открити енергийни източници. Първ наблюдава и изучава активни галактики Edward Fath в Ликската обсерватория през 1908 г. С малък спектрограф той наблюдава ярки спирални галактики, считани тогава за мъглявини, и правилно интерпретира абсорбционните линии като резултат от интегралния поток светлина от голям брой звезди. В спектъра на една от тези галактики, NGC 1068, освен абсорбционни той забелязва и емисионни линии (Fath 1908). Всъщност това са Сийфърт (Sy) галактики, наречени в чест на Carl Seyfert, който повече от три десетилетия по-късно обръща внимание на ярките им ядра и високоионизираните емисионни линии (Seyfert 1943). Оригиналната дефиниция на Sy галактиките е: галактики с изключително ярки ядра и емисионни линии, забележимо по-широки от абсорбционните линии на нормалните галактики, обхващащи голям диапазон от степени на йонизация.

През 50-те години се извършват първите оптически идентификации на силни радиоизточници. Оказва се, че в оптическия диапазон повечето радиоизточници се отъждествяват или с галактики, или със звездообразни обекти, наречени съответно радиогалактики и квазари.

В 1963 г. Maarten Schmidt разбулва загадката на квазарите, имащи в спектрите си неидентифицирани емисионни линии. Той разпознава водородните линии в спектъра на квазара 3C 273, отместени силно към червения край с необичайно голямото за тогава $z=0.158$ (Schmidt 1963). Явно тези обекти не са звезди, а звездоподобни източници с огромна светимост.

Ядрата на Sy галактиките, радиогалактиките и квазарите, показващи силна активност, са наречени общо AGN. Идеята за AGN е формулирана за пръв път от Виктор Амбарцумян. На известното си изказване на конференция по физика в Брюксел през 1958 г. той заявява, че в галактичните ядра се извършват мощни експлозии и те трябва да съдържат тела с огромна маса и неизвестна природа. Идеята за активност на галактичните ядра отначало се приема скептично и получава признание доста години по-късно. Десет години след прочутата конференция, на пленарно заседание на Международния Астрономически Съюз в Прага Allan Sandage заявява: “Днес никой астроном не би отрекъл мистерията, обгърнала галактичните ядра, и факта, че първият, който осъзнава каква богата награда се крие в тази съкровищница, е Виктор Амбарцумян.” Идеята на Амбарцумян е призната от Националната Академия на Науките на САЩ като революционна от Коперников мащаб.

1.1.2 Класификация и Обединен Модел

[Schmidt & Green \(1983\)](#) въвеждат следното емпирично делене: обекти с абсолютна звездна величина $M_B < -23$ са квазари, а по-слабите – Sy ядра.

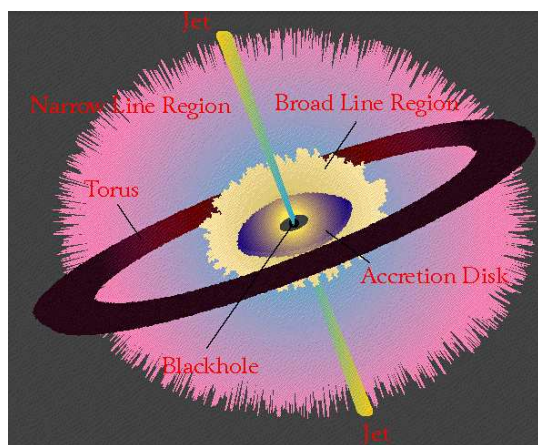
Първата предложена класификация на Sy ядрата е на [Khachikian & Weedman \(1971\)](#). В Sy 1 ядрата се наблюдават широки разрешени и относително тесни забранени линии; Sy 2 имат тесни разрешени и забранени линии. В една разширена класификация тези два типа се оказват екстремалните случаи, като са въведени Sy 1.5, Sy 1.8 и Sy 1.9 ([Osterbrock 1981](#)). Непрекъснатият спектър на Sy 1 ядрата е много по-силен от този на Sy 2. Съгласно Обединения Модел ([Antonucci 1993](#)) активните ядра имат еднаква структура и разликата между различните типове се дължи на различната ориентация спрямо наблюдателя (виж Фиг. 1.1, 1.2). В центъра на активното ядро е свръхмасивна черна дупка (SMBH; $M_{\text{bh}} > 10^6 M_{\odot}$). Наблюдаваните типични светимости (10^{43} – 10^{44} / 10^{47} – 10^{48} ergs s⁻¹ за Sy ядра/квазари) се обясняват с акреция на материя (с типични темпове на акреция 10^{-3} – 10^{-2} / 10 – $100 M_{\odot}$ yr⁻¹ за Sy ядра/квазари) посредством акреционен диск. Дисипативните процеси в акреционния диск позволяват пренос на материя навътре и на ъглов момент навън. Типичните размери са хилядни от pc (няколко светлинни дни). Някои акреционни дискове създават джетове, силно колимирани и бързи потоци навън. На скали от десети от pc (≈ 100 светлинни дни) е разположен ансамбъл от газови облаци – областта на формиране на широките емисионни линии (BLR). В областта с размери от десетки pc (≈ 100 светлинни години) се намира торът, съставен от облаци прах и газ. Най-външните части на активното ядро са областите на формиране на тесните емисионни линии (NLR).

Сред аргументите в полза на Обединения Модел са:

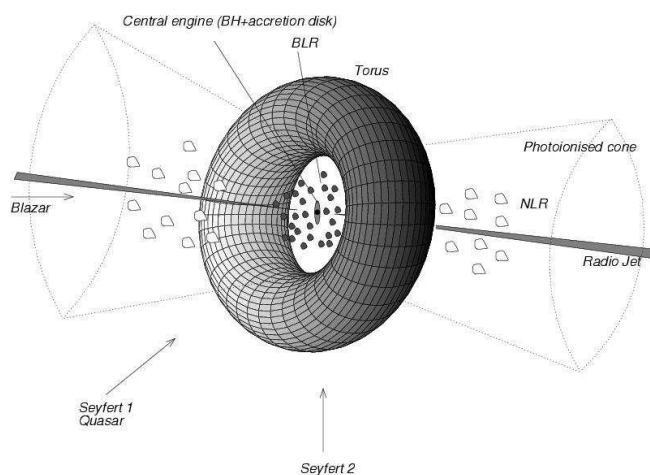
- някои Sy 2 ядра (напр. NGC 1068) показват широки емисионни линии в поляризирана светлина;
- наличието на йонизационни конуси, обусловени от тора (напр. NGC 5728);

а срещу него:

- родителските галактики на Sy 1 ядрата са по-ранни от тези на Sy 2 (Malkan et al. 1998; Hunt & Malkan 1999);
- Sy 2 галактиките имат повече спътници от Sy 1 (напр. Dultzin-Hacyan et al. 1999);
- Sy 2 галактиките имат повече околоядрени области на звездообразуване от Sy 1 (напр. González Delgado & Pérez 1993).



ФИГУРА 1.1: Схема на AGN.



ФИГУРА 1.2: Видове AGN съгласно Обединения Модел.

1.2 Барове

Баровете участват активно в динамичната еволюция на дисковите галактики като преразпределят масата и ъгловия им момент. Възщност големите газови потоци към централните няколко стотин pc са резултат главно от гравитационни усукващи моменти, упражнени от звезден бар. Това е така не само в случая на изолирани галактики с бар, но и в някои случаи на сливане с по-малки галактики (Hernquist & Mihos 1995; Mihos et al. 1995), с галактики с междинно (1:3) отношение на масите (Naab & Burkert 2001) и в ранните стадии на повечето сливащи се галактики със съизмерими маси (Noguchi 1988; Hernquist 1989).

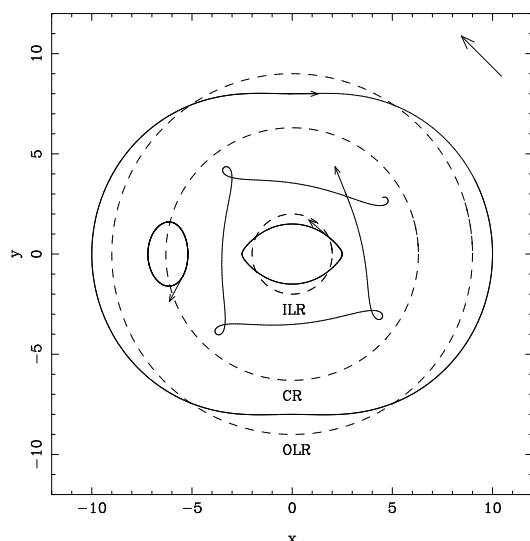
1.2.1 Орбити и резонанси

Движението в осевосиметричен потенциал в равнината на галактиката се характеризира с кръгова орбита с ъглова честота Ω и епициклична осцилация с честота κ .

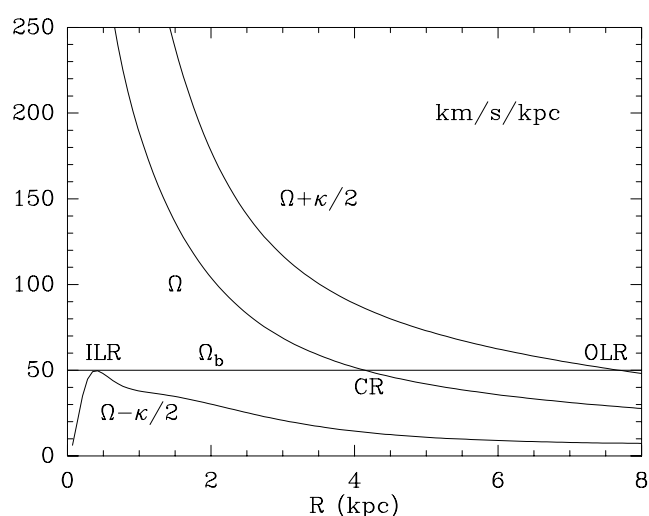
Наличието на бар (с ъглова честота Ω_b) поражда бисиметричен потенциал с преобладаваща Фурие компонента $m = 2$. В общия случай орбитите са отворени розетки (Фиг. 1.3). При $\Omega = \Omega_b$ настъпва резонанс на коротация. Няма въртене, а само епицикли. Когато $\Omega - \Omega_b = \pm \kappa/m$, се наблюдават резонанси на Линдблад, наречени на името на шведския астроном Бертил Линдблад (1895-1965). Орбитите са затворени и издължени (Фиг. 1.3, 1.4). Положителният знак съответства на вътрешен резонанс на Линдблад (ILR), при който орбитите са по посока на въртенето на диска. При отрицателен знак настъпва външен резонанс на Линдблад (OLR) с ретроградни орбити.

Наблюдават се периодични орбити и орбити, осцилиращи около тях. Основните фамилии (Contopoulos & Grosbol 1989) са следните:

- x_1 е най-важната фамилия орбити, поддържаща бара. Орбитите са издължени и успоредни на голямата ос на бара и са разположени вътрешно от радиуса на коротация;
- фамилията x_2 орбити типично е разположена между двата вътрешни резонанса на Линдблад (когато съществуват). Орбитите са успоредни на малката ос на бара и са по-малко издължени. Когато барът е достатъчно силен, x_2 орбитите изчезват. Силата на бара, необходима да унищожи фамилията, зависи от Ω_b : колкото е по-малка честотата, толкова по-силен е барът;
- 2/1 орбитите (които се затварят след едно завъртане и два епицикъла) са разположени извън радиуса на коротация. Те са ретроградни и са перпендикулярни на бара до OLR, а извън него са успоредни на бара.

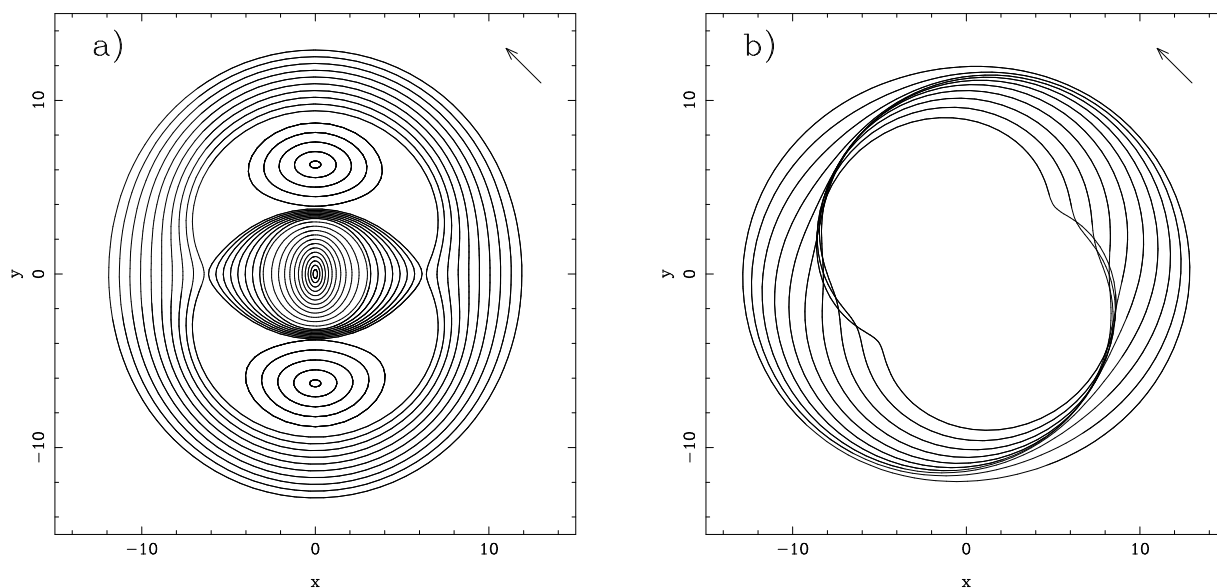


ФИГУРА 1.3: Орбити в галактичния диск. Тази и следващите три фигури са адаптирани от Combes (2001).



ФИГУРА 1.4: Честоти и разположение на резонансите в галактиката.

Ориентация на периодичните орбити се завърта на 90° при всяко пресичане на резонанс и те са последователно успоредни и перпендикулярни на бара. Газът се опитва да следва тези орбити, но поради ударната си и дисипативна природа не може да остане на пресичащи се периодични орбити. Така, орбитите на газа са отместени спрямо орбитите на звездите, като променят ориентацията си плавно и спираловидно, следвайки схематичната диаграма на кинематичните вълни, начертана първо от Kalnajs (1973) и дадена на Фиг. 1.5.



ФИГУРА 1.5: а) Периодични звездни орбити в потенциал на бар. б) Орбити на газа в потенциал на бар.

1.2.2 Пренос на ъглов момент и разрушаване на баровете

За да минимизира пълната си енергия, галактиката се стреми да концентрира масата си в центъра и да прехвърли ъгловия момент навън (Lynden-Bell & Kalnajs 1972). Преносът на ъглов момент, извършен от осевоасиметрични нестабилности, е главният двигател на секулярната еволюция на галактиките и на образуването на барове и резонантни пръстени. Главният механизъм на пренос на ъглов момент е усукващият момент, който барът упражнява върху материята, формираща спиралните ръкави (Фиг. 1.6).

Гравитационният усукващ момент (на единица маса), τ , описва скоростта на промяна на ъгловия момент и се дефинира като:

$$\tau = r \times F, \quad (1.1)$$

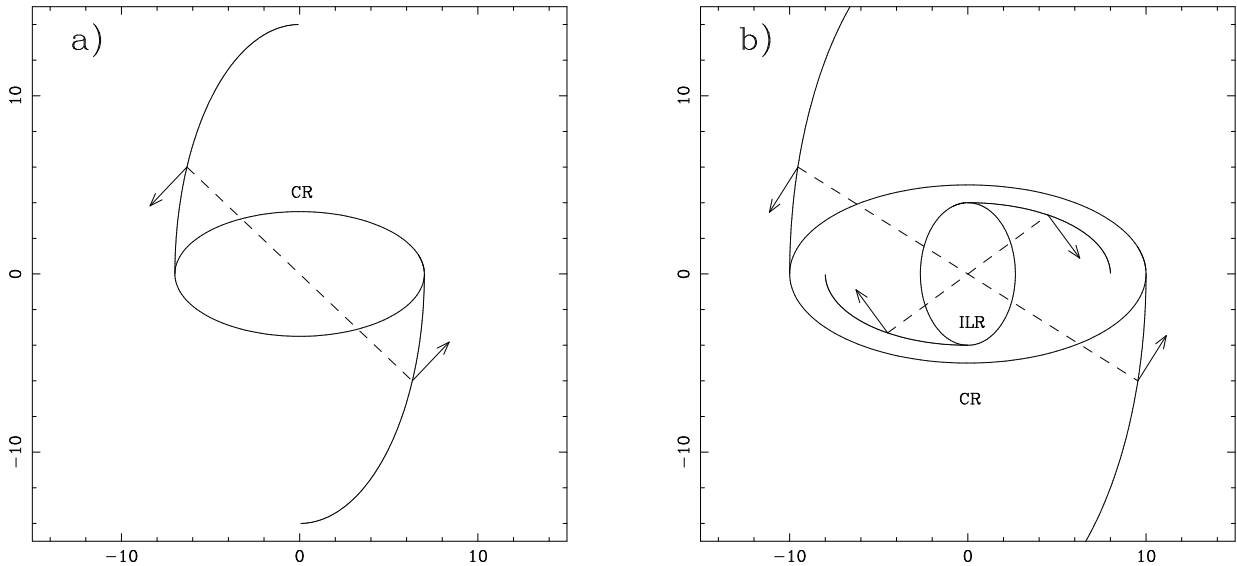
където r е радиус-векторът на частицата, а F е силата, действаща на единица маса (напр. [Haan et al. 2009](#)). В равнината на диска:

$$\tau(x, y) = xF_y - yF_x, \quad (1.2)$$

$$F_{x,y}(x, y) = -\nabla_{x,y}\Phi(x, y), \quad (1.3)$$

където Φ е гравитационният потенциал. Той се намира от изображения в близката инфрачервена (NIR) област.

Усукващият момент променя знака си на всеки резонанс. Между ILR и резонанса на коротация той е отрицателен – газът губи ъглов момент и пада навътре, докато между резонанса на коротация и OLR е положителен и газът получава ъглов момент и е изтласкван навън. Така усукващите моменти водят до натрупване на газ във формата на пръстени в областта на резонансите на Линдблад.



ФИГУРА 1.6: Схема на гравитационни усукващи моменти, упражнявани от бар върху газова спирала: а) между радиуса на коротация и външния радиус на Линдблад газът е изтласкван навън; а) между радиуса на коротация и вътрешния радиус на Линдблад газът пада навътре.

В хода на секулярната еволюция баровете могат да се разрушат. Дълго време се считаше, че причина за това саморазрушение е голямата концентрация на маса в галактичния център, дължаща се на породените от бара газови потоци ([Hasan & Norman 1999](#); [Friedli & Benz 1993](#); [Norman et al. 1996](#)). По-късни симулации показват, че баровете са по-стабилни и масата на централната концентрация, необходима да разруши бара, е нереалистично голяма (напр. [Shen & Sellwood 2004](#); [Debattista et al. 2006](#); [Marinova & Jogee 2007](#)). Основен разрушителен механизъм би могъл да се окаже отдаването на ъглов момент от газа на бара ([Bournaud et al. 2005](#)), особено в присъствието на охлаждане (напр. [Debattista et al. 2006](#)).

Силата на бара може да се дефинира като отношението на максималната тангенциална сила към средната радиална сила съгласно [Combes & Sanders \(1981\)](#). Така, силата

на бара зависи основно от елиптичността и масата на бара, както и от наличието на масивен бълдж [Laurikainen et al. \(2002\)](#). Преобладаващо е мнението, че баровете в Sy (активните) галактики са по-слаби от тези в неактивните ([Shlosman et al. 2000](#); [Laine et al. 2002](#); [Laurikainen et al. 2002](#)), макар да има поддръжници и на тезата, че силата на баровете е сходна ([Márquez et al. 2000](#)). Тези резултати могат да се интерпретират в светлината на саморазрушението на бара.

1.2.3 Наблюдателен аспект

Барове съществуват в голяма част от местните дискови галактики, а може да се срещат често и при галактики със $z \approx 1$ ([Sheth et al. 2003](#)). В NIR област средният дял на баровете е $\approx 70\%$ по визуална класификация ([Eskridge et al. 2000](#)) и $\approx 60\%$ по количествени методи на идентификация като фитиране с елипси и структурна декомпозиция ([Marinova & Jogee 2007](#); [Menéndez-Delmestre et al. 2007](#); [Weinzirl et al. 2009](#)). В оптичестката област количествените методи дават 44% до 52% галактики с бар ([Marinova & Jogee 2007](#); [Barazza et al. 2008](#); [Aguerri et al. 2009](#)), докато според визуалната класификация те са $\approx 55\%$ -70% ([Ho et al. 1997](#); [Hunt & Malkan 1999](#)); барове се идентифицират и чрез изследване на Фурие модите (напр. [Aguerri et al. 2000](#); [Laurikainen et al. 2004b](#); [Aguerri et al. 2009](#)). Относителният дял на галактики с бар в оптичестката област е по-нисък, отколкото в NIR област, поради характера на типичното звездно население на бара, както и поради влиянието на праховите ивици и звездообразуването в бара. Оптичесткият дял на баровете нараства с намаляване на отношението бълдж/диск и/или с увеличаване на светимостта ([Barazza et al. 2008](#); [Aguerri et al. 2009](#)).

[Sakamoto et al. \(1999\)](#), на базата на извадка от 20 близки галактики, отбелязват, че галактиките с бар имат по-голяма концентрация на газ в централния кръг, отколкото тези без бар. Това е първото пряко свидетелство, че породените от бара нестабилности могат да причинят поток на газ към централните галактични области. Според авторите повече от половината от наличния газ е там благодарение на бара. [Sheth et al. \(2005\)](#) потвърждават по-големи централни концентрации на CO на базата на около двойно по-голяма извадка. Според [Regan et al. \(2006\)](#) профилите на галактиките с бар показват ексцес на газ в центъра в сравнение с екстраполацията на експоненциалния профил.

Има убедителни данни за връзка между наличието на барове и околнядрени области на звездообразуване – дялът на барове в галактиките със звездообразуване е по-голям (напр. [Ho et al. 1997](#); [Hunt & Malkan 1999](#)). Това е обяснимо с вътрешните резонанси на Линдблад, които са предпоставки за образуването на ядрени пръстени, където обикновено има условия за звездообразуване.

Връзката между баровете и AGN е по-малко ясна. През последните две десетилетия търсенето на такава корелация е цел на множество изследвания. Повечето от тях

сравняват дяла барове в извадка от активни и контролна извадка от неактивни галактики. Резултатите са противоречиви. Изследванията на [Ho et al. \(1997\)](#); [Hunt & Malkan \(1999\)](#); [Mulchaey & Regan \(1997\)](#); [Martini et al. \(2003b\)](#) не намират излишък на барове в *Su* галактиките, докато [Knapen et al. \(2000\)](#); [Laine et al. \(2002\)](#); [Laurikainen et al. \(2004a\)](#) докладват по-висок дял барове в *Su* галактиките. Това може да се обясни с няколко причини. В повечето случаи извадките са малки и контролните извадки невинаги са добре конструирани. Ползват се и различни методи за идентификация на баровете, както и различни източници на спектрална класификация на галактиките. Ползването на информация от базите данни, които в повечето случаи са нехомогенни, може да доведе до неточни заключения както за частта барове, така и за типа активност на галактиките.

1.2.4 Очаквана корелация между барове и ядрена активност

Не се очаква силна корелация между наличието на барове и *Su* активност по следните причини (виж обзора на [Jogee 2006](#)).

1. Барът може да причини потоци на газ само до няколкостотин *pc*. Там специфичният ъглов момент на газа все още е около 1000 пъти по-голям от нужното, за да е гориво за ядрената активност. Така че, газът няма да захрани ядрото, освен ако не са налични други механизми за намаляване на ъгловия момент. Дори и дадена галактика с бар да има *Su* ядро, животът на бара е поне 1 *Gyr*, докато активността продължава 10–100 пъти по-малко. *Следователно, не се очаква всички галактики с бар да имат ядрена активност.*
2. Отделен въпрос е дали се очаква всички *Su* галактики да имат бар. Той е почти равносилен на въпроса дали хранването на ядрото се нуждае от транспорт на газ от външните области (няколко *kpc*) до централните няколкостотин *pc*. Масата на газа, нужна да захрани типично *Su* ядро с темп на акреция $10^{-2} M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ при номинален цикъл на активност от 10^8 yr е едва $10^6 M_{\odot}$ или 10^{-3} – 10^{-2} от наличния газ (10^8 – $10^9 M_{\odot}$) в централния *kpc* на типична спирална галактика. Следователно, не следва да се очаква силна корелация между *Su* активността и баровете, тъй като дори слабоефикасни механизми биха били в състояние да породят потока на толкова малки количества газ на мащаби от *kpc* до няколкостотин *pc*. Примери на такива слаби механизми са овалите, външните пръстени (чиито излишък се наблюдава при *Su* галактиките) и леките асиметрии, индуцирани от взаимодействие с по-малка галактика. *Следователно, от гледна точка на транспорта на газ от галактични мащаби към центъра, баровете не са необходимо условие за *Su* активността.* Трябва да се има предвид, че корелацията между *Su* активността и баровете може да е индиректен резултат от преноса на газ на малки мащаби, ако механизмите, редуциращи ъгловия момент на газа в централните области, са продукт на барове, напр. вторични барове (виж Гл. 1.2.5).

3. Баровете могат да се саморазрушават и ре-формират. В някои модели (Friedli & Benz 1993; Norman et al. 1996) барът, породил големи потоци на газ към централните области, може да се разруши след като се отключат механизми за пренос на газа към ядрото. Освен това баровете в Sy галактиките са по-слаби, отколкото в неактивните галактики (Shlosman et al. 2000; Laurikainen et al. 2004a).
4. Външни пръстени се наблюдават по-често при Sy галактиките, отколкото при неактивните галактики (Hunt & Malkan 1999). Тези пръстени могат да са слабите асиметрични дисторсии, коментирани по-горе, или остатък от разрушили се барове.
5. При условие, че нужният за поддържане на активността газ е едва 0.1%–1% от наличния околядрен газ, не са нужни силни механизми на захранване като баровете. Вместо това нискоенергетични процеси като динамичното триене могат значително да редуцират ъгловия момента на облак с маса $10^6 M_{\odot}$ и да го докарат от няколкостотин до няколко десетки pc.

1.2.5 Захранване на ядрената активност

Баровете могат ефикасно да пренасят газ от външния галактичен диск до скали от порядъка на няколкостотин pc, където газовият поток се спира при пресичане на ILR. Нужен е допълнителен механизъм, който да намали ъгловия момент на газа и да го пренесе още по-навътре. Примери за такива механизми са ядрените барове, прахови спирали и дискове.

Теорията и симулациите (Shlosman et al. 1989; Friedli & Benz 1993) предполагат, че ядрен бар (наричан още “вторичен”), вместен в рамките на крупномащабен галактичен (или “първичен”) бар, е в състояние да пренесе газ към галактичния център. Корелацията ядрени барове–ядрена активност е обект на множество трудове. Ранните изследвания показват липса на такава корелация (напр. Regan & Mulchaey 1999), но те следва да се преразгледат, тъй като ползват наличието на прахови спирали за идентификация на ядрените барове, а симулациите (Maciejewski et al. 2002) показват, че свързаните с вторични барове газови потоци съществено се различават от тези, причинени от първични барове. По-късните работи, базирани на изофотални фитове на NIR изображения, докладват подобна честота на срещане на ядрени барове (20%–30%) в родителските галактики на Sy и неактивни ядра (Laine et al. 2002; Erwin & Sparke 2002). Има няколко обяснения за липсата на корелация между ядрените барове и активността:

- ядрените барове спомагат да се намали ъгловия момент на газа, но той все още е няколко порядъка по-голям от нужното;

- не всички ядрени барове са еднакво ефективни в отнемането на ъглов момент от газа; най-ефективни са тези с ъглова честота, по-голяма от честотата на първичния бар (Jogee 2006);
- за захранването на ядрената активност е нужна една малка част от наличния околядрен газ, която може да бъде пренесена към по-централните области на галактиката и от по-слаби механизми в сравнение с ядрените барове (Jogee 2006).

Има все повече сведения от данни с високо разрешение, че ядрените прахови спирали са често срещани на скали от няколко десетки до няколко стотин pc (Regan & Mulchaey 1999; Martini & Pogge 1999; Martini et al. 2003b). Съществуват множество видове – флокулентни, хаотични, двуръкавни от крупномашабен тип. Ядрените спирали могат да проследяват ударните фронтове, които са свързани с дисипация на ъглов момент (напр. Martini & Pogge 1999). Поради това много автори ги асоциират с ядрената активност. Изследвания, базирани на изображения в NIR от HST (Hubble Space Telescope), обаче, показват, че ядрени прахови спирали се срещат със сравнима честота в активни и в неактивни галактики (Martini et al. 2003b) и те не представляват универсален механизъм за захранване на ядрената активност. Ядрените дискове са често наблюдавани – в оптичната област с HST (напр. Barth et al. 1995) или с милиметрови интерферометри (Ishizuki et al. 1990). Съгласно Rubin et al. (1997) 20% от 80-те наблюдавани от тях спирални галактики имат ядрени дискове. Те се асоциират с вискозните усукващи моменти като ефективен механизъм за пренос на газ към ядрото (García-Burillo et al. 2005).

1.3 Пръстени

Пръстените могат да са резултат на сблъсък между галактики (Appleton & Struck-Marcell 1996) или от действието на бара. Във втория случай те трасират динамичните резонанси в галактиката (за обзор виж Buta & Combes 1996). Външните пръстени се намират в периферните области на галактиката извън бара. Те имат средни диаметри около 22 kpc и са разположени около OLR. Могат да са успоредни или перпендикулярни на бара в зависимост от ориентацията на съответните орбити (Freeman 1996). Вътрешните пръстени са разположени близо до краищата на бара и средните им диаметри са около 9 kpc. Обикновено са успоредни на бара, но има изключения. Свързани са с вътрешния ултрахармоничен резонанс, който е в близост до резонанса на коротация. Ядрените пръстени се асоциират с ILR. Средните им диаметри са около 1 kpc (Buta & Crocker 1993; Freeman 1996; Erwin & Sparke 2002).

Пръстените са така ориентирани, че върху тях не се упражняват резултатни усукващи моменти. Числени симулации на газови облаци в потенциал на бар показват, че пръстени се образуват за няколко Gyr за външни пръстени при OLR (Schwarz 1981) или за $\sim 10^8$ yr за ядрени пръстени при ILR (Combes & Gerin 1985).

Пръстени се срещат с по-голяма честота в ранни дискови галактики с бар ([Elmegreen et al. 1992](#)). Не се наблюдава корелация между Sy активност и вътрешни пръстени ([Hunt & Malkan 1999](#)). По-голям относителен дял външни пръстени е докладван още от [Simkin et al. \(1980\)](#) и потвърден от [Hunt & Malkan \(1999\)](#). Последните автори коментират външните пръстени като по-късни (от баровете) индикатори на пренос на ъглов момент в светлината на еволюцията на Sy галактики.

1.4 Взаимодействия

Преди повече от половин век [Baade & Minkowski \(1954\)](#) предполагат, че за силния радиоизточник Лебед А е отговорен сблъсък между галактики, за което се съди по пекулярния вид на родителската галактика и силните ѝ емисионни линии. Това е първият път, когато отключването на ядрена активност се асоциира с гравитационно взаимодействие между галактики. Оттогава тази връзка се изследва както от наблюдателна, така и от теоретична гледна точка. През десетилетията, последващи откриването на активните галактики, активността се разбира като вътрешен процес в родителската галактика, евентуално подпомаган от приток на газ от междугалактическата среда ([Rees 1978](#); [Gunn 1979](#)).

Счита се, че съвременната идея за връзка между взаимодействащи си или сливащи се галактики и ядрената активност в Sy галактиките води началото си от основополагащата работа на [Toomre & Toomre \(1972\)](#) “Мостове и опашки в галактиките” в раздел озаглавен “Подклаждайки пещта”. Прави се емпиричното заключение, че взаимодействията между галактиките могат да имат силен ефект не само върху слабо свързания газ в периферните им области, но и върху процеси в техните централните части. Тази идея се развива от ключовата статия на [Larson & Tinsley \(1978\)](#). [Adams \(1977\)](#) забелязва “излишък на Sy галактики в пертурбирани и взаимодействащи системи”. Последващите данни с по-добро качество утвърждават асоциирането на взаимодействието с ядрената активност. Това е направено в явен вид в “Да нахраним звяра” от [Gunn \(1979\)](#), който предлага взаимодействието като резонно средство за пренос на газ до ядрата на галактиките.

Множество изследвания намират корелации между наличието на близки спътници, от една страна, и (ядреното) радиоизлъчване, интензивното околоядрено звездообразуване, морфологията и размера на радиоизлъчването, наличието на ядрени емисионни линии в радиогалактиките и активността на Sy галактиките, радиогалактиките и квазарите, от друга, ([Fuentes-Williams & Stocke 1988](#), както и цитатите вътре). По-нататъшното изследване на тези корелации е пречатствано от трудности при количествената оценка на спътниците на дадена галактика и от липсата на достатъчно ясна теоретична постановка, обясняваща действието на спътниците върху ядрената активност.

Взаимодействията между галактиките могат да доведат до пренос на материал към централните области (Byrd et al. 1986; Noguchi 1988). Приливните взаимодействия могат да причинят пертурбации на скали от порядъка на крс и ъгловият момент на газовата компонента да се намали до порядъка, подходящ за достигне до обхвата на централния източник. Това може да доведе до околядрено звездообразуване или формиране на AGN (Shlosman 1990). Както наблюдателно, така и теоретично, връзката взаимодействие-околядрено звездообразуване е много по-явна от връзката взаимодействие-Sy активност (Shlosman 1990). В наблюдателен аспект се извършват два типа изследвания – сравнително разглеждане на близката околност на Sy галактики и неактивни галактики и сравнителна оценка на броя Sy галактики в извадки от взаимодействиящи и невзаимодействащи галактики. Първото статистическо изследване на околностите на Sy галактики е извършено от Petrosian (1982), който намира, че Sy 2 галактиките имат излишък на близки спътници спрямо галактиките от полето. При подобно изследване Dahari (1985) стига до заключението, че Sy галактиките се срещат около пет пъти по-често сред взаимодействиящи си галактики в сравнение с неактивните галактики. MacKenty (1989) намира, че Sy галактиките имат повече близки спътници в сравнение с галактиките от полето, а Sy 2 галактиките имат повече спътници от Sy 1. Аналогични резултати получават Rafanelli et al. (1995) и Laurikainen & Salo (1995). Алтернативно, Fuentes-Williams & Stocke (1988) не намират съществена разлика в броя спътници при Sy галактиките спрямо контролна извадка. До такива изводи стигат и De Robertis et al. (1998). Така, наблюдателните аргументи за влиянието на взаимодействията върху активността на ядрата не са еднозначни. Докато при AGN с висока светимост като квазарите има данни за такава връзка (Hutchings 1983; Heckman et al. 1984; Canalizo & Stockton 2001), ситуацията при AGN с ниска светимост като Sy галактиките е противоречива. Няма консенсус относно ролята на взаимодействията при захранването на активните ядра, както и за относителния брой спътници. Резултатите относно последния въпрос се разделят на три групи: Sy галактиките имат излишък на спътници спрямо неактивните галактики; няма съществена разлика на броя спътници при Sy галактиките и неактивните галактики и Sy 2 галактиките имат повече спътници от Sy 1 галактиките (Schmitt 2004, както и цитатите вътре). Противоречивите резултати се дължат главно на различните и недостатъчно ясни критерии както при построяването на извадката от Sy галактики, така и при конструирането на контролна извадка (Heckman 1990; Schmitt 2001).

Сливащите се галактики основно се делят на такива със съизмерими маси (major merger) и с отношение на масите 10:1 (minor merger). Симулации на сливане от първия тип показват, че в крайните етапи могат да възникнат големи газови потоци ($\gg 1M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$), които да захранват звездообразуване или ядрена активност (Noguchi 1988; Mihos & Hernquist 1996). Крайният обект има $r^{1/4}$ разпределение на повърхностната яркост (surface brightness, SB), наблюдавано в повечето ярки елиптични галактики. Счита се, че сливания с по-малък спътник се срещат често. Те могат да индуцират спирали и барове и да породят големи концентрации на газ в централните няколкостотин pc (Hernquist & Mihos 1995; Mihos et al. 1995; Walker et al.

1996), както и да доведат до захранване на звездообразуване или ядрена активност, особено при ядра с относително ниска активност като S_u ядрата. [Hernquist \(1989\)](#) демонстрира, че по време на сливане газът, разпределен в галактиката, е под силното влияние на приливното действие на по-маломасивния спътник. При определени обстоятелства динамичната нестабилност е причина голяма част от газа на галактиката да бъде пренесен в централните ѝ области дори при липса на газ в спътника. Продължителната акреция на газ върху черната дупка може да обясни активността на някои галактики. Широко разпространено е схващането, че външна пертурбация, причинена от взаимодействието със спътник, може да е основната причина за пораждаване на активност както директно ([Bekki & Noguchi 1994](#)), така и индиректно, напр. чрез образуването на звезден бар ([Barnes & Hernquist 1991](#)). За да станат активни галактиките без достатъчно наличен газ, е нужен външен източник на газ, т.е. взаимодействие с богат на газ спътник ([De Robertis et al. 1998](#)). В случая на богатата на газ родителска галактика може да е достатъчно да се пертурбира газа в диска чрез сливане или посредством несвързано взаимодействие. Един от начините да се тества връзката между активността и взаимодействията е да се проследят морфологичните дисторсии, резултат от тях ([Moles et al. 1995](#)).

Корелация със силните взаимодействия и сливания се наблюдава при ултраярките IR галактики ([Veilleux et al. 2001](#)) и при AGN с големи темпове на акреция ($\geq 10 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$) като ярките квазари ([Bahcall et al. 1997](#)) и радиогалактиките.

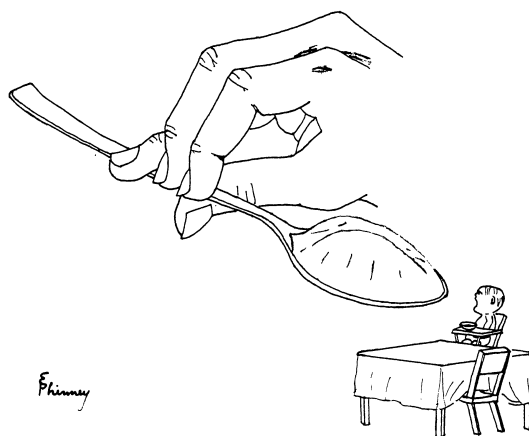
Липсата на явна корелация между взаимодействията и S_u галактиките може да е поради следните причини:

- времето на закъснение между началото на взаимодействието и натрупване на газови концентрации в централните области ([Byrd et al. 1987](#); [Combes 2001](#)), което допълнително може да се забави от действието на бълджа ([Hernquist & Mihos 1995](#));
- ефикасността на взаимодействията за захранване на ядрената активност зависят от множество параметри, напр. геометрични ([Combes 2001](#));
- ниските темпове на акреция, свързани със S_u ядрата ($\leq 0.01 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$), могат да се обяснят с по-слаби механизми, действащи на галактични мащаби, или с локални процеси.

Намирането на сведения за сливане с по-малки галактики по-принцип е трудно, тъй като детектирането на потъващия спътник зависи от етапа и геометрията на сливането и от параметрите на галактиките; напр. крайните етапи са трудни за разпознаване ([Walker et al. 1996](#)). Числените симулации показват, че сливането с (по-малки) галактики, както и приливните взаимодействия, биха могли да индуцират приливни опашки, мостове, обвивки, барове и различни видове пертурбирана спирална структура и асиметрии ([Toomre & Toomre 1972](#); [Hernquist & Quinn 1989](#); [Mihos et al. 1995](#); [Hernquist & Mihos 1995](#)). По тези причини асиметриите често се асоциират със сливания на галактики ([Conselice et al. 2000](#); [Conselice 2003](#); [De Propris et al. 2007](#)).

1.5 Проблемът с ъгловия момент и подходи за неговото решаване

Специфичният ъглов момент на материята на последната стабилна орбита на SMBH с маса $M_8 \times 10^8 M_\odot$ (където M_8 е масата в единици $10^8 M_\odot$) е от порядъка на $10^{24} M_8 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, а на радиус 10 крс е от порядъка на $10^{29} M_8 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Така, ъгловият момент на материята на радиус от няколко крс трябва да се намали повече от 10^4 пъти преди да може да послужи за гориво на ядрената активност. Търсенето на такива механизми е сред целите на съвременното изследване на активните ядра. Дори на радиус от 200 рс ъгловият момент е все още около 1000 пъти по-голям от нужното и това е много по-голям проблем от количеството наличен газ. Например, в случая на Sy ядро с темп на акреция $\approx 10^{-2} M_\odot \text{ yr}^{-1}$ и период на активност (duty cycle) 10^8 yr, газов облак с маса $10^6 M_\odot$ може да е достатъчно гориво. Такива облаци са типични в рамките на централните 200 рс на спиралните галактики, стига да разберем кои процеси са в състояния драстично да намалят ъгловия им момент (Jogee 2006). Активното ядро е като човек на диета, който има много разнообразна храна, но може да консумира само 99.9% нискокалорични продукти. Фиг. 1.7 илюстрира известната аналогия на Phinney (1994) между проблема с ъгловия момент и храненето: при голяма (по ъглов момент) лъжица и малка (по ъглов момент) уста са нужни ръце и нокти (гравитационни усукващи моменти, триене, вискозност, ...), които да направляват и разделят на малки хапки храната (горивото), за да се усвои при метаболизма (активността).



Фигура 1.7: Илюстрация на проблема с ъгловия момент, адаптирана от Phinney (1994).

Гравитационните усукващи моменти, динамичното триене, вискозните и хидродинамичните усукващи моменти са някои от механизмите, които могат да отнемат ъглов момент от газа и да го пренесат в по-централни области на галактиката, като по този начин спомогнат за захранване на ядрената активност. Тези механизми имат различна относителна важност в зависимост от светимостта на ядрата, участието на

галактиките във взаимодействия и разстоянието на материята от галактичния център (виж обзорите на [Martini 2004](#); [Jogee 2006](#)). Сливането със съизмерими по маса галактики обяснява високите темпове на акреция на ярките квазари; с намаляване темпа на акреция и разстоянията от центъра на галактиката стават все повече ефикасните механизми (напр. динамично триене, вискозни усукващи моменти). За типичните Sy светимости баровете, взаимодействията и сливането с по-малки галактики са съществени. Динамичното триене е неефективен механизъм на галактични скали, но става съществен при преноса на газ от няколкостотин до няколко десетки pc (виж обзорите на [Combes 2001](#); [Jogee 2006](#)). Съгласно [García-Burillo et al. \(2005\)](#) най-ефективният механизъм за генериране на газови потоци към центъра на скали $\approx 100 - 200$ pc са вискозните усукващи моменти, при условие че не се налага да преодоляват силни позитивни гравитационни усукващи моменти.

Съществува схващането, че активността е епизод от живота на всяка галактика. [García-Burillo et al. \(2005\)](#) предлагат еволюционен сценарий, в който действието на гравитационните усукващи моменти и вискозността води до повтарящи се епизоди на активност, индиректно свързани с нестабилности на бара, по време на типичния живот на всяка галактика. Ако галактиката с бар е от ранен тип, т.е. с достатъчна централна концентрация на масата, ще има един или два ILR. Газът ще се пренася от резонанса на коротация до ILR, където би се образувал ядрен пръстен, в който може да възникне звездообразуване. Положителните гравитационни усукващи моменти, обаче, няма да позволят на газа да пада навътре; под действието на бара газът, обграден от пръстена, ще бъде изтеглен навън. Така барът силно ще ограничи количеството газ, нужно за активността. Потокът на газ към центъра, породен от бара, обаче, е саморазрушителен процес, в който барът отслабва и се унищожава. Газът, образуващ ядрения пръстен, преминава в диск посредством вискозност. Така вискозните усукващи моменти могат да доставят гориво до централните 10 pc, където ще е в сферата на влияние на черната дупка. Потенциалът става осевосиметричен и цикълът може да започне отново.

1.6 Цели и структура на дисертационния труд

Основна цел на настоящия труд е анализ на индикациите за наличие на осевосиметрични пертурбации на потенциала на избрани Sy галактики и на контролна извадка неактивни галактики посредством анализ на морфологията и локалното им обкръжение. Доколкото това изследване е част от по-голям проект, включващ и корелация между структурните параметри (главно резултат от декомпозиция), вкл. “маса на SMBH – светимост на блъджа” на активните галактики, другата поставена задача – детайлна морфологична характеристика на Sy галактиките, е в контекста на търсене на механизми на хранване на ядрената активност, прецизно определяне на морфологичния тип и детайлна структурна декомпозиция.

Съдържанието на дисертационния труд е разпределено в девет глави. *Настоящата глава* представлява въведение в проблематиката; *втора глава* описва дефинирането на извадките, наблюденията и обработката. Стъпките на повърхностната фотометрия са проследени в *трета глава*, а привеждането към стандартна система – в *четвърта глава*. Локалното обкръжение на галактиките е описано в *пета глава*; отделните *Sy* галактики са коментирани в *шеста глава*. Резултатите са дискутирани в *седма глава*, а заключението е формулирано в *осма глава*. Публикациите на автора са представени в *девета глава*. *Приложението* съдържа контурни карти и профили на *Sy* галактиките. Накрая е дадено резюме на английски език.

Глава 2

Дефиниране на извадките, наблюдения и първична обработка

2.1 Дефиниране на извадките

Подбрани са *Sy* галактики с маси на черните дупки, определени по метода “reverberation mapping”, дадени от [Ho \(1999\)](#) и актуализирани от [Peterson et al. \(2004\)](#), както и относително слабо изучени *Sy* галактики в контекста на морфологична характеристика и многокомпонентна структурна декомпозиция от [Véron-Cetty & Véron \(1998\)](#), върху които са наложени следните ограничения:

- червено отместване $z < 0.1$, за да е налице пространствено разрешение, подходящо за надеждна морфологична характеристика и многокомпонентна декомпозиция;
- изофотален (на $25 B \text{ mag arcsec}^{-2}$) диаметър, по-голям от $20''$, т.е., добре разрешени родителски галактики;
- наклон $i < 70^\circ$, за да се избегнат силно наклонени галактики, при които търсените структури се извяват трудно;
- подходящи за наблюдение на Националната Астрономическа Обсерватория (НАО) Рожен, България.

Sy извадката се състои от 35 галактики. Подбрана е контролна извадка от неактивни галактики от CfARS (Center for Astrophysics Redshift Survey; [Huchra et al. 1983, 1995](#)) с цел да се сравнят морфологията и близката им околност. За всяка *Sy* галактика е подбрана съответна неактивна галактика с най-близки стойности на параметрите Хъбл тип, T , радиална хелиоцентрична скорост V_r , абсолютна звездна величина в B , M_{abs}^B , и елиптичност, ϵ . За две от най-далечните *Sy* галактики (III Zw 2 и Mrk 1513) не бяха намерени подходящи неактивни галактики в CfARS и затова техните контролни

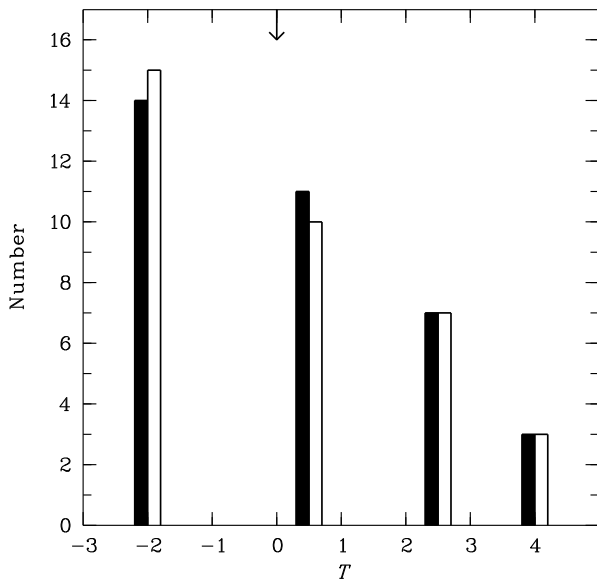
Таблица 2.1: Информация за извадката от Sy галактики.

Sy галактика	Други имена	z^{NED}	Sy ^{NED}
Mrk 335	PG 0003+199	0.025785 (63)	1.2
III Zw 2	Mrk 1501, PG 0007+106	0.089338	1.2
Mrk 348	NGC 262, UGC 00499	0.015034 (13)	2
I Zw 1	Mrk 1502, PG 0050+124	0.061142 (67)	1
Mrk 352	CGCG 501-058	0.014864 (20)	1
Mrk 573	UGC 01214	0.017179 (37)	2
Mrk 590	NGC 863, UGC 01727	0.026385 (40)	1.2
Mrk 595	CGCG 414-040	0.026982 (80)	1.5
3C 120	Mrk 1506, UGC 03087	0.033010 (30)	1
Ark 120	Mrk 1095, UGC 03271	0.032713 (57)	1
Mrk 376	IRAS 07105+4547	0.055980 (23)	1.5
Mrk 79	UGC 03973	0.022189 (27)	1.2
Mrk 382	CGCG 207-005	0.033687 (53)	1
NGC 3227	UGC 05620	0.003859 (10)	1.5
NGC 3516	UGC 06153	0.008836 (23)	1.5
NGC 4051	UGC 07030	0.002336 (4)	1.5
NGC 4151	UGC 07166	0.003319 (10)	1.5
Mrk 766	NGC 4253, UGC 07344	0.012929 (53)	1.5
Mrk 771	Ark 374, PG 1229+204	0.063010 (153)	1
NGC 4593	Mrk 1330	0.009000 (127)	1
Mrk 279	UGC 08823, PG 1351+695	0.030451 (83)	1.5
NGC 5548	Mrk 1509, UGC 09149	0.017175 (23)	1.5
Ark 479	CGCG 107-010	0.019664 (133)	2
Mrk 506	CGCG 170-020	0.043030 (40)	1.5
3C 382	CGCG 173-014	0.057870 (160)	1
3C 390.3	VII Zw 838	0.056100	1
NGC 6814	MCG -02-50-001	0.005214 (7)	1.5
Mrk 509	IRAS 20414-1054	0.034397 (40)	1.2
Mrk 1513	II Zw 136, PG 2130+099	0.062977 (100)	1
Mrk 304	II Zw 175, PG 2214+139	0.065762 (27)	1
Ark 564	UGC 12163	0.024684 (67)	1.8
NGC 7469	Mrk 1514, UGC 12332	0.016317 (7)	1.2
Mrk 315	II Zw 187	0.038870 (83)	1.5
NGC 7603	Mrk 530, UGC 12493	0.029524 (73)	1.5
Mrk 541	CGCG 408-001	0.039427 (40)	1

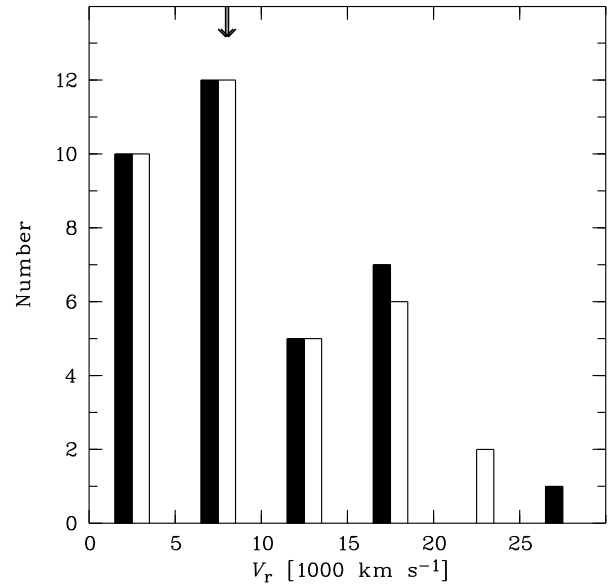
Таблица 2.2: Информация за извадката от неактивни галактики.

Sy галактика	Неактивна галактика	Източник ^a	Телескоп ^a	z^{NED}
Mrk 335	IC 5017	ESO	VLT-U4	0.025174 (87)
III Zw 2	2MASX J01505708+0014040	SDSS	2.5-m	0.082226 (102)
Mrk 348	NGC 2144	DSS+E	STs	0.015924
IZw 1	ESO 155- G 027	DSS+E	STs	0.062110 (334)
Mrk 352	2MASX J04363658-0250350	NED	CFHT	0.015564 (163)
Mrk 573	ESO 542- G 015	SDSS	2.5-m	0.018570 (90)
Mrk 590	NGC 4186	SDSS	2.5-m	0.026292 (17)
Mrk 595	2MASX J00342513-0735582	NED	CFHT	0.026218 (150)
3C 120	ESO 202- G 001	DSS+E	STs	0.033620 (87)
Ark 120	IC 5065	ESO	3.6-m	0.032689 (47)
Mrk 376	ESO 545- G 036	ESO ^b	Dutch	0.057166 (97)
Mrk 79	ESO 340- G 036	DSS+E	STs	0.021722 (83)
Mrk 382	ESO 268- G 032	DSS+E	STs	0.034657 (33)
NGC 3227	IC 5240	ESO	NTT	0.005886 (24)
NGC 3516	ESO 183- G 030	ESO	2.2-m	0.008966 (107)
NGC 4051	IC 1993	ESO	3.6-m	0.003602 (10)
NGC 4151	NGC 2775	SDSS	2.5-m	0.004516 (17)
Mrk 766	UGC 6520	SDSS	2.5-m	0.012255 (133)
Mrk 771	ESO 349- G 011	DSS+E	STs	0.063821 (93)
NGC 4593	NGC 4902	NED	CTIO 0.9-m	0.008916 (17)
Mrk 279	ESO 324- G 003	DSS+E	STs	0.029073
NGC 5548	NGC 466	DSS+E	STs	0.017552 (87)
Ark 479	ESO 297- G 027	ESO	NTT	0.021221 (33)
Mrk 506	ESO 510- G 048	DSS+E	STs	0.044991 (103)
3C 382	ESO 292- G 022	DSS+E	STs	0.056119 (107)
3C 390.3	ESO 249- G 009	DSS+E	STs	0.054534 (81)
NGC 6814	NGC 7421	ING	JKT, WHT	0.005979 (29)
Mrk 509	ESO 147- G 013	DSS+E	STs	0.035485 (93)
Mrk 1513	2MASX J14595983+2046121	SDSS	2.5-m	0.061600 (200) ^c
Mrk 304	ESO 292- G 007	DSS+E	STs	0.068381 (100)
Ark 564	ESO 552- G 053	DSS+E	STs	0.024147 (90)
NGC 7469	NGC 897	DSS ^d +E	STs	0.015868 (53)
Mrk 315	ESO 423- G 016	DSS+E	STs	0.039204 (73)
NGC 7603	ESO 113- G 050	DSS+E	STs	0.028873 (90)
Mrk 541	UGC 9532 NED04	SDSS	2.5-m	0.041889 (150)

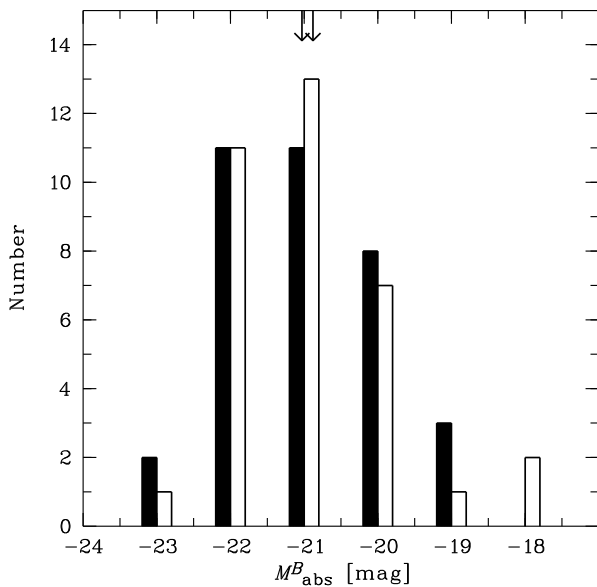
^a Виж Гл. 2.2.2. ^b Изследвахме R изображенията на [Beijersbergen et al. \(1999\)](#).^c Взето от SDSS. ^d Не са налични оптически данни от DSS II.



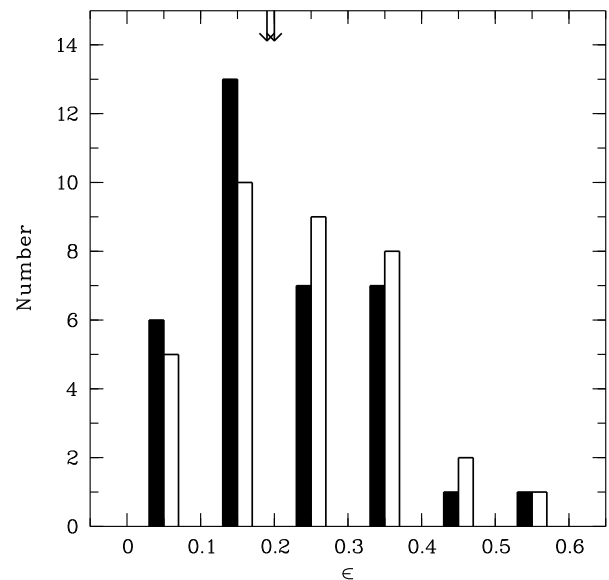
ФИГУРА 2.1: Разпределение на T , определени от нас, на Sy (запълнени колони) и контролната (празни колони) извадка. Показаните бинове съответстват на $T = -2$, $T = 0$, $T = 2, 3$ и $T = 4$. Стрелката посочва медианната стойност на двете извадки.



ФИГУРА 2.2: Разпределение на V_r на Sy (запълнени колони, взети от NED) и контролната (празни колони, взети от CfARS) извадка. Размерът на бина е 5000 km s^{-1} . Разликата между медианните стойности на извадките е $\approx 150 \text{ km s}^{-1}$, поради което стрелките, посочващи ги, трудно се разделят.



ФИГУРА 2.3: Разпределение на M_{abs}^B на Sy (запълнени колони, определени на базата на Slavcheva-Mihova & Mihov 2011b) и контролната (празни колони, определени на базата на CfARS) извадка. Размерът на бина е 1^m . Лявата и дясна стрелка посочват медианните стойности на контролната и Sy (плюс 0^m5 , виж текста) извадка, съответно.



ФИГУРА 2.4: Разпределение на ϵ , определени от Slavcheva-Mihova & Mihov (2011b), на Sy (запълнени колони) и контролната (празни колони) извадка. Размерът на бина е 0.1 . Лявата и дясна стрелка посочват медианните стойности на Sy и контролната извадка, съответно.

галактики бяха подбрани от SDSS (Sloan Digital Sky Survey, York et al. 2000). Неактивните галактики са подбирани с около половин звездна величина по-слаби от Sy галактиките, за да се компенсира влиянието на активното ядро – т.е. неактивна галактика с M_{abs}^B е подбирана за контролна на Sy галактика с $M_{\text{abs}}^B + 0^{\text{m}}5$; медианните стойности именно на тези величини са дадени по-долу и показани на Фиг. 2.3. Стойността $0^{\text{m}}5$ е средна и е базирана на предварителните ни резултати за приноса на активното ядро към пълните звездни величини на Sy галактиките (Mihov & Slavcheva-Mihova 2011). Медианните стойности на параметрите на подбор за Sy/неактивната извадка са $T = 0/0$, $V_r = 8089/7934 \text{ km s}^{-1}$, $M_{\text{abs}}^B = -20^{\text{m}}88/-21^{\text{m}}03$ и $\epsilon = 0.19/0.20$. Тяхното разпределение е показано на Фиг. 2.1-2.4.

Основна информация за галактиките е дадена в Табл. 2.1 и 2.2. Морфологичните особености на извадките са описани в Табл. 7.1 и 7.2. Морфологичният тип е взет от RC3 (Third Reference Catalogue of Bright Galaxies, de Vaucouleurs et al. 1991). Ако в RC3 няма класификация или тя е неточна, вземаме морфологичния тип, даден в NED¹ (NASA/IPAC Extragalactic Database); ако и там няма класификация, вземаме посочената в HyperLeda² (Paturel et al. 2003) или SIMBAD³.

¹<http://nedwww.ipac.caltech.edu>

²<http://leda.univ-lyon1.fr>

³<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

2.2 Наблюдения

2.2.1 Сийфърт галактики

Наблюденията са извършени на 2-м Ричи-Кретиен телескоп на НАО Рожен с 1024×1024 CCD камера Photometrics AT200 (чип SITe SI003AB с размер на пиксела $24 \mu\text{m}$, при което мащабният фактор е $0.309 \text{ arcsec px}^{-1}$) или 1340×1300 Princeton Instruments VersArray:1300B CCD camera (чип EEV CCD36-40 с размер на пиксела $20 \mu\text{m}$ и мащабен фактор $0.258 \text{ arcsec px}^{-1}$). Две от галактиките са наблюдавани с 2-канален фокален редуктор (Jockers et al. 2000) и 512×512 Princeton Instruments VersArray:512B CCD камера (чип EEV CCD77-00 с размер на пиксела $24 \mu\text{m}$ и мащабен фактор $0.884 \text{ arcsec px}^{-1}$). Използвани са стандартни Johnson-Cousins BVR_CI_C филтри.

Наблюденията са проведени в периода 1997 г. – 2008 г. Част от галактиките са наблюдавани многократно. За три от тях са ползвани архивни данни, тъй като получените изображения не са с достатъчно добро качество. Подробно описание на най-добрите наблюдателни данни (вкл. архивните) е дадено в Табл. 2.3 – посочени са датата на наблюдение, ползваните филтри, качеството на изображението, стандартните площадки, ползвани за калибровка, приемника. Ползвани са пълен и биниран режим на камерите в зависимост от фотометричните условия. Получавани са множествени изображения на всички обекти във всички филтри. Редовно са получавани кадри с “нулево” време на експонация за корекция на офсетния сигнал и кадри в I_C с минимален брой обекти в тях за създаване на изображение на интерференчната структура (виж Гл. 2.3). Плоски полета са получавани в сутрешния и/или вечерния полумрак. Телескопът е отместван между отделните изображения на плоските полета и на интерференчната структура, за да се отстранят евентуални обекти. Изображения на стандартни полета са получавани два-три пъти на нощ при различни стойности на въздушната маса X , като се има предвид бързото нарастване на грешките на коефициентите на екстинкция при $X > 1.5-2$ (напр. Harris et al. 1981). Изследваните галактики са наблюдавани в същия диапазон на X .

Времето на експонация на изображенията на галактики се определя от множество изисквания, в това число противоположни: от една страна са желателни къси експонации, за да се избегнат “преливане” на ядрените области и влошаване на изображението от евентуално недостатъчно добро “водене” на телескопа, от друга, дългите експонации способстват за по-високо отношение сигнал/шум (S/N) и за изявяване на слабите структури. Уместният компромис е съвместяване на няколко изображения с оптимално дълга експонация. В отделни случаи са съвместявани два сета изображения във всеки филтър – с кратко време на експонация, за да се разрешат фини образувания

Таблица 2.3: Информация относно наблюденията на Sy галактиките

Sy галактика	Дата	Филтри	FWHM	β	Стандарти	CCD	Забележки
(1)	[гггг мм дд]	(3)	[arcsec]	(5)	(6)	(7)	(8)
Mrk 335	1998 08 22	$BVR_C I_C$	1.17 ± 0.06	2.95 ± 0.12	NGC 7790	AT	
	2007 08 20	$VR_C I_C$	1.14 ± 0.03	3.67 ± 0.17	SS	VA	
III Zw 2	1997 09 09	$BVR_C I_C$	1.32 ± 0.03	3.66 ± 0.35	SS	AT2×	
Mrk 348	1997 09 07	$BVR_C I_C$	0.92 ± 0.05	3.24 ± 0.46	NGC 7790	AT	
I Zw 1	1998 08 20	$BVR_C I_C$	1.50 ± 0.03	2.75 ± 0.12	NGC 7790	AT2×	
Mrk 352 ^a	2007 08 21	R_C	0.86 ± 0.06	4.14 ± 0.89	SS	VA	
	2008 01 30	$BVR_C I_C$	1.45 ± 0.03	2.97 ± 0.06	SS	VA	
Mrk 573	1997 09 07	$BVR_C I_C$	1.60 ± 0.08	...	NGC 7790	AT	
Mrk 590 ^a	1997 09 06	$BVR_C I_C$	1.61 ± 0.04	2.44 ± 0.07	SS	AT2×	
Mrk 595	1997 09 09	$BVR_C I_C$	1.47 ± 0.02	3.78 ± 0.17	SS	AT2×	
3C 120	1997 09 09	$BVR_C I_C$	1.54 ± 0.03	3.71 ± 0.14	SS	AT2×	
	2008 02 01	$BVR_C I_C$	1.61 ± 0.03	3.47 ± 0.09	SS	VA	
Ark 120	1994 09 29	$B R_C$	0.95 ± 0.02	2.99 ± 0.18	SS	TEK4	JKT, $0''.33 \text{ px}^{-1}$
	1991 12 08	V	0.93 ± 0.07	3.87 ± 0.31	SS	SAIC1	CFHT, $0''.20 \text{ px}^{-1}$
Mrk 376	2008 02 03	$BVR_C I_C$	0.80 ± 0.02	3.84 ± 0.12	SS	VA	
Mrk 79	1999 02 16	$BVR_C I_C$	3.57 ± 0.29	8.15 ± 1.48	NGC 7790, M 92	AT2×	
	2008 02 01	$BVR_C I_C$	1.24 ± 0.04	3.76 ± 0.17	SS	VA	
Mrk 382	1998 02 27	$BVR_C I_C$	2.57 ± 0.15	5.39 ± 0.99	SS	AT2×	
	2008 02 02	$BVR_C I_C$	1.74 ± 0.04	3.50 ± 0.16	SS	VA	
NGC 3227	1999 04 17	$BVR_C I_C$	1.86 ± 0.08	5.59 ± 0.57	M 92	AT	
NGC 3516	2008 01 08	$VR_C I_C$	1.82 ± 0.05	3.54 ± 0.31	SS	FVA	
NGC 4051 ^b	1995 05 06	B	1.43 ± 0.07	3.43 ± 0.16	ZPh	TEK4	JKT, $0''.241 \text{ px}^{-1}$

Продължава на следващата страница...

Таблица 2.3 – Продължение

Галактика	Дата	Филтри	FWHM	β	Стандарти	CCD	Забележки
(1)	[гггг мм дд]	(3)	[arcsec]	(5)	(6)	(7)	(8)
	2000 03 30	R_C	1.78 ± 0.03	3.09 ± 0.30	SS	SITe2	JKT, $0''.241 \text{ px}^{-1}$
	2001 04 09	I_C	1.41 ± 0.04	4.42 ± 0.43	ZPh	SITe2	JKT, $0''.241 \text{ px}^{-1}$
NGC 4151	1999 03 10	BVR_CI_C	1.06 ± 0.03	2.98 ± 0.10	M 67	AT	
	1999 04 19	BVR_CI_C	2.55 ± 0.11	2.68 ± 0.47	M 92	AT2×	
Mrk 766	1999 02 15	BVR_CI_C	3.16 ± 0.04	4.23 ± 0.25	NGC 7790, M 92	AT2×	
Mrk 771 ^{a, c}	1990 06 23	$V \quad I_C$	0.56 ± 0.01	2.32 ± 0.01	M 92	SAIC1	CFHT, $0''.13 \text{ px}^{-1}$
NGC 4593	2008 01 08	VR_CI_C	2.56 ± 0.08	3.87 ± 0.48	SS	FVA	
Mrk 279 ^a	2008 02 02	BVR_CI_C	1.16 ± 0.03	3.01 ± 0.05	SS	VA	
NGC 5548	1999 04 19	BVR_CI_C	2.44 ± 0.26	3.05 ± 0.54	M 92	AT2×	
Ark 479	2007 07 19	VR_CI_C	1.19 ± 0.06	7.05 ± 0.48	SS	VA	
Mrk 506	1997 06 01	BVR_CI_C	2.47 ± 0.17	5.30 ± 1.03	M 92	AT2×	
	1998 07 18	BVR_CI_C	1.59 ± 0.03	3.22 ± 0.12	M 92	AT2×	
	2007 06 17	BVR_C	1.56 ± 0.03	3.29 ± 0.05	SS	VA	
3C 382	1998 08 23	BVR_CI_C	1.24 ± 0.03	3.49 ± 0.36	NGC 7790	AT2×	
3C 390.3	1998 08 20	BVR_CI_C	1.71 ± 0.06	3.43 ± 0.09	NGC 7790	AT2×	
NGC 6814	1997 07 06	BVR_CI_C	3.21 ± 0.10	3.01 ± 0.33	SS	AT2×	
	1997 07 10	BVR_CI_C	1.90 ± 0.07	3.83 ± 0.41	M 92	AT2×	
	1997 09 07	BVR_CI_C	1.70 ± 0.05	...	NGC 7790	AT2×	
	1998 07 18	BVR_CI_C	1.24 ± 0.01	2.33 ± 0.03	M 92	AT	
Mrk 509	1997 07 10	BVR_CI_C	1.70 ± 0.03	2.92 ± 0.07	M 92	AT2×	
	1997 09 08	BVR_CI_C	1.58 ± 0.08	9.40 ± 0.90	SS	AT2×	
	1998 07 20	BVR_CI_C	2.13 ± 0.06	3.66 ± 0.16	M 92	AT2×	
Mrk 1513	2007 08 20	VR_CI_C	1.19 ± 0.02	4.20 ± 0.13	SS	VA	
Mrk 304	1998 07 19	BVR_CI_C	2.07 ± 0.07	2.86 ± 0.19	M 92	AT2×	

Продължава на следващата страница...

Таблица 2.3 – Продължение

Галактика	Дата	Филтри	FWHM	β	Стандарти	CCD	Забележки
(1)	[гггг мм дд]	(3)	[arcsec]	(5)	(6)	(7)	(8)
Ark 564	1998 07 18	BVR_CI_C	2.11 ± 0.06	3.56 ± 0.20	M 92	AT2×	
	1998 08 20	BVR_CI_C	2.26 ± 0.14	...	NGC 7790	AT2×	
NGC 7469	1997 09 06	BVR_CI_C	1.39 ± 0.04	2.57 ± 0.32	SS	AT2×	
	1998 07 19	BVR_CI_C	1.91 ± 0.09	2.99 ± 0.20	M 92	AT2×	
	1998 08 23	BVR_CI_C	0.92 ± 0.02	4.68 ± 0.29	NGC 7790	AT	
	2003 07 28	BVR_CI_C	0.99 ± 0.04	3.41 ± 0.29	M 92	AT	
Mrk 315	2007 08 22	R_C	1.18 ± 0.02	3.37 ± 0.08	SS	VA	
NGC 7603	2007 07 19	$V \quad I_C$	1.41 ± 0.04	3.40 ± 0.17	SS	VA	
Mrk 541	2007 07 19	VR_CI_C	1.20 ± 0.04	3.42 ± 0.09	SS	VA	

(4) и (5) FWHM и β , съответно, на Мопат PSF (виж Гл. 2.3.6; многоточията означават фитирането с Гаусианен PSF); (6) SS – ползвани са вторични стандарти, ZP – нулпункт взет от хедъра на FITS файла; (7) CCD камери ползвани при наблюденията: AT – AT200, AT2× – AT200 2×2 бинирана, VA – VersArray:1300B и FVA – VersArray:512B монтирана на фокалния редуктор; (8) Телескопите, с които са получени архивните данни, и съответните мащабни фактори.

^a Ползвани са и архивни данни от HST.

^b виж [Knapen et al. \(2004\)](#) за подробности по наблюденията.

^c виж [Hutchings & Neff \(1992\)](#) за подробности по наблюденията.

в централните области и по-дълбоки изображения, изявяващи периферните структури (напр. Mrk 79). Телескопът е отместван между отделните изображения на дадена галактика, за да се неутрализира влиянието на дефекти на чипа.

2.2.2 Неактивни галактики

Неактивната извадка е базирана на архивни данни (Табл. 2.2). За около половината галактики са ползвани CCD данни от архивите на SDSS, ESO (European Southern Observatory), NED и ING (Isaac Newton Group of Telescopes). Ползваните телескопи са VLT-U4 (Very Large Telescope Unit 4), CFHT (Canada France Hawaii Telescope), NTT (New Technology Telescope), 0.9-m телескоп на CTIO (Cerro Tololo Inter-American Observatory), JKT (Jacobus Kapteyn Telescope) и WHT (William Herschel Telescope). SDSS ползва специално предназначен 2.5-m телескоп (Gunn et al. 1998, 2006) на Apache Point Observatory в Ню Мексико и получава изображения в пет филтъра (*ugriz*, Fukugita et al. 1996). Обработката на фотометричните данни е автоматизирана (Lupton et al. 2001; Stoughton et al. 2002). Първичната обработка на данните от архивите на ING и ESO е извършена както е описано по-долу. Данните, взети чрез NED, са обработени от съответните автори. За останалите галактики са ползвани данни от DSSI,II (Digitized Palomar Observatory Sky Survey I,II) и дигитализирания ESO-Uppsala Survey (Lauberts & Valentijn 1989), означени общо като DSS+E в Табл. 2.2. Schmidt телескопите, с които са получени горните два обзора са означени в таблицата като STs. Последващата обработка, описана по-долу, се отнася и за двете извадки, докато привеждането към стандартна фотометрична система касае Sy галактиките.

2.3 Първична обработка

Първичната обработка на данните е извършена с пакета MIDAS⁴ на ESO и се отнася както за изображенията на галактики, така и за стандартните полета.

2.3.1 Корекция за офсетен сигнал

Офсетният сигнал (bias) е присъщият на електрониката сигнал в отсъствието на фотони. Тъй като установихме зависимост на нивото му в областта на свръхсканиране (overscan area) от сигнала в последните изчетени колони, като представителни за определянето на средния офсетен сигнал са избрани вътрешните колони на областта на пресканиране (prescan area). Чрез медианно усредняване на изображения с нулева експонация с изваден среден офсетен сигнал получаваме т.нар. супер офсетни изображения (super bias pattern frames). Докато средният офсетен сигнал количествено описва сигнала при нулева експонация, офсетното изображение описва променливостта на сигнала в зависимост от положението му върху матрицата и има нулева средна стойност. С изваждането и на двете се коригира за ефекта на офсетен сигнал. Стойността на тока на тъмно е пренебрежима и не е обоснована корекцията му.

2.3.2 Корекция за плоско поле

Корекцията за плоско поле компенсира ефекта на различно ниво на сигнала в отделните пиксели на матрицата при равномерна осветеност в резултат на различна квантова ефективност на пикселите, дефекти, наличие на прах върху оптичните компоненти на системата телескоп-камера, винетиране и др. След като отделните изображения на плоски полета (flat field frames) се нормализират по минимално винетираните централни области (Newberry 1996), се усредняват медианно, за да се построи супер плоско поле (master/super flat field) за всеки филтър и за всяка нощ. Важни за получаването на супер плоско поле с високо S/N са натрупването на оптимално дълги експонации в линейния диапазон на CCD камерата и усредняването на голям брой изображения. Понякога се появява дефект (напр. попадане на прашичка) в средата на наблюдателната нощ и част от изображенията трябва да се коригират с вечерните плоски полета, а останалите – със сутрешните.

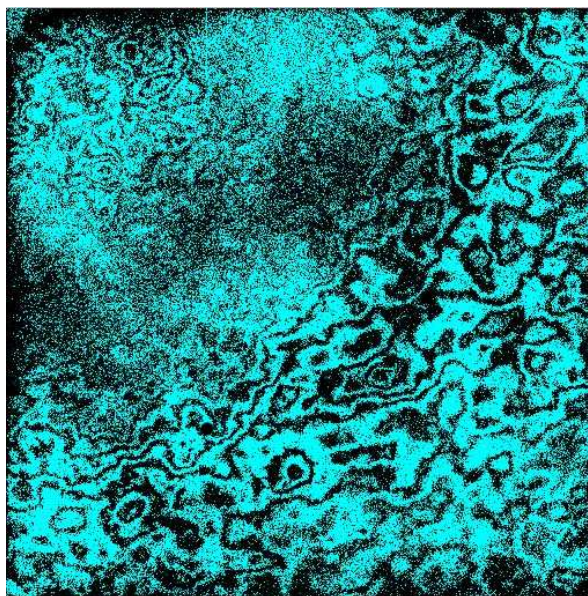
2.3.3 Корекция за космически частици и лоши пиксели

Следите от космически частици и лошите пиксели (горещи или нечувствителни пиксели и съседните на тях) са третираны тривиално – заменени със средната медианна стойност (командата FILTER/COSMIC ефикасно диагностицира проблемните пиксели).

⁴Munich Image Data Analysis System

2.3.4 Корекция за наличието на интерференчна структура

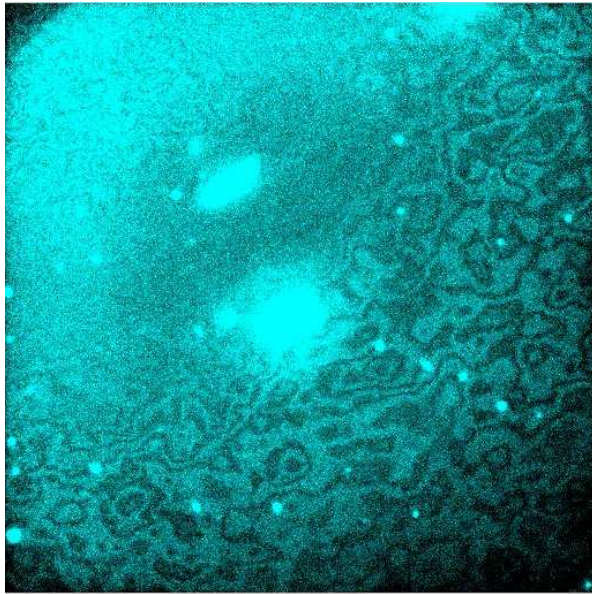
Интерференчната структура (fringe pattern) се създава от интерференцията на фотони с относително големи дължини на вълните от тънки слоеве на CCD матрицата. Нейната корекция повишава S/N във външните области на галактиката (способствайки по този начин и за по-доброто изявяване на слаби структури) и спомага за по-точното определяне на фона на небето там. На практика тази корекция става по следния начин. Комбинираме медианно голям брой бедни на обекти I_C изображения с изваден фон на небето с цел да получим супер интерференчно изображение (super fringe frame) с относително голямо S/N . Неговата структура е стабилна, доколкото основните определящи я фактори са линиите на нощното небе и вариациите на дебелината на слоевете в чипа. Така, амплитудата на интерференчното изображение е пропорционална на времето на експонация, но зависи и от други фактори (напр. наличието на разсеяна светлина от луната), следователно е по-резонно тя да се скалира по нивото на фона на подлежащото на корекция изображение. На Фиг. 2.5 е дадено супер интерференчно изображение на камерата Photometrics AT200; Фиг. 2.6-2.8 илюстрират ефекта на корекция на интерференчната структура за галактиките NGC 7469 и NGC 6814.



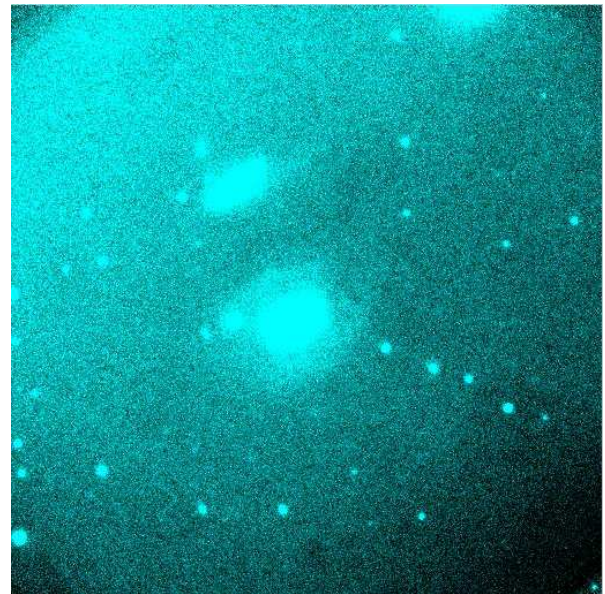
Фигура 2.5: Супер интерференчно изображение на камерата Photometrics AT200.

2.3.5 Съвместяване на изображения

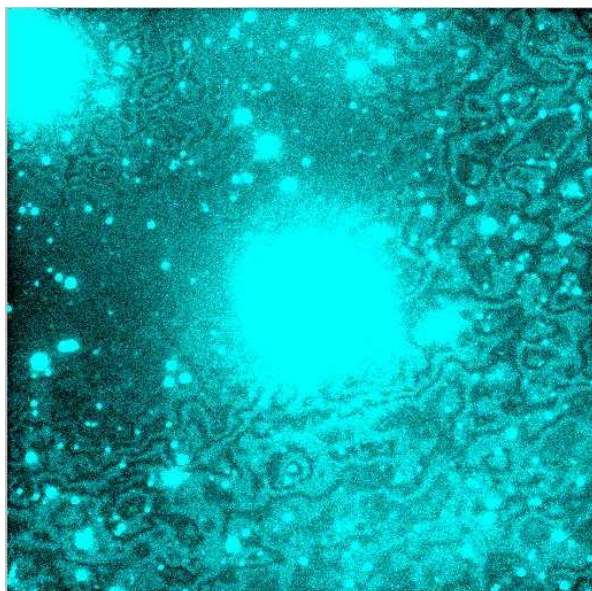
Отделните изображения на дадена галактика се съвместяват с помощта на отправни точки, дефинирани като върховете на Гаусиан, фитиран към профила на общи звезди, спрямо изображението с най-високо S/N – обикновено R_C поради оптималното



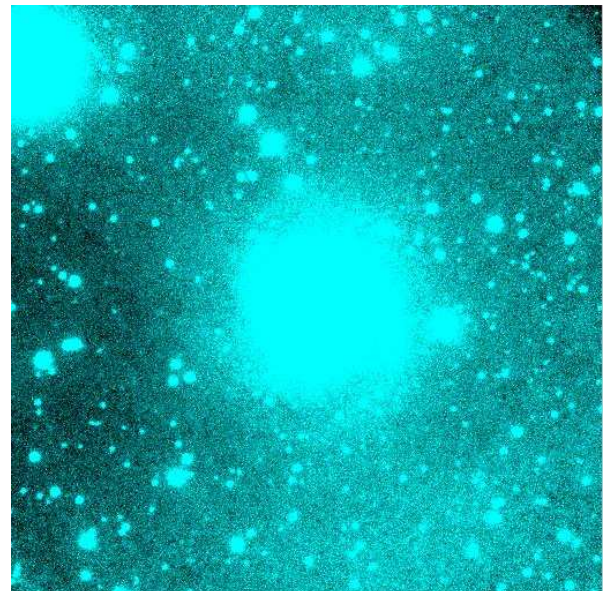
ФИГУРА 2.6: Изображение на галактиката NGC 7469 без корекция на интерференчната структура.



ФИГУРА 2.7: Изображение на галактиката NGC 7469 с коригирана интерференчна структура.



ФИГУРА 2.8: Изображение на галактиката NGC 6814 без корекция на интерференчната структура.



ФИГУРА 2.9: Изображение на галактиката NGC 6814 с коригирана интерференчна структура.

съотношение между квантовата ефективност на CCD приемника и фона на небето в този филтър. (I_C филтърът не е подходящ поради по-високия фон на небето там и наличието на интерференчна структура). Съвместените изображения се комбинират (напр. чрез събиране или медианно усредняване като се взема предвид времето на експонация) така че да се получи по едно изображение във всеки филтър (освен в случаите, когато са правени по-къси/дълги изображения, изявяващи по-добре централните/периферните области).

2.3.6 Определяне качеството на изображението

Наблюдаването във фокалната равнина на телескопа изображение на даден обект се деформира от съвместното влияние на атмосферата и оптичката система поради нестабилна атмосфера, неточности при гидиране, дефокусировка и др.

Качеството на изображението се характеризира от т.нар. функция на разсейване на точка (point spread function, PSF), наричана още функция на прехода или импулсна характеристика на деформиращата система атмосфера+телескоп:

$$I_{\text{obs}}(x, y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} s(x - x', y - y') I_0(x', y') dx' dy', \quad (2.1)$$

където I_{obs}/I_0 е наблюдаваната/истинската яркост, а s е PSF. PSF влияе върху видимите звездни величини, повърхностната яркост в централните части на галактиките, увеличава ефективния радиус, намалява видимата елиптичност на изофотите и особено силно действа върху далечните обекти, чиито размери са съизмерими с пълните ширини на половин максимум (full width at half maximum, FWHM) на PSF. Силно е и влиянието върху параметъра n от Закона на Серсик.

PSF може да се определи аналитично или емпирично. Определяме двумерната PSF на всяко изображение аналитично от избрани ярки изолирани звезди в линейния диапазон на CCD камерата. Като апроксимираме с 2-мерен (2D) Мофат профил (Moffat 1969) и усредним тегловно FWHM и степенните показатели, β , на отделните фитове, получаваме параметрите на 2D Мофат профил за всеки филтър. Забележете, че при $\beta \rightarrow \infty$, Мофат профил \rightarrow Гаусиан (Trujillo et al. 2001), а при $\beta = 1$, Мофат профил \equiv Лоренциан. PSF силно влияе на параметрите на централната област на галактиката. Това налага преди съвместната обработка на изображения (напр. комбинирание на изображения в един филтър, цветни карти, цветни профили) те да се приведат към PSF с еднакви (обикновено по-големите) FWHM. Минималните FWHM (по всички филтри) и съответните β са дадени в Табл. 2.3. FWHM/ β варират между 0.56/2.32 и 3.57/9.40 с медианно 1.55/3.43, ако се имат предвид всички наблюдателни сетове, дадени в Табл. 2.3 и между 0.56/2.32 и 3.16/9.40 с медианно 1.41/3.52, ако за всяка галактика се има предвид нощта с най-добро изображение.

Глава 3

Повърхностна фотометрия

3.1 Адаптивна филтрация

Редуцирането на шума, фундаментален проблем в обработката на изображения по принцип, е от изключителна важност за астрономията и специално за повърхностната фотометрия поради специфичния интерес към слабите сигнали. Филтрацията е широко прилаган похват. Освен за редуциране на шума, филтрите имат приложение и за отстраняване на артефакти, разпознаване на структури, компресиране на данни и др. Спектърът на шума не винаги достига по-високи честоти от тези на елементите на сигнала с най-високо разрешение и те се деформират при стационарна филтрация. Фонът, от друга страна, се нуждае от известна филтрация. Следователно, нужен е променлив по място филтър, който да изглади силно фона и да не действа изобщо върху структурите с високо разрешение.

Адаптивната филтрация (описана в [Richter 1978](#); [Richter et al. 1991](#); [Lorenz et al. 1993](#)) е друг подход за увеличаване на S/N . Процедурата ползва H -трансформации за определяне на локалното S/N във всяка точка на изображението като функция на разрешението и определя размера на отговора на импулса на филтъра в тази точка. В области на високо S/N размерът на отговора на импулса е малък и обратно, в резултат на което частите от галактиката с по-голяма/малка яркост са почти непроменени/силно променени ([Vennik et al. 2000](#); [Tamm & Tenjes 2001](#)). Така, адаптивният (променлив в пространството) филтър изглажда силно фона, в по-малка степен периферните области от галактиката и оставя непроменени структурите с най-голямо разрешение. Силата на филтъра, дефинирана от минималното S/N за детектиране на локален сигнал, по принцип зависи от средното квадратично отклонение на фона на небето, σ_{sky} . Максималният размер на филтъра, както и силата му, са променливи. Според [Tamm & Tenjes \(2001\)](#) до най-добри резултати води задаването на 11×11 пиксела за максимален размер и ниво на прага $3 \times \sigma_{sky}$. Съгласно [Vennik et al. \(2000\)](#) оптималните стойности на максималния размер на филтъра са $15 \times 15 - 23 \times 23$ пиксела в зависимост от качеството на изображението, а на силата на

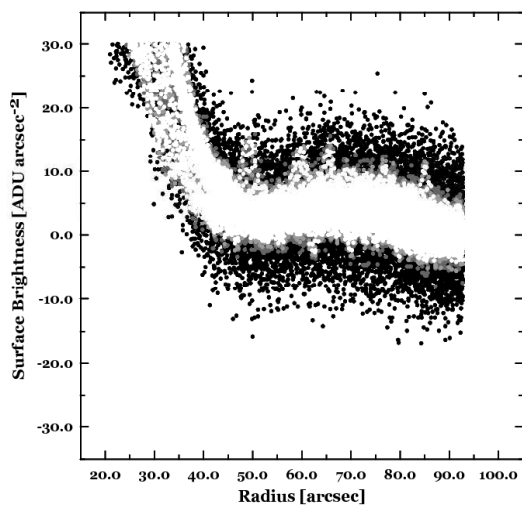
филтъра – $2-2.5 \times \sigma_{\text{sky}}$. Адаптивният филтър широко се прилага и за отстраняване на артефакти, проектирани обекти и дефекти на чипа, както и при топологични операции с маски, разпознаване на структури, компресиране на данни и др. Често интересуващите ни структури са най-изявени на даден средночестотен диапазон, а приори неизвестен и може да се мени в изображението. Адаптивният филтър търси честотния диапазон, съдържащ структурата, и го усилва. Първоначално е развит за компресия на данни при сканиране на Schmidt плаки (фактор на компресия до 100). Реализиран е в PAFF (Potsdam Adaptive Filtering Facility), достъпен е в MIDAS и IRAF¹ (Image Reduction and Analysis Facility). Той не внася систематични дисторсии (Caraccioli et al. 1988; Tamm & Tenjes 2001) – важно уточнение за използването му в повърхностната фотометрия. Основното преимущество на техниката на адаптивна филтрация се състои в разпознаването на разрешението на локалния сигнал и адаптиране на отговор на импулса към това разрешение.

При адаптивната филтрация и топологични операции с маски са ползвани процедури от пакета AIP (Astrophysical Institute of Potsdam; Lorenz et al. 1993; Vennik et al. 1996, 2000), интегриран в MIDAS. На практика преди прилагането на адаптивния филтър се налагат маски върху по-ярките нежелани обекти. Това е съществено за правилното определяне на параметрите на шума, ползвани от филтъра. Особено внимание се обръща върху конструирането на маски при големи размери на филтъра: маските на ярките обекти трябва да са достатъчно големи, за да се избегнат артефакти от периферията им. Филтрацията е последвана от интерактивно отстраняване на нежеланите структури (виж Гл. 3.2).

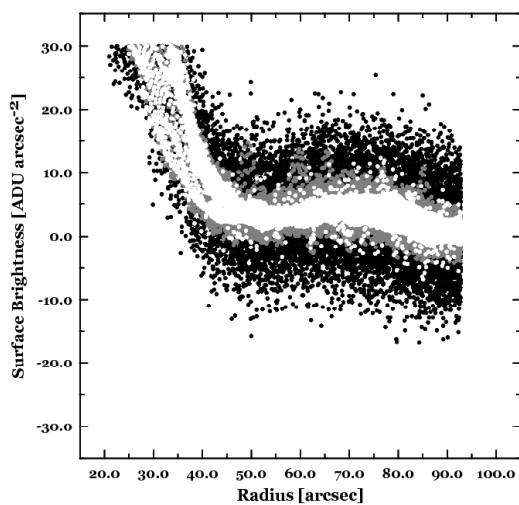
За онагледяване на изглаждащото действие на адаптивния филтър, го съпоставяме с това на три често ползвани филтри в повърхностната фотометрия на галактики – медианен, пълзящо средно, и Гаусианен (Slavcheva-Mihova et al. 2006). Размерите на последните три филтъра са по-малки от FWHM на PSF на изображенията. За целта представяме азимутално усреднените R_C профили на SB на NGC 5548 (коригирани за фон на небето), независимо изгладени от тези четири филтъра. Размерът на x оста е около два пъти по-голям от размера на галактиката, за да оценим ефекта на филтрите както върху галактиката, така и върху фона. Сравняването на профилите на ниски нива на SB показва, че най-слабо действие има медианният филтър, последван от пълзящо средно и Гаусианния, като между тях не се забелязва съществена разлика (Фиг. 3.1). На Фиг. 3.2, представяща Гаусианния и адаптивния филтър, ясно се вижда по-силният изглаждащ ефект на ниски нива на последния. Благодарение на това слабите периферни области на галактиката могат да бъдат проследени.

Фиг. 3.3 проследява действието на разглежданите филтри при високи нива за същите галактики. Вижда се, че адаптивният филтър стриктно следва стойностите на SB в централните области и оставя структурите там непроменени. Останалите филтри преразпределят потока, като влошават разрешението в централните области на обекта. Така, главните преимущества на адаптивния филтър са, че не действа върху

¹<http://iraf.noao.edu/>

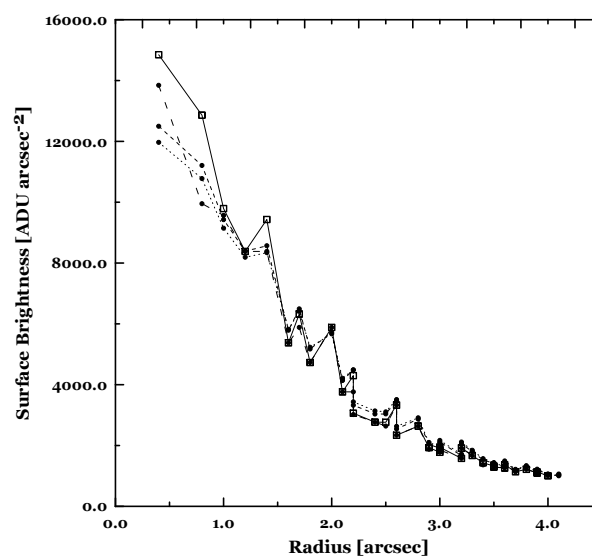


ФИГУРА 3.1: Профил на SB на оригиналното изображение на NGC 5548 (черно) и наложени профили на изгладеното изображение с медианен (тъмносиво), пълзящо средно (светлосиво) и Гаусианен (бяло) филтър при относително слаби нива на сигнала.



ФИГУРА 3.2: Профил на SB на оригиналното изображение на NGC 5548 (черно) и наложени профили на изгладеното изображение с Гаусианен (сиво) и адаптивен (бяло) филтър при относително слаби нива на сигнала.

ярките структури в галактиките и силно изглажда слабите области и фона, в резултат на което периферните области могат да бъдат по-добре проследени и S/N там се усилва.



Фигура 3.3: Профил на SB на изгладеното изображение на NGC 5548 с медианен (дълги тирета), пълзящо средно (къси тирета), Гаусианен (точки) и адаптивен (плътна линия) филтър, наложени върху точките на неизгладеното изображение (квадратчета) при високи нива на сигнала.

3.2 Корекция за нежелани структури

Формата на изофотите може систематично да се модифицира от същински компоненти (като прахови ивици, слаби структури, области на звездообразуване и др.), нежелани структури, корекция за фона на небето и др. Нежелани структури са: нежелани обекти (проектирани звезди/галактики или галактики-спътници) или артефакти (следи от метеори, разсеяна светлина от близки звезди или звезди извън полето, дифракционни лъчи от ярки звезди, космически частици, недобре коригирани CCD дефекти). Критериите кои нежелани обекти да бъдат отстранени зависят от поставената задача. Обикновено принципът е да се отстраняват само обекти, които недвусмислено са проектирани (напр. само звездообразните обекти, за които е абсолютно сигурно, че не принадлежат на галактиката и не са H II области или когато няма дифузно лъчение, свързващо ги с галактиката). Създадени са методи на разпознаване на H II областите, базирани на цветни показатели (colour indices; [Bridžius & Vansevičius 2001](#)). Напр. разпознаването на H II областите и проектираните галактики не е тривиално, особено когато са разположени в периферията на разглежданата галактика ([Dalcanton & Bernstein 2000](#)). Като се има предвид, че разглеждаме слаби обекти, включването/изключването им от разглеждане би повлияло единствено формите на слабите изофоти ([Dalcanton & Bernstein 2000](#); [Parodi et al. 2002](#)). Колкото по-близо е разположена дадена нежелана структура до центъра на галактиката, толкова по-внимателно я третираме. Ползвани са следните методи на корекция: интерполация, изваждане на PSF, симетрично заместване, деблендиране и коригиране в пръстени.

Интерполация. Това е най-често ползваната техника. Алгоритъмът (в пакета AIP) генерира маски върху нежеланите структури и интерполира сигнала там.

Тривиалният подход при създаването на маски е задаването на праг, обикновено обвързан със средноквадратичното отклонение на фона на небето, като размерът на маскираната област впоследствие може да се увеличи, минимизирайки по този начин влиянието на нежеланите обекти. Резонно е за всяка галактика да се ползват идентичен набор маски във всички филтри, за да се ограничи анализът на галактиката до едни и същи области (напр. [Dalcanton & Bernstein 2000](#)). Типично маски се създават върху изгладените изображения с най-голямо S/N, т.е. R_C . Резултантните маски впоследствие се преглеждат с цел да се отстранят допълнителни нежелани структури или артефакти във всички филтри. Някои случаи – обекти с различна яркост в отделните филтри (напр. твърде сини/червени), следи от метеори или спътници, дифракционни лъчи от ярки звезди, разсеяна светлина от съседни звезди, разтичане по колони – са специфични за всяко изображение и изискват индивидуален подход. Например, ярка звезда в полето на Ark 564 причинява отражения на главното огледало на телескопа и разтичане по колони, които се отстраняват с набор от индивидуално създадени маски. По принцип маскирането на нежеланите обекти става след комбиниране на изображенията във всеки филтър. В случаите на специфични “замърсители” това, разбира се, става на отделните изображения. По този начин се

създават вторичен набор от маски. Създаването на набор маски има приложение и за изключване приноса на слабите области на галактиката при определяне фона на небето.

Сигналът в маскираните райони се генерира като се интерполират нивата на съседните области, ползвайки интерактивен полигонен редактор ([Lorenz et al. 1993](#); [Vennik et al. 1996, 2000](#)). Недостатъкът на замяната на маскираните пиксели с локалното средно е, че на съседните области (включително на лоши пиксели) се дава по-голямо тегло, отколкото е нужно във всички последващи анализи. Добавянето на шум към апроксимираните стойности е спорно.

Изваждане на PSF. Тази техника се прилага в случай на звездообразен нежелан обект, особено когато е проектиран върху области от галактиката с голям градиент (напр. звездата върху изображението на Mrk 506). PSF на изображението се съвместява, скалира и изважда от нежелания обект.

Симетрично заместване. Замества се засегнатата област с областта, симетрична спрямо центъра и свободна от нежелани структури. Използва се, когато засегнатата област не заема твърде голяма част от галактиката, далече е от центъра ѝ и изображението в двете области е симетрично.

Деблендиране. Итеративно фитираме с елипси нежелания обект и галактиката, започвайки от по-яркия обект, и изваждаме фитираните модели от оригиналното изображение до достигане на сходимост (напр. Ark 479).

Коригиране в пръстени. Засегнатата област се покрива с елиптически пръстени с фиксирана ширина, центрирани върху ядрото на галактиката. Във всеки пръстен стойностите на пикселите, различаващи се с повече от предварително зададена стойност (напр. $2.5 \times \sigma$) над модата, се заместват с нея (за повече детайли виж [Markov et al. 1997](#)).

В случай че искаме да запазим дадена структура в изображенията, но да не я вземем предвид във фитирането с елипси, ползваме опцията на командата FIT/ELL3 за изключване от фита на сектора, съдържащ дадената структура (напр. протяжната структура в Mrk 335).

3.3 Определяне фона на небето

Ключов етап в повърхностната фотометрия е определянето фона на небето в заеманата от галактиката област. Класическият начин е 2D интерполация на фона на небето, намерен извън галактиката в областта, заета от галактиката:

$$I_{\text{gal}}(x, y) = I_{\text{gal+sky}}(x, y) - I_{\text{sky}}(x, y). \quad (3.1)$$

Точността на интерполация зависи от съотношението между площта, по която е определен фона на небето, и площта, заета от галактиката. Фонът на небето се определя върху изгладеното изображение, коригирано за нежелани обекти, като се апроксимира разпределението на яркостта на небето, определено чрез интегриране в малки свободни от обекти участъци, с повърхнина, дефинирана от 2D полином от първа степен по метода на най-малките квадрати (с командата FIT/FLATSKY). За да сме сигурни, че към фона няма да имат принос слабите части на галактиката или случайно попаднали обекти, и да бъде процедурата по-обективна, преди определянето му се маскират всички пиксели, чиито интензитет надхвърля първоначалната му оценка с даден фактор грешката на фона с помощта на пакета AIP. Първоначалната оценка на фона и грешката се намират посредством хистограмен анализ. Използва се полином от минимална степен, при който разликите с фона са приемливи (Bergvall & Östlin 2002). Фитиране на фона с полином от по-висока степен би внесло трудности за интерпретация елементи, затова се ограничаваме с наклонена равнина. Освен единични случаи 2D полином от първа степен е добър фит за фона на небето. Точното определяне на фона акцентира и върху необходимостта от правилна корекция за плоско поле. В случаи на евентуален градиент и на достатъчна площ, заета от фон, участъците за определяне на фона се разполагат относително близо до границите на галактиката.

Интерполацията на фона на небето предполага равномерно и предсказуемо разпределение и случайните флуктуации не могат да бъдат отчетени. За грешка на фона, σ_{sky} , приемаме стандартното отклонение около фитираната равнина. При по-слабите изофоти тази грешка е доминираща.

За всяка галактика се построява крива на нарастване като се интегрира яркостта в елиптични апертури (Barazza et al. 2003). Равномерен фон на небето с нулева яркост би породил асимптотична крива на нарастване, докато съществуващи градиенти или отклонения от нулеви стойности биха причинили монотонно нарастване или максимум, последван от монотонно намаляване (Parodi et al. 2002). Поведението на кривата на нарастване при големи разстояния от центъра дава алтернативна възможност да оценим стойността и равномерността на фона. Формата ѝ може да се ползва за “финото” определяне на фона чрез добавяне към или изваждане от изображението на константа с малка стойност в сравнение с фона (Binggeli et al. 1984; Parodi et al. 2002).

Варирайки фона, построяваме асимптотична крива на нарастване. Като цяло процедурите ни работят добре макар недвусмисленото определяне на фона да е затруднено в някои случаи като наличие на много звезди, наличие на градиент или когато фонът на небето заема малка относителна част от изображението. В случаи на неасимптотично плоска крива на нарастване предпочитаме да определим наново фона вместо да добавяме/извадим константа. По аналогичен на метода на кривата на нарастване начин, фонът може да бъде определен или уточнен и чрез анализ на профила на SB. На достатъчно големи разстояния от центъра профилът на SB се очаква да намалява приблизително линейно в логаритмична (или в $r^{1/4}$) скала. Ако профилът на SB намалява твърде бързо/бавно, фонът е бил надценен/подценен и е резонно добавянето/изваждането на константа. Така могат да се определят и грешките на фона на небето.

Разгледахме методите на крива на нарастване и на профила на SB като коректив на вече определения фон на небето. Те могат да се ползват и като алтернативен подход при намирането на фона на небето. Класическият начин се осланя на статистическа оценка на яркостта на свободни от обекти области и при малка относителна площ на тези области прилагането му е нежелателно поради ниското S/N. Алегорично бихме могли да кажем, че тези алтернативни методи се отнасят към класическия както PSF фотометрията към звездната фотометрия.

3.4 Фитиране на изофотите с елипси

Фитирането на изофотите с елипси е мотивирано от формата им. Целта е получаването на гладък модел на галактиката, даващ информация за формата и ориентацията на изофотите. Те могат да не са достатъчно представителни за галактики с бар, късни спирални и неправилни галактики. Съществуват различни подходи за получаване профили на SB. Фитът може да е с растяща стъпка на голямата полуос a (Jedrzejewski 1987, интегриран в процедурата `ELLIPSE` на пакета `STSDAS` на `IRAF`) или с логаритмично еквидистантна стъпка по интензитет, т.е. с фиксирана стъпка по звездни величини (Bender & Möllenhoff 1987, интегриран в командата `FIT/ELL3` на пакета `SURFPHOT` на `MIDAS`). След като се намери най-добре фитиращата елипса, се параметризират резидуалите за отделните елипси като коефициентите са информативни за изофотите; напр. Фурие коефициентът c_4 характеризира формата на елипсите (Milvang-Jensen & Jørgensen 1999). Елиптичността, позиционният ъгъл (PA) и центърът могат да са както фиксирани, така и свободни параметри. Преимущество в първия случай е, че галактиката е фитирана с един и същ модел във всеки филтър (Beijersbergen et al. 1999), а във втория - че промените в тези параметри могат да отразяват реални физически процеси, напр. взаимодействие (Zheng et al. 1999).

Фитираме елипси към изофотите на изображенията на галактики, следвайки Bender & Möllenhoff (1987). Алгоритъмът работи при градиенти $dI/da < 0$, където I е изофоталният интензитет. Елипсите са фитирани до $I \approx \sigma_{\text{sky}}$. Грешките на параметрите на фитираните елипси се пресмятат съгласно Rauscher (1995). Грешката на дадено ниво на интензитета взема предвид грешката на средния интензитет в дадената елипса и на фона на небето (Smith & Heckman 1989). Като от изображението на галактиката извадим модела, създаден на базата на фитираните елипси, получаваме резидуал (остатъчно изображение) с изваден модел (model-subtracted residual). Като резултат от фитирането с елипси получаваме профили на SB, ϵ , и PA като функция на a за всяка галактика. Профилите не са представителни в централните области, съизмерими с FWHM на изображението. Радиални профили на цветните показатели (цветни профили) се получават чрез изваждане на отделни калибрирани профили на SB (виж Гл. 4), след като се приведат към една и съща FWHM.

Предварителни резултати от повърхностната фотометрия са представени в Petrov et al. (1999) и Slavcheva-Mihova et al. (2005).

3.5 Спомагателни изображения

За улесняване изявяването на структури в отделните галактики са създадени следните спомагателни изображения: цветни изображения, структурни карти, резидуали с изваден модел (виж Гл. 3.4) и резидуали с извадена/разделени на неконтрастна маска; в отделни случаи е изваден фитиран 2D аналитичен модел.

Цветни изображения са създадени като съответните калибрирани изображения са приведени към еднаква (по-лоша) FWHM. Освен това изображенията са изгладени с медианен филтър с променлив размер в зависимост от размера на интересувашата ни структура. Чрез изваждане на изгладеното изображение от оригиналното получаваме резидуал с извадена неконтрастна маска; аналогично, делейки изображението на изгладеното, получаваме резидуал, разделен на неконтрастна маска (Sofue 1993; Sofue et al. 1994; Laurikainen et al. 2005). Процедурата на изваждане е най-успешна в периферията на галактиките и не е удачна в централните области, тъй като приносът на статичния шум (shot noise) там е голям; обратно, процедурата на делене е най-подходяща за изследване на централни структури поради ниски нива на статичен шум (Lauer 1985).

Структурна карта, \mathcal{S} (Pogge & Martini 2002), конструираме така:

$$\mathcal{S} = \left(\frac{\mathcal{O}}{\mathcal{O} \otimes \mathcal{M}} \right) \otimes \mathcal{M}^T, \quad (3.2)$$

където \mathcal{O} е оригиналното изображение, \mathcal{M} е Мофат PSF, \mathcal{M}^T е транспонираната PSF, $\mathcal{M}^T(x, y) = \mathcal{M}(-x, -y)$, и \otimes е операторът на конволюция.

3.6 Характеризация на баровете

Класическото проявление на бара върху профилите е максимум на елиптичността, придружен от плато на PA и издатина на SB (Wozniak & Pierce 1991; Wozniak et al. 1995). По-късно се въвеждат по-обстойни критерии (Knapen et al. 2000; Menéndez-Delmestre et al. 2007; Marinova & Jogee 2007; Aguerri et al. 2009). Считаме дадена галактика с бар, ако има максимум на елиптичността, по-голям от 0.16, и амплитуда поне 0.08, както и PA, постоянен в рамките на 20° , съгласно Aguerri et al. (2009). При прехода към диска PA се променя, освен ако барът и дискът не са ориентирани по сходен начин. Приемаме максимума на елиптичността и съответния PA в областта на бара за негови елиптичност (ϵ_{bar}) и PA (PA_{bar}), съответно. Наличието на бъддж, както и евентуалната правоъгълна форма на изофотите на бара, водят до подценяване елиптичността на бара, получена на базата на фитиране с елипси, особено в галактики с големи бъдджове (виж също Menéndez-Delmestre et al. 2007). Като цяло PA в областта на бара е добре ограничен благодарение на x_1 орбитите (напр. Athanassoula 1992). Нека отбележим, че при разглеждане на барове и пръстени се вземат предвид само крупномащабни структури. Приемаме $a = 1$ крс като граница за ядрени барове съгласно Greusard et al. (2000) и $a = 1.5$ крс – за ядрени пръстени (Erwin & Sparke 2002).

Таблица 3.1: Депроектирана елиптичност на бара на извадката от Sy галактики.

Sy галактика	$\epsilon_{\text{bar}}^{(i)}$
Mrk 573	0.42 ± 0.01
Mrk 595	0.13 ± 0.01
Mrk 376	0.39 ± 0.03
Mrk 79	0.66 ± 0.03
Mrk 382	0.33 ± 0.03
NGC 3227	0.21 ± 0.08
NGC 3516	0.34 ± 0.01
NGC 4051	0.45 ± 0.11
NGC 4151	0.54 ± 0.02
Mrk 766	0.43 ± 0.03
Mrk 771	0.44 ± 0.04
NGC 4593	0.44 ± 0.14
Mrk 279	0.13 ± 0.01
Ark 479	0.25 ± 0.02
NGC 6814	0.33 ± 0.01
Ark 564	0.57 ± 0.01
NGC 7469	0.12 ± 0.01
Med./MAD	0.39 / 0.12

Таблица 3.2: Депроектирана елиптичност на бара на извадката от неактивни галактики.

Неактивна галактика	$\epsilon_{\text{bar}}^{(i)}$
IC 5017	0.55 ± 0.06
ESO 155– G 027	0.68 ± 0.04
ESO 542– G 015	0.29 ± 0.01
2MASX J00342513–0735582	0.14 ± 0.01
IC 5065	0.12 ± 0.01
ESO 340– G 036	0.51 ± 0.08
ESO 268– G 032	0.44 ± 0.06
IC 5240	0.64 ± 0.02
UGC 6520	0.47 ± 0.02
ESO 349– G 011	0.56 ± 0.05
NGC 4902	0.58 ± 0.03
ESO 249– G 009	0.37 ± 0.02
NGC 7421	0.57 ± 0.08
ESO 552– G 053	0.69 ± 0.03
ESO 423– G 016	0.36 ± 0.02
UGC 9532 NED04	0.40 ± 0.03
Med./MAD	0.49 / 0.14

За определяне елиптичността на бара са използвани I_C профилите, тъй като там баровете са най-добре изявени и влиянието на спиралната структура е минимално. При наличие на данни от няколко епохи стойностите са тегловно усреднени освен за Mrk 79 (взети са предвид само данните с по-добро качество на изображението, виж Гл. 6.12)². Депроектираната елиптичност на бара, $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)}$, е намерена съгласно [Martin \(1995, виж също Slavcheva-Mihova & Mihov 2011b\)](#). В Табл. 3.1 и Табл. 3.2 са дадени определените елиптичности за двете извадки заедно с медианните стойности и средното абсолютно отклонение (mean absolute deviation, MAD) около тях.

Силата на бара може да се дефинира като отношението на максималната тангенциална сила към средната радиална сила съгласно [Combes & Sanders \(1981\)](#). Така, силата на бара зависи основно от елиптичността на бара, но и от неговата маса и наличието на масивен бълдж ([Laurikainen et al. 2002](#)). Определянето на силата на бара от елиптичността му се базира на аналитичната работа на [Athanassoula \(1992\)](#). Наличието на корелация между силата и депроектираната елиптичност на бара дава основание елиптичността на бара да се ползва за първо приближение на неговата сила (напр. [Martin 1995; Laurikainen et al. 2002; Block et al. 2004](#)). Дефинираме даден бар като силен, ако $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)} > 0.45$ съгласно [Laine et al. \(2002\)](#). Морфологичната класификация “SB” и “SAB”, дадена от нас, също се базира на този критерий. Наблюдаваните разлики в това отношение между класификациите, направени от това изследване и дадени в базите данни (виж Табл. 7.1), показват, че визуалната оценка на силата на бара не винаги е точна.

Mrk 595, Mrk 279 и NGC 7469 имат структури с индикациите на бар с депроектирани елиптичности под 0.15, което е типично за овали и лещи; без наличието на кинематични данни, обаче, не можем да сме по-конкретни ([Kormendy & Kennicutt 2004, виж също Sellwood & Wilkinson 1993](#)). Съгласно [Kormendy & Kennicutt \(2004\)](#) баровете и овалите са принципно еквивалентни относно потока на газ към центъра и съответните галактики имат сходна еволюция (повечето галактики с овали са класифицирани SAB); освен това, и овалите, и лещите са достатъчно асиметрични, за да породят т.нар. секулярна еволюция (виж също [Weinzirl et al. 2009](#)). Следователно, баровете, овалите и лещите са функционално еквивалентни в контекста на захранване на ядрената активност и за целите на по-нататъшния статистически анализ ще ги наричаме общо барове.

²Параметрите на бара на Mrk 771 и Mrk 279 са определени с помощта на данни от HST, а тези на NGC 6814 – ползвайки данни от 2MASS (Two Micron All Sky Survey, виж Гл. 6).

Глава 4

Привеждане към стандартна система

Привеждането към стандартна система (калибриране) на изображенията от фотометрични ноци се базира на стандартни площадки с голям брой звезди в звездните купове M 92, NGC 7790 и M 67. Ползваме разширената от [Majewski et al. \(1994\)](#) площадка на M 92, като са добавени 0^m002 към звездните величини във V и към цветния показател $B-V$ на стандартните звезди съгласно допълнението на [Stetson & Harris \(1988\)](#). Избираме 16 звезди с $B-V$ показатели от -0^m1113 до 1^m1451 . [Petrov et al. \(2001\)](#) подбира 25 BVR_CI_C стандартни звезди от NGC 7790 ([Odewahn et al. 1992](#)), които покриват широк спектър от цветни показатели, достигат до слаби величини и са разширени в U и I_C диапазон. Използвани са и 29 BVR_CI_C стандартни звезди от M 67 съгласно [Chevalier & Ilovaisky \(1991\)](#).

Извършена е апертурна звездна фотометрия на стандартните площадки с пакета DAORHOTII в vso-midas ([Stetson 1987, 1991](#)). Липсата на вариации на PSF в рамките на CCD кадъра ни даде основание да ползваме метода на кривата на нарастване ([Stetson 1990](#)), който дава възможност да се получат пълни инструментални звездни величини с добра точност дори за слаби звезди. Той почива на изследването на S/N в изображенията ([Da Costa 1992](#)). Скоростта, с която пълният сигнал нараства с увеличаването на апертурата, намалява с достигането на крилата на PSF. Същевременно шумът на измерването бързо расте. Следователно, S/N на измерването на сигнала достига максимална стойност при междинен апертурен радиус, различен за всяка звезда. Оптималният начин да се процедира е да се измери сигналът на слабите звезди в “малки” апертури, а на ярките – и в “малки”, и в “големи”. Разликата между сигнала в последните две апертури се нарича апертурна корекция. Като се извади апертурната корекция от измерения сигнал на слабите звезди се получават ефективни стойности в големи апертури.

SB на вътрешната част на звезда може адекватно да се представи с Гаусиан ([King 1971](#)). Тогаво максимално S/N се достига при $r = 1.6 \times \sigma$, където σ е стандартното отклонение на Гаусиана ([Pritchett & Kline 1981](#)), което съответства на $r = 0.68 \times FWHM$. Доколкото S/N е слабо чувствително към радиуса около максималната си стойност и

грешките при определянето на центъра на звездата могат да са от съществено значение за сигнала в малки апертури, препоръчителни са радиуси на малките апертури, по-големи от оптималния. Съгласно [Mighell \(1999\)](#) радиус на малката апертура от $1 \times \text{FWHM}$ е чудесен компромис между систематичните грешки при определяне центъра на звездата и намаляването на S/N ; тази стойност е удобна и за практическо приложение. Като допълнително ограничение се налага не по-малко от 3 пиксела за радиус на малката апертура, за да няма загуба на информация.

Радиусът на голямата апертура трябва да е достатъчно голям, така че измерванията да не зависят от промени в качеството на изображението, фокуса на телескопа и др. по време на нощта. Определя се като радиуса на асимптотичната стойност на кривата на нарастване, който обикновено е около $4-5 \times \text{FWHM}$ на изображението ([Da Costa 1992](#)).

Стойността на фона се определя като модата на интензитета в пръстен с вътрешен радиус $7 \times \text{FWHM}$ пиксела и външен радиус $[1000/\pi + (7 \times \text{FWHM})^2]^{0.5}$ пиксела; външният радиус е избран така че пръстенът да съдържа около 1000 пиксела ([Mihov & Slavcheva-Mihova 2008](#)). Този избор цели да подsigури постоянен брой пиксели независимо от качеството на изображението; иначе, точността на определяне на фона ще се мени в зависимост от броя пиксели в съответния пръстен (грешката на средното на N пиксела е $N^{0.5}$ пъти по-малка от грешката на отделния пиксел).

Практическо приложение:

- за радиус на малката апертура вземаме по-голямата стойност от $1 \times \text{FWHM}$ на изображението и 3 пиксела. В тази апертура измерваме стандартните звезди;
- избираме максимален брой ярки изолирани звезди за всяко изображение;
- построяваме крива на нарастване;
- за радиус на голямата апертура вземаме по-малката стойност от асимптотичния радиус и $5 \times \text{FWHM}$;
- локалните стойности на фона за всяка звезда се определят в пръстени, центрирани върху тях. Вътрешният радиус е $7 \times \text{FWHM}$, а външният се пресмята така че всеки пръстен да съдържа около 1000 пиксела;
- определяме апертурната корекция от изолираните звезди;
- изваждаме апертурната корекция от величините на стандартните звезди, за да получим инструменталните им величини (нормализирани към 1 sec).

За трансформация на инструменталната система към стандартна BVR_CI_C Johnson-Cousins система следваме подхода на [Harris et al. \(1981\)](#). Така едновременно получаваме екстинкционните и фотометрични коефициенти; наличието на много звезди в

стандартните площадки позволява точното определяне на екстинкционните коефициенти при дву-/три-кратни наблюдения на нощ. Ползваните уравнения са:

$$b - B = c_B^{(0)} + c_B^{(1)} X + c_B^{(2)} (B - V) \quad (4.1)$$

$$v - V = c_V^{(0)} + c_V^{(1)} X + c_V^{(2)} (V - R_C) \quad (4.2)$$

$$r - R_C = c_{R_C}^{(0)} + c_{R_C}^{(1)} X + c_{R_C}^{(2)} (V - R_C) \quad (4.3)$$

$$i - I_C = c_{I_C}^{(0)} + c_{I_C}^{(1)} X + c_{I_C}^{(2)} (R_C - I_C), \quad (4.4)$$

където малките и главни букви означават пълните инструментални и каталожни величини на стандартните звезди, съответно; $c^{(0)}$ е нул пунктът, $c^{(1)}$ е екстинкционният коефициент и $c^{(2)}$ е цветният коефициент. Трансформационните коефициенти, \vec{c} , и грешките им са определени чрез решаването на линейната система уравнения $\partial\chi^2(\vec{c})/\partial\vec{c} = 0$ за пълните инструментални и каталожни величини на стандартните звезди, ползвайки алгоритъма Gauss-Jordan. Трансформационните уравнения се прилагат към данните от дадена нощ, така че, трансформационните коефициенти се определят за всяка наблюдателна нощ. Тяхната грешка е включена в крайната грешка на SB. Изображенията от нощи с проблеми от фотометрично или техническо естество не са калибрирани на базата на стандартни площадки. Част от тези данни са приведени към стандартна Johnson-Cousins система, ползвайки звезди за сравнение в площадките на съответните обекти (т.нар. вторични стандарти) съгласно [Bachev et al. \(2000\)](#), [González-Pérez et al. \(2001\)](#), [Doroshenko et al. \(2005a,b\)](#), [Mihov & Slavcheva-Mihova \(2008\)](#).

Глава 5

Локално обкръжение

Изследвано е локалното обкръжение както на извадката от *Sy* галактики, така и на тази от неактивни галактики. Търсени са близки физически спътници (по-нататък наричани спътници) в рамките на (1) проектирано линейно разстояние ΔD от пет галактични диаметъра съгласно [Schmitt \(2001\)](#) и (2) разлика в абсолютните радиални скорости $|\Delta V_r| = 600 \text{ km s}^{-1}$. Последната е типичната дисперсия на скоростите на галактиките в обединения обзор CfA2+SSRS2¹ и е около два пъти по-голяма от дисперсията на скоростите, ако не се включват куповете ([Marzke et al. 1995](#); виж също [Davis & Peebles 1983](#)). Не е наложен критерий, свързан с разликата в яркостта между галактиката и спътника ѝ, тъй като той би изключил галактиките-джуджета, за които се смята че играят съществена роля в процесите на сливане с по-малки галактики (напр. [Ciroi et al. 2005](#)).

Спътниците на *Sy* и неактивните галактики са дадени в Табл. 5.1 и 5.2, съответно. При определяне на разстоянието между галактиките и съответните им спътници са използвани изофоталните диаметри на $25 B \text{ mag arcsec}^{-2}$ (като са взети предвид и грешките им), коригирани за Галактично поглъщане и наклон. Диаметрите са вземани основно от *HyperLeda*. Има случаи на по-голям спътник от основната галактика (напр. 2MASX J04363658–0250350). Затова се изследва достатъчно голяма околност на галактиката и е взет по-големия от диаметрите на всяка кандидат-двойка при прилагане на критерия за разстояние.

Разликата в радиалните скорости е пресметната, ползвайки специалната релативистка конвенция (напр. [Keel 1996b](#)):

$$V_r = \frac{(1+z)^2 - 1}{(1+z)^2 + 1} c. \quad (5.1)$$

Ползвано е червено отместване, приведено към отправната система на микровълновото фоново излъчване на ЗК, дадено в NED.

¹Second CfA and Southern Sky Redshift Surveys.

Таблица 5.1: Спътници на извадката от Су галактики.

Су галактика	Спътник	ΔD		$ \Delta V_r $ [km s ⁻¹]	Библ.	
		[arcmin]	[kpc]		(6)	(7)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
III Zw 2	III Zw 2B	0.572	54.38	199 ± 106	10	10
Mrk 348	2MASX J00485285+3157309	1.218	20.05	321 ± 51	12	19
I Zw 1	J005334+124133 ^a	0.260	17.38	170 ± 110 ^b	5	
Mrk 573	APMUKS(BJ)B014126.68+020933.5	3.734	70.95	≈ 100 ^b	16	
Mrk 590	SDSS J021429.36-004604.7	1.053	31.17	234 ± 39	8	1
NGC 3227	NGC 3226	2.177	12.78	181 ± 38	14	14
	2MASX J10232246+1954510	3.515	20.63	42 ± 37	8	4
	2MASX J10232162+2001380	9.961	58.47	9 ± 38	8	4
	SDSS J102434.71+200157.8	18.122	106.38	128 ± 42	8	4
	SDSS J102315.38+201040.5	19.109	112.17	41 ± 40	8	4
NGC 4151	SDSS J121021.06+391252.1	11.688	57.62	75 ± 35	8	3
	SDSS J120959.87+391147.7	14.053	69.28	343 ± 43	8	3
NGC 4593	MCG -01-32-033	3.809	45.67	149 ± 67	21	13
Mrk 279	MCG +12-13-024	0.761	26.88	159 ± 25	20	7
NGC 5548	SDSS J141824.74+250650.7	5.867	122.74	206 ± 22	8	4
	2MASX J14173385+2506515	5.959	124.66	40 ± 59	8	4
Ark 479	SDSS J153550.82+143035.3	0.622	14.60	48 ± 50	9	2
Mrk 506	CGCG 170-019	0.763	37.20	561 ± 58	8	9
	SDSS J172229.44+305231.6	2.277	111.00	505 ± 58	8	2
3C 390.3	PGC 062330	1.802	112.68	549 ± 57	11	18
NGC 7469	IC 5283	1.315	23.29	87 ± 37	15	14
Mrk 315	[CAM2005] DWARF	1.024	44.10	193 ± 35	6	6
NGC 7603 ^c	NGC 7603:[LG2002] 3	0.620	20.27	87476 ± 388	8	17
	SDSS J231859.26+001405.4	0.860	28.12	56018 ± 461	8	17
	NGC 7603B	0.985	32.21	7535 ± 47	8	1

(3) и (4) ΔD от NED; (5) $|\Delta V_r|$ пресметнати, ползвайки (6) и (7); (6) и (7) Библиография относно z на галактиката и спътника i , съответно, основно от NED. (1) [Abazajian et al. \(2003\)](#); (2) [Abazajian et al. \(2009\)](#); (3) [Adelman-McCarthy et al. \(2007\)](#); (4) [Adelman-McCarthy et al. \(2008\)](#); (5) [Canalizo & Stockton \(2001\)](#); (6) [Ciroi et al. \(2005\)](#); (7) [de Grijp et al. \(1987\)](#); (8) [de Vaucouleurs et al. \(1991\)](#); (9) [Falco et al. \(1999\)](#); (10) [Heckman et al. \(1984\)](#); (11) [Hewitt & Burbidge \(1991\)](#); (12) [Huchra et al. \(1999\)](#); (13) [Jones et al. \(2009\)](#); (14) [Keel \(1996a\)](#); (15) [Keel \(1996b\)](#); (16) [Kuo et al. \(2008\)](#); (17) [López-Corredoira & Gutiérrez \(2004\)](#); (18) [Penston & Penston \(1973\)](#); (19) [Petrosian \(1982\)](#); (20) [Strauss & Huchra \(1988\)](#); (21) [Strauss et al. \(1992\)](#). ^a За името на анонимния спътник са дадени координатите от J2000 от Aladin ([Bonnarel et al. 2000](#)). ^b $|\Delta V_r|$ е от (6). ^c Система с аномално z , която не е взета предвид в статистиката.

Таблица 5.2: Спътници на извадката от неактивни галактики.

Неактивна галактика	Спътник	ΔD		$ \Delta V_r $ [km s ⁻¹]	Библ.	
		[arcmin]	[kpc]			
NGC 2144	ESO 016– G 009	8.492	160.24	23 ± 65	12	17
ESO 155– G 027	ESO 155– IG 028 NED02	1.996	137.30	244 ± 133	6	22
	ESO 155– IG 028 NED01	2.290	157.53	0 ± 133	6	20
	2MASXJ03252010–5232057	3.590	246.96	413 ± 133	6	22
	A(BJ) B032410.26–524522.5 ^a	4.047	278.39	260 ± 133	6	22
2MASXJ04363658–0250350	CGCG 393–045	2.109	38.07	167 ± 50	10	10
	CGCG 393–044	4.539	81.93	96 ± 48	10	10
2MASX J00342513–0735582	MCG –01–02–032	3.621	105.44	545 ± 74	10	10
IC 5065	2MASX J20520956–2951513	5.248	192.65	36 ± 27	8	14
ESO 183– G 030	IC 4797	14.879	154.44	10 ± 37	8	8
NGC 2775	SDSS J091019.53+070141.2	0.608	4.01	110 ± 74	8	2
	SDSS J091028.77+071117.9	9.275	61.12	168 ± 31	8	11
	NGC 2777	11.469	75.58	134 ± 32	8	8
UGC 6520	SDSS J113240.41+622735.1	3.187	47.61	140 ± 50	9	1
	CGCG 314–031	4.914	73.42	23 ± 67	9	8
NGC 4902	NGC 4887	10.410	123.05	14 ± 49	23	7
ESO 510– G 048	ESO 510– G 050	3.058	158.80	29 ± 103	13	15
NGC 7421	NGC 7418	19.371	117.20	342 ± 27	21	18
ESO 292– G 007	2MASX J23392481–4603161	4.653	347.49	139 ± 275	19	4
	2MASX J23393103–4553430	4.986	372.35	144 ± 186	19	4
	2MASX J23401100–4559372	7.854	586.54	410 ± 187	19	4
NGC 897	2dFGRS S517Z282	0.772	13.83	374 ± 91	6	5
	ESO 355– G 010	8.237	147.52	71 ± 38	6	24
ESO 423– G 016	A(BJ) B052441.44–314926.2 ^a	3.732	167.53	102 ± 67	6	16
UGC 9532 NED04	UGC 9532 NED02	0.237	11.46	194 ± 59	10	10
	UGC 9532 NED05	0.782	37.80	482 ± 60	10	10
	UGC 9532 NED06	1.192	57.62	482 ± 61	10	8
	UGC 9532 NED01	1.302	62.94	50 ± 58	10	10
	SDSS J144748.23+190352.2	1.804	87.21	411 ± 55	10	3

Колоните са както в Табл. 5.1. ^a A(BJ) да се разбира като APMUKS(BJ).

Библиография. (1) [Abazajian et al. \(2004\)](#); (2) [Abazajian et al. \(2005\)](#); (3) [Abazajian et al. \(2009\)](#); (4) [Alonso et al. \(1999\)](#); (5) [Colless et al. \(2003\)](#); (6) [da Costa et al. \(1991\)](#); (7) [da Costa et al. \(1998\)](#); (8) [de Vaucouleurs et al. \(1991\)](#); (9) [Falco et al. \(1999\)](#); (10) [Hickson et al. \(1992\)](#); (11) [Hogg et al. \(1998\)](#); (12) [Huchra et al. \(1995\)](#); (13) [Jones et al. \(2009\)](#); (14) [Jones et al. \(2005\)](#); (15) [Kaldare et al. \(2003\)](#); (16) [Katgert et al. \(1998\)](#); (17) [Kirhakos & Steiner \(1990\)](#); (18) [Koribalski et al. \(2004\)](#); (19) [Lauberts & Valentijn \(1989\)](#); (20) [Lucey et al. \(1983\)](#); (21) [Meyer et al. \(2004\)](#); (22) [Rose et al. \(2002\)](#); (23) [Theureau et al. \(2007\)](#); (24) [Zaritsky et al. \(1997\)](#).

Глава 6

Коментари на индивидуалните Сийфърт галактики

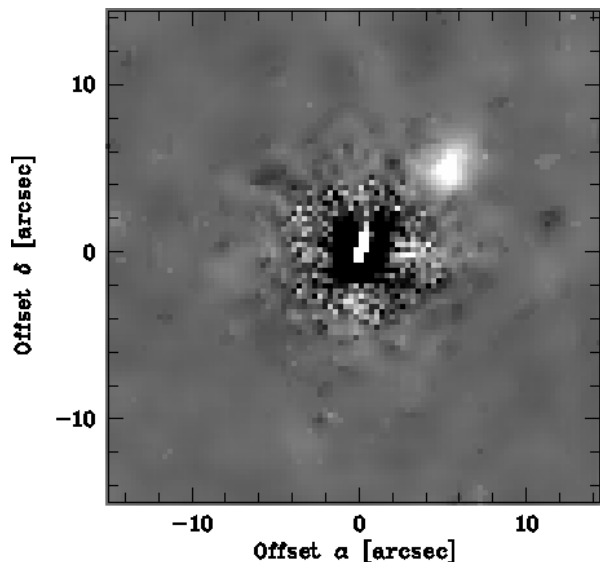
Дискутират се галактики от Su извадката в контекста на структури, намерени или уточнени от това изследване, и случаите, когато влиянието на някои образувания върху профилите е съществено за точното определяне на структурните параметри посредством декомпозиция.

Когато се дискутират изофотните карти и профилите, по подразбиране има препратка към Фиг. 1. Индивидуалните коментари допълнително са илюстрирани от цветни изображения/карти, изофотни карти, структурни карти и резидуали с изваден 2D модел (Фиг. 6.1-6.48; линиите с пунктир/точки съответстват на максимума/минимума на елиптичността). На всички фигури север е нагоре, изток е наляво. На цветните изображения черните нюанси указват сини структури, белите – червени. На резидуалните изображения остатъчните структури са в бяло. Когато се дискутират спътниците, по подразбиране има препратка към Табл. 5.1.

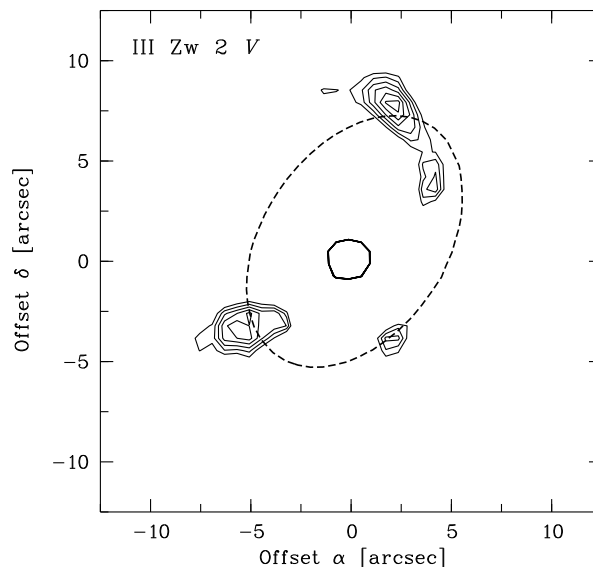
6.1 Mrk 335

Наблюдава се издължена структура с $PA = -43^\circ$ и максимална SB в I_C на $7''.4$ от ядрото (Фиг. 6.1). Цветните показатели $B-V$, $V-R_C$ и R_C-I_C на структурата, определени върху резидуалите с изваден модел посредством апертурна фотометрия, са 1^m48 , 0^m75 и 0^m89 , съответно (приложена е корекция за Галактично поглъщане съгласно Schlegel et al. 1998). Структурата е отместена с около 280 km s^{-1} към червената област и показва стръмен Балмеров декремент (Fricke et al. 1983). Авторите намират физическа връзка на структурата с галактиката на основата на спектрален анализ и дискутират изхвърляне на материал от ядрото или сливаща се галактика, като считат второто за малко вероятно. MacKenty (1990), базиран главно на факта, че структурата не се вижда на [O III] изображенията на Heckman & Balick (1981), предлага фонова галактика, видима на ребро, като алтернативна интерпретация. Като се

има предвид непертурбирания вид на галактиката, считаме, че спътник или сливаща се галактика в ранен етап, видими през Mrk 335, е резонна хипотеза. Освен това в разглежданата област не е наблюдавано радиоизлъчване (напр. [Kukula et al. 1995](#)).



Фигура 6.1: Резидуал с изваден модел в I_C на Mrk 335. Ясно се вижда издължената структура.



Фигура 6.2: Карта на резидуал с изваден модел във V на III Zw 2. Моделната изофота, съответстваща на максимума на елиптичността, е свързана с приливния насрещен ръкав и спътника.

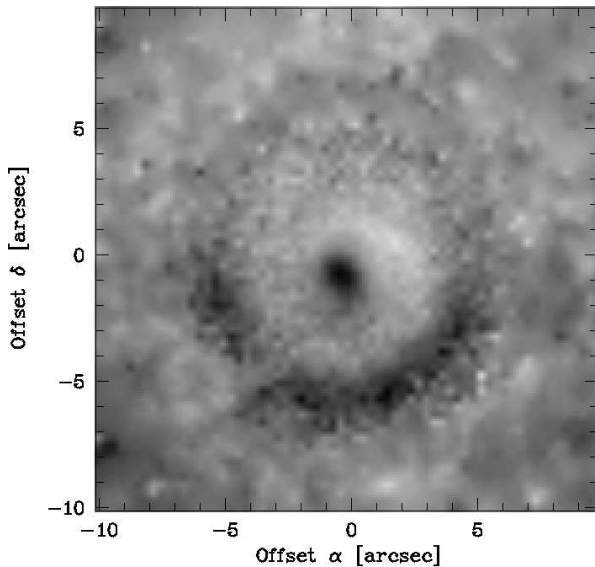
6.2 III Zw 2 (III Zw 2A в NED)

Изофотната карта и картата на моделния резидуал (Фиг. 6.2) разкриват издължена структура на югоизток, която представлява сливаща се галактика (на около $7''$, [Surace et al. 2001](#)), свързана посредством приливен мост с III Zw 2, както може да се види на резидуалите на [Veilleux et al. \(2006\)](#), както и приливен насрещен ръкав с области на звездообразуване на северозапад (виж също [Surace et al. 2001](#)). Сливаният се спътник и приливният ръкав се изявяват на профила на SB и пораждат посиняване на цветните профили и максимум на елиптичността при постоянно променящ се PA в областта $a \approx 5'' - 10''$.

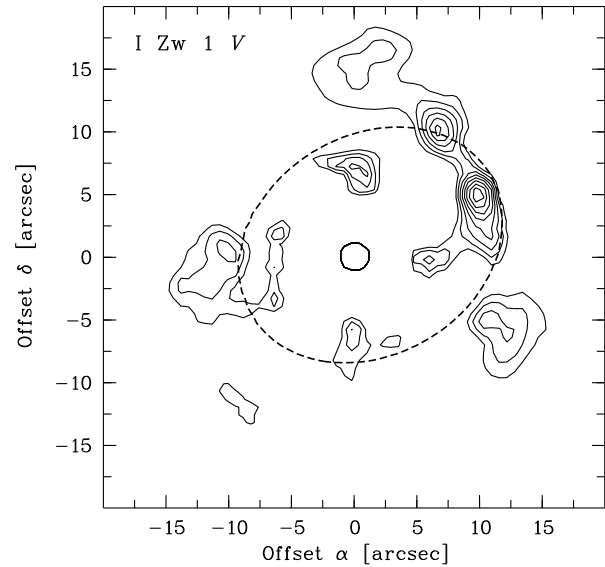
6.3 Mrk 348

Има индикации за минало взаимодействие между Mrk 348 и NGC 266, на $23'1$ на североизток ([Heckman et al. 1982](#); [Kuo et al. 2008](#)). Mrk 348 има пертурбирана външна спирална структура (напр. [Pogge & Eskridge 1993](#)) поради взаимодействие с близкия

й спътник, който показва цветен градиент (Antón et al. 2002). Издължената външна спирална структура се изявява на профила на SB след $a \approx 45''$ и поражда нарастване на елиптичността. Вътрешната спирална структура води до постоянна промяна на PA. Цветното изображение (Фиг. 6.3) разкрива син ядрен пръстен, по-ясно изразен на юг (виж също Antón et al. 2002), свързан с H II области (González Delgado et al. 1997). Той слабо повлиява профила на SB в B и причинява посиняване в $B - I_C$ на $a \approx 5''$.



ФИГУРА 6.3: $B - I_C$ изображение на Mrk 348; цветният показател варира от 1.7 до $2.5 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Вижда се ядреният пръстен, по-добре изявен на юг.



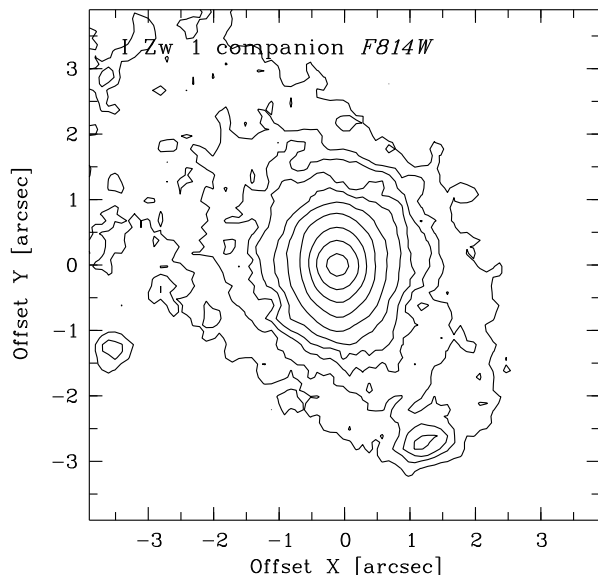
ФИГУРА 6.4: Карта на резидуал с изваден модел във V на I Zw 1. Моделната изофота, съответстваща на максимума на елиптичността, е свързана със спиралната структура.

6.4 I Zw 1

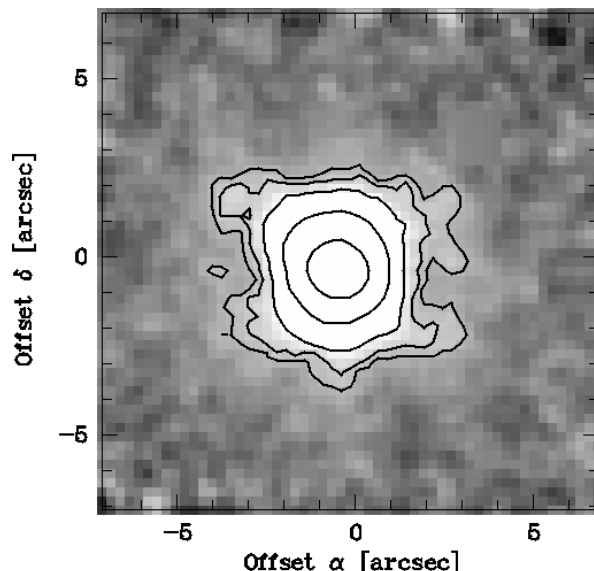
Галактиката има асиметрични спирални ръкави (северозападният по-добре изразен, с области на звездообразуване), които могат да имат приливен произход (Surace & Sanders 2000; Canalizo & Stockton 2001). Съгласно Stockton (1982) галактиката на около $16''$ на запад е спътник (виж също Canalizo & Stockton 2001), докато обектът в края на северозападния спирален ръкав е проектирана звезда. Lim & Ho (1999) привеждат H I аргументи за взаимодействие със спътника. Има и индикации за сливаща се по-малка галактика (Lim & Ho 1999; Canalizo & Stockton 2001; Scharwächter et al. 2007). Спиралните ръкави се изявяват на профила на SB и пораждат посиняване на цвета и максимум на елиптичността при постоянно нарастващ PA в областта $a \approx 7'' - 13''$ (Фиг. 6.4).

Scharwächter et al. (2003) намират силни индикации за взаимодействие в наблюдаваните от тях издължение на спътника по посока на галактиката и приливни мост и

опашка. Изофотната карта на спътника (Фиг. 6.5) показва, че с изключение на най-външните му изофоти не е издължен; изображението от WFPC2¹ на HST, послужило ни за направа на картата, е същото като използваното от Scharwächter et al. (2003) за тяхната Фиг. 1. Коментиранията от авторите опашка се оказва свързана с проектиран обект (Scharwächter et al. 2007).



ФИГУРА 6.5: Изофотна карта на западния спътник на I Zw 1 в $F814W$. Север/Изток е на $14.5^\circ/75.5^\circ$ от вертикалата по/срещу часовниковата стрелка. Вижда се, че само най-външните изофоти на спътника са издължени по посока на галактиката.

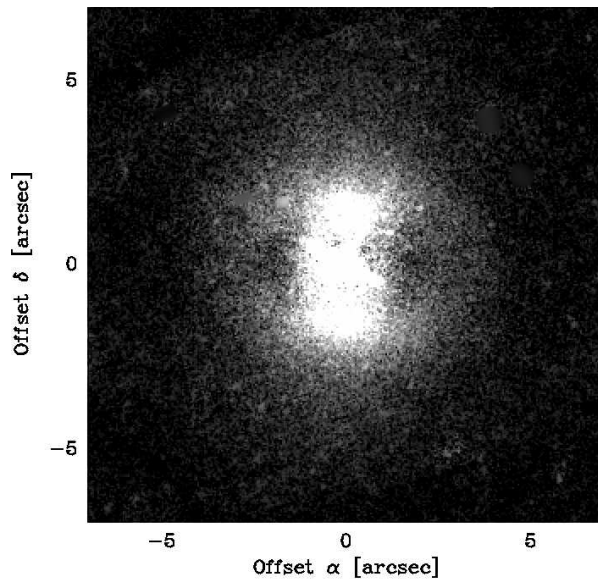


ФИГУРА 6.6: Резидуал, разделен на неконтрастна маска, на Mrk 352 в R_C . Различава се ядреният пръстен.

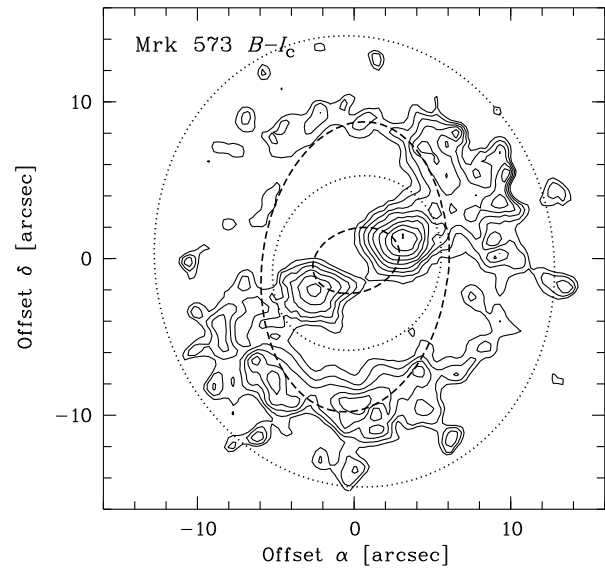
6.5 Mrk 352

Има индикации за ядрен бар около $a = 2''$: елиптичността показва пик, придружен от плато на PA; на профила на SB, обаче, няма видима издатина. Нещо повече, контрастният резидуал (Фиг. 6.6) разкрива ядрен пръстен. За да потвърдим откритията си, обработихме архивни данни от WFPC2 на HST в $F606W$. Изваждането на фитиран 2D блъдж-диск модел (с маскирано ядро) разкрива θ -образна структура (Фиг. 6.7), представляваща най-вероятно ядрен бар, обграден от пръстен. В областта около $a = 2''$ профилите на елиптичността и PA имат същото поведение като нашите и, в допълнение, профилът на SB показва слаба издатина; за определяне елиптичността на бара ползвахме профилите от HST. Освен това, профилът на SB показва слаба издатина, придружена от пикове на елиптичността на $a \approx 4''$, което асоциираме с пръстена. Следва да се отбележи, че не са наблюдавани значителни количества прах (Deo et al. 2006), които биха могли да повлияят съответните изофоти.

¹Wide-Field Planetary Camera 2.



ФИГУРА 6.7: 2D резидуал с изваден фитиран 2D бълдж-диск модел на Mrk 352 в $F606W$ от WFPC2 на HST. Може да се проследи барът, обграден от пръстен.



ФИГУРА 6.8: Цветна карта на Mrk 573 в $B-I_c$. Изофотите варират от 1.2 до 1.95 със стъпка $0.05 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Начертани са моделните изофоти, съответстващи на първите два максимума на елиптичността и на последващите минимума в B . Първият максимум е свързан с йонизационните конуси.

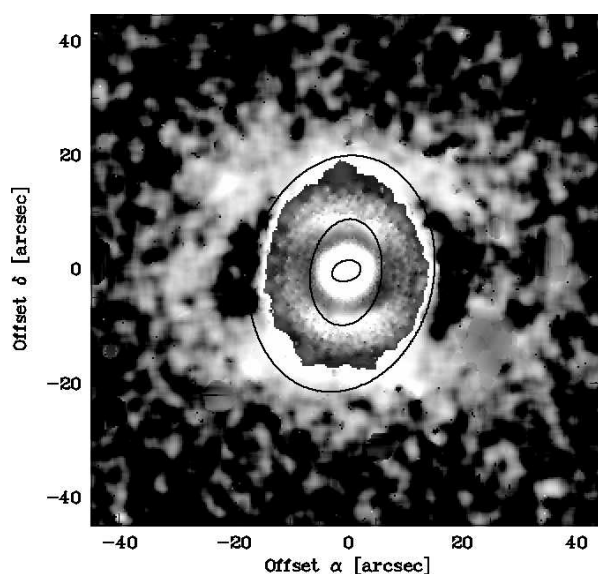
6.6 Mrk 573

Mrk 573 показва HI приливни структури, които биха могли да се припишат на взаимодействие със северния ѝ спътник (Kuo et al. 2008).

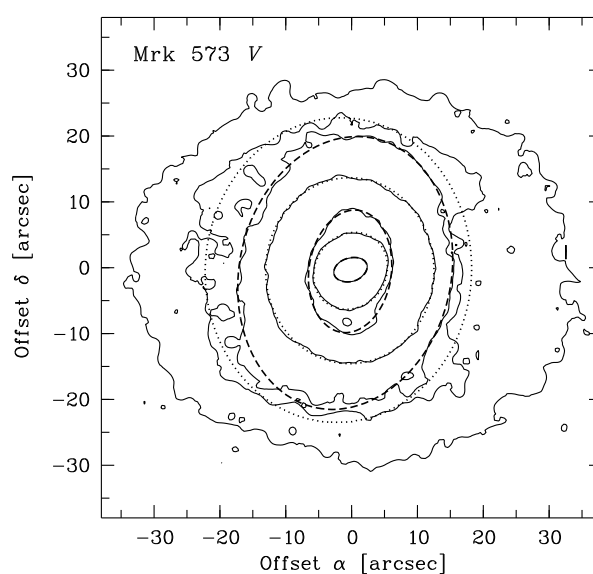
Цветните карти в $B-I_c$ (Фиг. 6.8) и $V-I_c$ разкриват две сини области, съответстващи на йонизационните конуси от двете страни на ядрото на $PA \approx 120^\circ - 130^\circ$, приблизително със същата ориентация като оста на тройния компактен радиоизточник ($PA \approx 124^\circ$, Ulvestad & Wilson 1984), както и двойка арки (наречени SE3 и NW3 от Ferruit et al. 1999), които имат вида на прекъснат пръстен на контрастния резидуал (Фиг. 6.9) и водят до посиняване на цветните профили. Двуконусната структура и арките са видими на тесноивичните изображения в $[O III]$ и $H\alpha + [N II]$ (Pogge & De Robertis 1995; Ferruit et al. 1999); според Regan & Mulchaey (1999) и Martini et al. (2003a) арките са част от крупномащабна ядрена прахова спирала, пресичаща йонизационните конуси. Конусните структури пораждат посиняване на цветните профили и максимум на елиптичността в BV на $a \approx 3''$ (техният PA е близък до този на максимума на елиптичността, Фиг. 6.8). Максимумът на елиптичността във V е погрешно интерпретиран като индикация за ядрен бар² от Afanasiev et al. (1998). Вторият максимум на елиптичността (на $a \approx 9''$) съответства на бар, ясно очертан на изофотната карта (Фиг. 6.10), който поражда плато на профила на SB.

²Галактиката всъщност има ядрен бар на $a = 1''2$ (Martini et al. 2001).

Профилите на SB в областта $25'' - 40''$ са повлияни от външен пръстен (Pogge & De Robertis 1995), ясно очертан на Фиг. 6.9. Профилите показват индикации за още един бар на $a \approx 21''$, както вече е предложено от Afanasiev et al. (1996) и Laine et al. (2002). След като извадихме 2D модел на елиптичен пръстен, максимумът на елиптичността намалня и слабата издатина на профила на SB изчезна, което ни кара да считаме, че Mrk 573 няма три бара (виж също Erwin 2004). Ясно очертаните минимума след първия и третия максимум на елиптичността са индуцирани от резките промени на PA в съответните области.



ФИГУРА 6.9: Композитен резидуал на Mrk 573 в R_C , съставен от резидуал разделен на/с извадена контрастна маска, така че да могат да се проследят арките/външният пръстен. Начертани са моделните изофоти, съответстващи на максимумите на елиптичността във V .

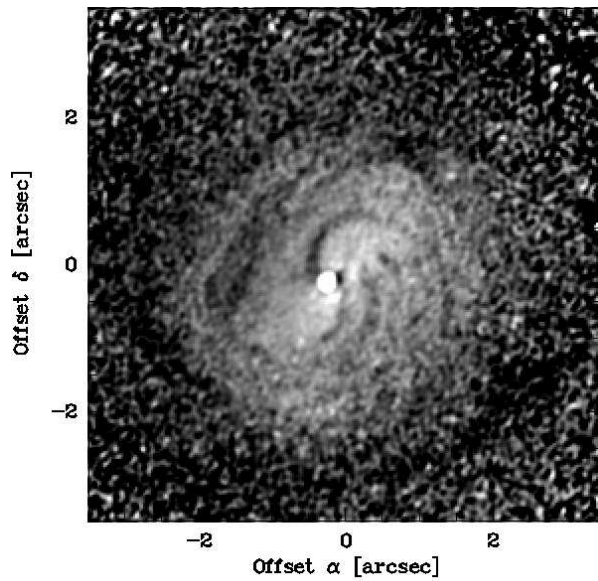


ФИГУРА 6.10: Изофотна карта на Mrk 573 във V . Начертани са изофотите, съответстващи на екстремумите на елиптичността, заедно със съответните моделни изофоти.

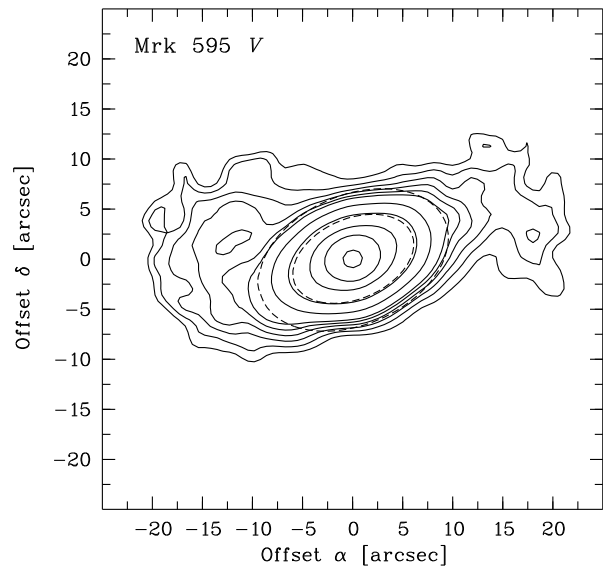
6.7 Mrk 590

Pogge & Martini (2002) съобщават за ядрен бар на базата на изображения от WFPC2 на HST (виж също Bentz et al. 2006). На тяхната структурна карта може да се види пръстенообразна структура около бара, най-добре изявена на североизток. Обработихме архивни данни в $F550M$ от ACS/HRC³ на HST и създадохме структурна карта, която разкрива няколко прахови ивици. Две от тях имат вида на типичните прави прахови ивици по водещите страни на бара (въпреки че индикациите за бар не са очевидни, Фиг. 6.11) и могат да бъдат проследени до около 70 pc ($0''.14$) в радиус.

³Advanced Camera for Surveys/High Resolution Channel.



ФИГУРА 6.11: Структурна карта на Mrk 590 в $F550M$ от HST. Могат да се проследят праховите ивици.

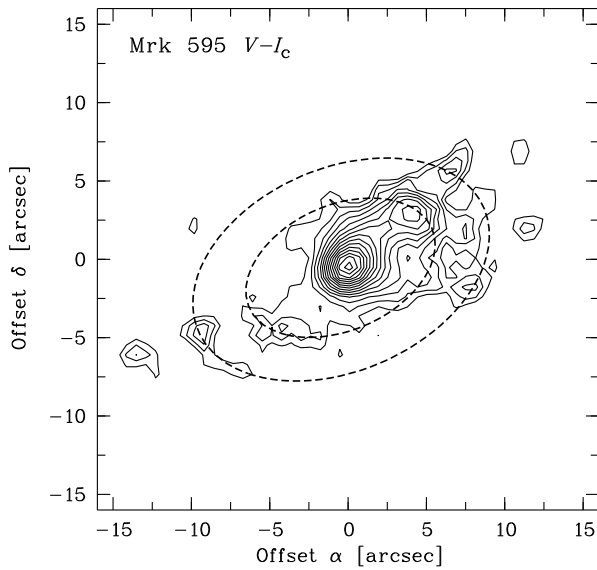


ФИГУРА 6.12: Карта на резидуала с извадена контрастна маска на Mrk 595 във V . Начертани са моделните изофоти, съответстващи на двата пика на елиптичността във V . Могат да се проследят овалът/лещата и наченките на спирални ръкави.

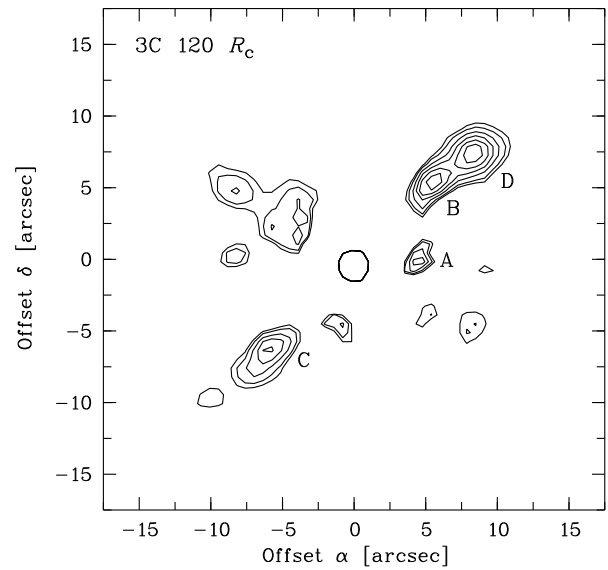
6.8 Mrk 595

Галактиката на около $25''$ на юг-югозапад е фонова (NED, [Koulouridis et al. 2006](#)); следва да се отбележи, че съгласно [Mulchaey et al. \(1996\)](#) двете галактики взаимодействат силно. Профилите и изофотната карта подсказват за наличието на барообразна структура, която най-вероятно е овал/леща, като се има предвид малката ѝ депроектирана елиптичност от 0.13. На контрастния резидуал (Фиг. 6.12) могат да се видят наченки на спирални ръкави. Цветната карта във $V - I_C$ (Фиг. 6.13) разкрива сини области на северозапад, които приблизително отразяват $[O III]$ излъчването (виж също [Mulchaey et al. 1996](#)).

Овалът/Лещата се извява на профила на SB (най-силно в B) и поражда пик на елиптичността при почти постоянен PA в областта $a \approx 4'' - 8''$. Пикът на елиптичността в BV и посиняването на цветните профили около $a = 11''$ са причинени от началата на спиралните ръкави, които слабо повлияват профила на SB в B . Излъчването в $[O III]$ води до увеличаване на елиптичността във V и до посиняване на $V - I_C$ профила в областите на двата пика на елиптичността (Фиг. 6.13). Промяната на PA в областта $a \approx 11'' - 15''$ индуцира минимум на елиптичността. В околоядрените области се наблюдава прахова спирала ([Deo et al. 2006](#)).



ФИГУРА 6.13: Цветна карта на Mrk 595 във $V - I_C$. Изофотните нива варират от 1 до 1.4 със стъпка $0.025 \text{ mag arcsec}^{-2}$; начертани са моделните изофоти, съответстващи на двата пика на елиптичността във V . Картата отразява приблизително областта на [O III] излъчване.



ФИГУРА 6.14: Карта на резидуала с изваден модел на 3C 120 в R_C . Отличават се кондензациите А, В, С и D.

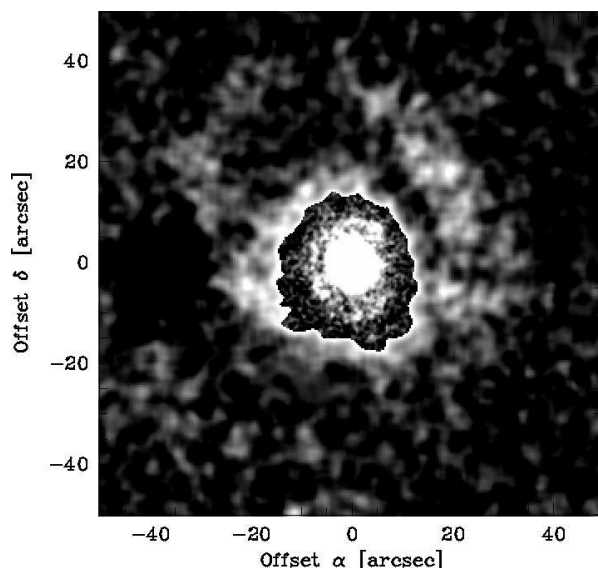
6.9 3C 120

Галактиката има силно пертурбирани изофоти. На моделния резидуал се наблюдават множество структури (Фиг. 6.14). Най-изявени са кондензациите А, В, С и D, както са наречени от [Soubeyran et al. \(1989\)](#); виж също Фиг. 1 на [Hjorth et al. \(1995\)](#). Кондензация А поне частично се свързва с радиоструктурата на $4''$, голяма част от излъчването от нея се дължи на млади звезди или е разсеяна светлина от ядрото ([Hjorth et al. 1995](#)). В и D вероятно се състоят от звезди ([Soubeyran et al. 1989](#)), те са сини на $B - I_C$ изображенията. С е остатък от галактика, погълната от 3C 120 ([Soubeyran et al. 1989](#)). [Bentz et al. \(2006\)](#) интерпретират А като приливна опашка; другите кондензации са много слаби на техните изображения. Кондензациите се изявяват на профила на SB. PA приблизително съпада с оста на В, D и С.

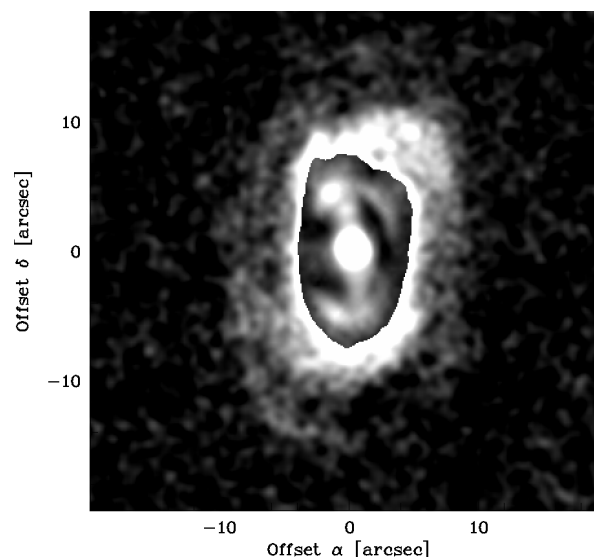
6.10 Ark 120

Обектът на $a \approx 37''$ на изток е проектирана звезда ([MacKenty 1990](#); [Nordgren et al. 1995](#)); последните автори дискутират и вероятността да е неактивна галактика. Контрастният резидуал (Фиг. 6.15) разкрива син пръстен с области на звездообразуване

($a \times b \approx 9'' \times 8''$) и арки от двете страни на ядрото, ориентирани на север, като западната е по-добре изявена. Пръстенът повлиява профила на SB и води до посиняване на цветния профил.



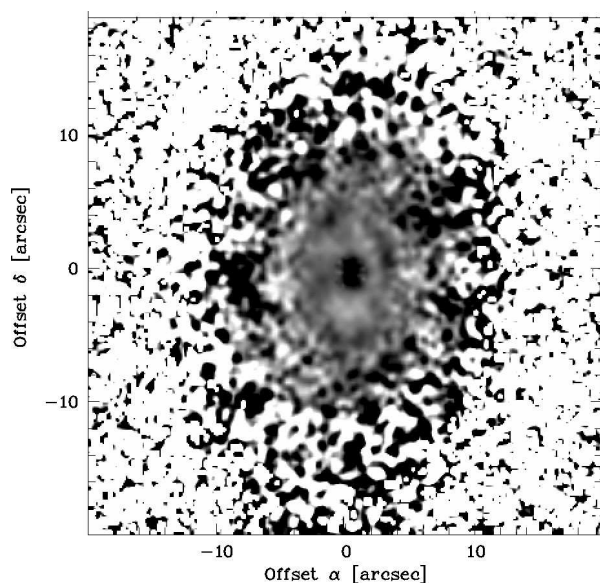
ФИГУРА 6.15: Композитен резидуал на Aric 120 в B , съставен от два резидуала с извадена контрастна маска, така че да могат да се проследят вътрешният пръстен и двете слаби арки, ориентирани на север.



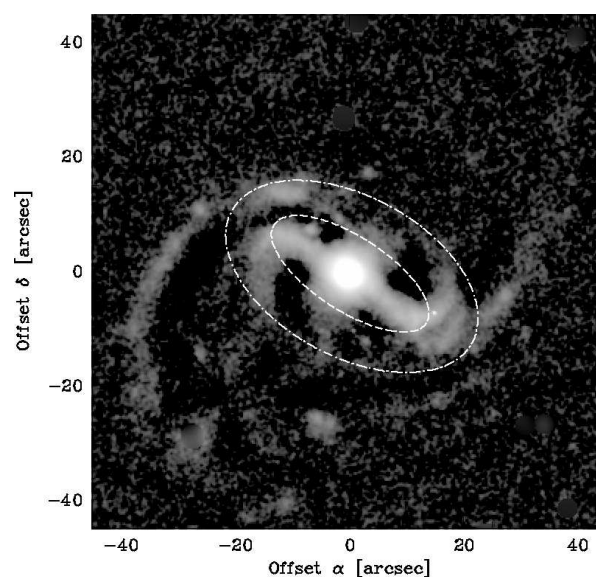
ФИГУРА 6.16: Композитен резидуал на Mrk 376 в R_C , съставен от резидуал разделен на/с извадена контрастна маска. Изпъкват извитият бар, пръстенът около него и спиралните ръкави, образуващи слаб външен псевдо-пръстен.

6.11 Mrk 376

Контрастният резидуал (Фиг. 6.16) разкрива извит бар. Той е обграден от пръстен ($a \times b \approx 5'' \times 3''$) с области на звездообразуване, които се отличават на цветното изображение (Фиг. 6.17). Яркостта на двата спирални ръкава чувствително отслабва и те образуват слаб външен псевдо-пръстен ($a \times b \approx 14'' \times 9''$). Барът се изявява на профила на SB и поражда максимум на елиптичността около $a = 4''$ (по-слабо изразеният максимум в B се дължи на влошаване на изображението) при почти постоянен PA. Проявлението на вътрешния пръстен (най-силно изразено в B) и на бара върху профила на SB е комбинирано. Идеята за наличието на “спирални ръкави или барообразна структура” в NIR област е дадена от [Hughes et al. \(1993\)](#).



ФИГУРА 6.17: Цветно изображение на Mrk 376 във $V - I_C$; цветният показател варира от 1.1 до $1.6 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Може да се проследи синият пръстен.

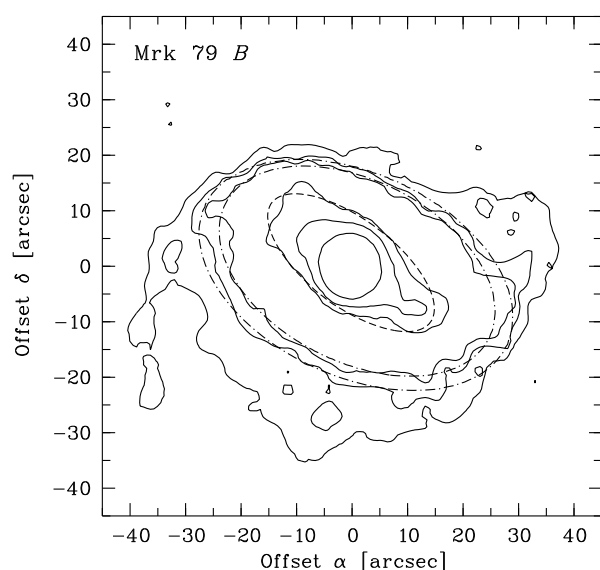


ФИГУРА 6.18: Резидуал с извадена контрастна маска на Mrk 79 в R_C . Начертани са моделните изофоти, съответстващи на максимума на елиптичността и на края на пика след него, свързан с вътрешната спирална структура.

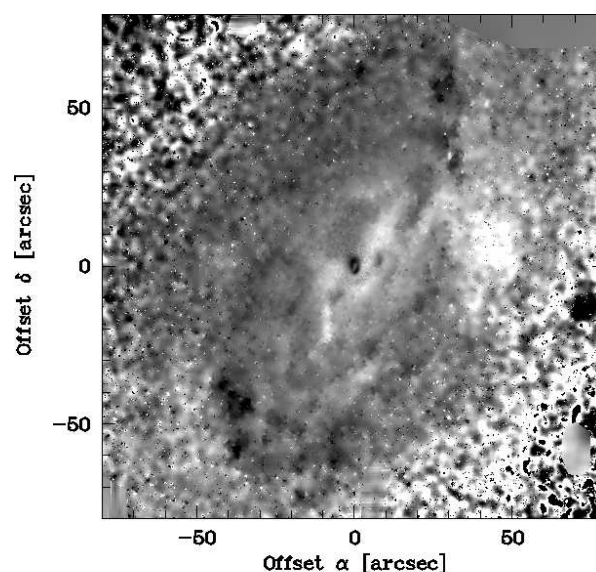
6.12 Mrk 79

Mrk 79 е асиметрична: северозападният спирален ръкав е пресечен, а североизточният край на бара е дифузен. Според MacKenty (1990) и Nagar & Wilson (1999) галактиката има аномален ръкав, водещ началото си от ядрото. Контрастният резидуал (Фиг. 6.18) разкрива два спирални ръкава, излизащи от краищата на бара (виж също Adams 1977) и разположени близо до него преди да се разтворят, което им придава пръстенообразен вид. Близкото разположение на спиралния ръкав на север от североизточния край на бара, усилва дифузния му вид (Фиг. 6.18 и 6.19). Външните изофоти са с правоъгълна форма (виж също Wehinger & Wyckoff 1977). Барът се изяснява на профила на SB и поражда максимум на елиптичността в областта $a \approx 6'' - 17''$; елиптичността е най-висока в B поради частичното фитиране на началата на спиралните ръкави. Вътрешните части на спиралната структура повлияват профила на SB и водят до посиняване на цветните профили и зависимост на елиптичността от дължината на вълната в областта след максимума. Поведението на профилите⁴ след $a = 24''$, е свързано с външната спирална структура. Наблюдават се прахови ивици по дължината на бара (напр. Deo et al. 2006).

⁴Профилите са съставени от два сета данни – последните $\approx 20''$ са получени от изображения, които са по-дълбоки, но с по-лошо качество (16/17.02.1999).



ФИГУРА 6.19: Изофотна карта на Mrk 79 в B . Начертани са изофотите, съответстващи на максимума и на границите на платото на елиптичността. Забелязва се дифузният североизточен край на бара.



ФИГУРА 6.20: $B-I_C$ изображение на NGC 3227; цветният показател варира от 1.6 до $2.8 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Виждат се праховите структури и областите на звездообразуване.

6.13 Mrk 382

Mrk 382 има бар с пръстен ($a \times b \approx 9'' \times 7''$; забелязан още от [Adams 1977](#)) около него. Спиралната структура образува външен псевдо-пръстен ($a \times b \approx 17'' \times 12''$). Барът повлиява профила на SB и поражда максимум на елиптичността около $a = 7''$. Вторият максимум на елиптичността и поведението на профила на SB в съответната област са свързани със спиралната структура.

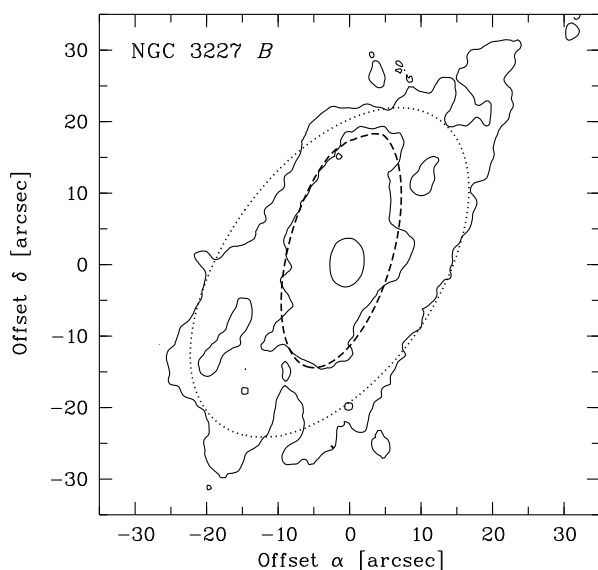
6.14 NGC 3227

NGC 3227 взаимодейства с NGC 3226 (напр. [Mundell et al. 1995](#); [Keel 1996a](#)). Галактиката има два спирални ръкава, водещи началото си от краищата на бар, и пертурбирана външна структура. Големи количества прах са разположени хаотично в диска и бара; вътрешните изофоти са деформирани от прах. Цветното изображение (Фиг. 6.20) разкрива характерна червена структура около центъра и обла червена област на около $45''$ на запад, и двете богати на прах; в спиралните ръкави и краищата на бара се наблюдават сини области на звездообразуване. Червената област и сините образувания на около $35''$ на северозапад от нея са свързани с HI облака, който се асоциира с приливен спътник-джудже ([Mundell et al. 1995, 2004](#)). [Mediavilla & Arribas \(1993\)](#) дискутират хипотезата за сливаща се галактика във връзка с откритието им,

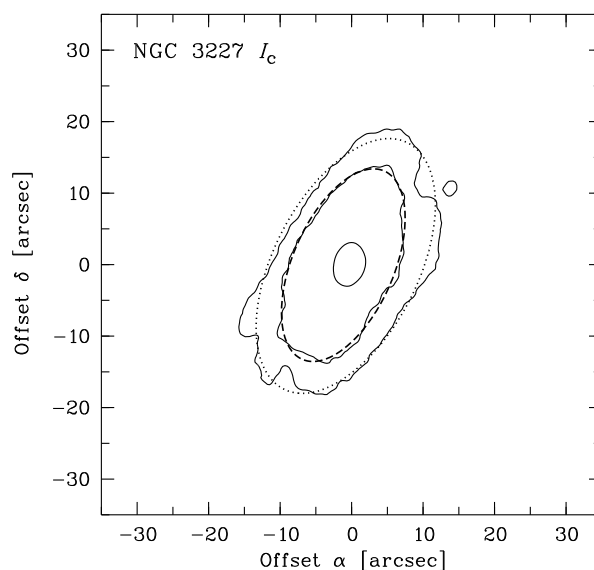
че областта на формиране на широките емисионни линии на NGC 3227 е отместена от кинематичния ѝ център.

Профилът на елиптичността показва широк, двупиков в B , максимум в областта $a \approx 25'' - 85''$. Поведението на профилите около първия пик на елиптичността е доминирано от бара, а около втория е свързано с началата на спиралните ръкави, които водят до посиняване на цветните профили и слаба промяна на PA , най-ясно изразена в B .

González Delgado & Pérez (1997) привеждат доводи в полза на бар, ориентиран север-юг, с $a \approx 1.6$ крс ($\approx 21''$ при прието разстояние до галактиката 15.6 Мрс) на основата на резидуал с модел от декомпозиция. Gadotti & de Souza (2006), базирани на изофотален анализ, съобщават за бар с $a \approx 1.9$ крс ($\approx 22''$ при прието разстояние до галактиката 17.6 Мрс). В тази област, – по-точно, около $a = 17''$, профилите имат сложно поведение: и елиптичността, и PA зависят от дължината на вълната. За разлика от горните автори, ние го отдаваме на поглъщане от прах: разположението на праха е такова, че поглъщането от него води до увеличаване на елиптичността и отместване на PA спрямо PA на галактиката при преминаване към по-къси дължини на вълната (сравнете Фиг. 6.21 и 6.22). В NIR PA не е отместен от PA на галактиката и профилът на елиптичността няма максимум в тази област (виж Фиг. 2 на Mulchaey et al. 1997).



ФИГУРА 6.21: Исофотна карта на NGC 3227 в B . Начертани са изофотите, съответстващи на максимума и минимума на елиптичността, заедно със съответните моделни изофоти около $a = 20''$. Прахът поражда деформация на изофотите.

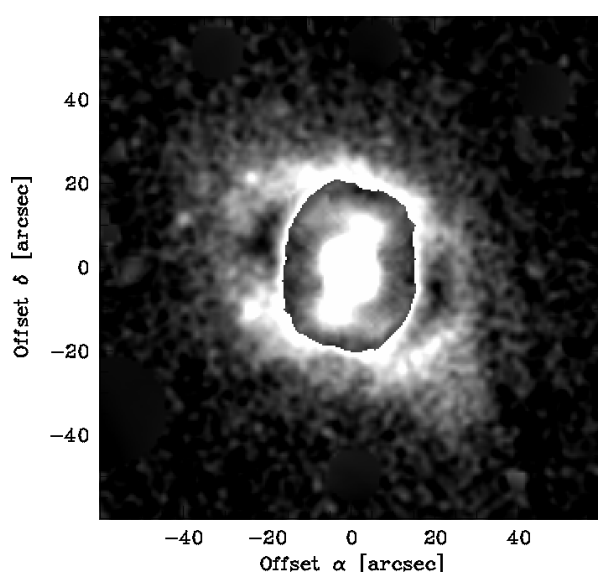


ФИГУРА 6.22: Исофотна карта на NGC 3227 в I_c . Начертани са изофотите, съответстващи на максимума и минимума на елиптичността, заедно със съответните моделни изофоти около $a = 20''$. Сравнете с Фиг. 6.21.

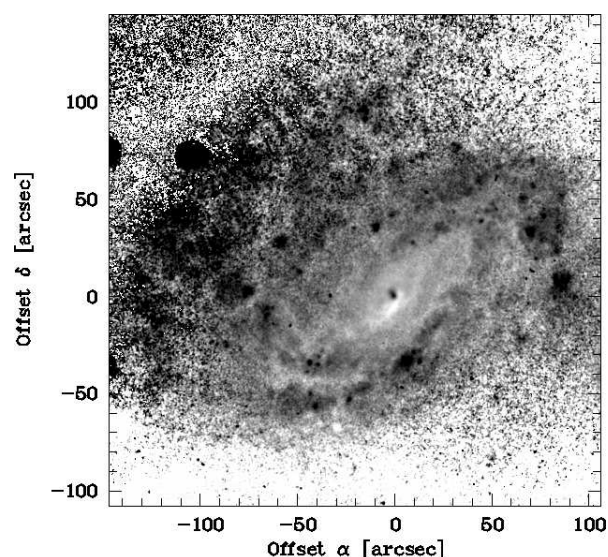
6.15 NGC 3516

Околядрената област е доминирана от прахова спирала (Regan & Mulchaey 1999). Изображенията в $H\alpha$ и $[O\text{III}]$ показват Z-образна структура, частично съпроводена от радиоизлъчване (Miyaji et al. 1992).

Контрастният резидуал (Фиг. 6.23) разкрива външен пръстен ($a \times b \approx 31'' \times 21''$), който се извява на профила на SB, и предполага наличието на непълен вътрешен пръстен около бара. Присъствието на структури около краищата на бара е загатнато от Knapen et al. (2002). Промяната на PA в областта $a \approx 25'' - 30''$ индуцира минимум на елиптичността.



ФИГУРА 6.23: Композитен резидуал на NGC 3516 в R_C , съставен от резидуал разделен на/с извадена контрастна маска, така че да могат да се проследят барът и пръстените.

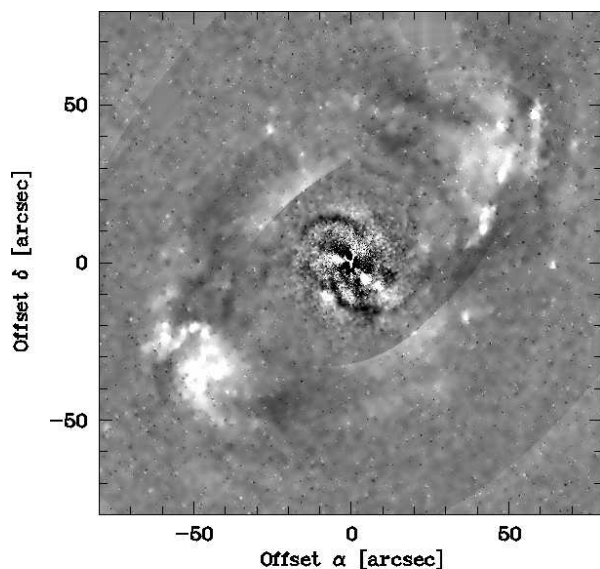


ФИГУРА 6.24: Цветно изображение на NGC 4051 в $B-I_C$; цветният показател варира от 1.25 до $2.5 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Отличават се асиметричната спирална структура, H II областите и прахът на юг от ядрото.

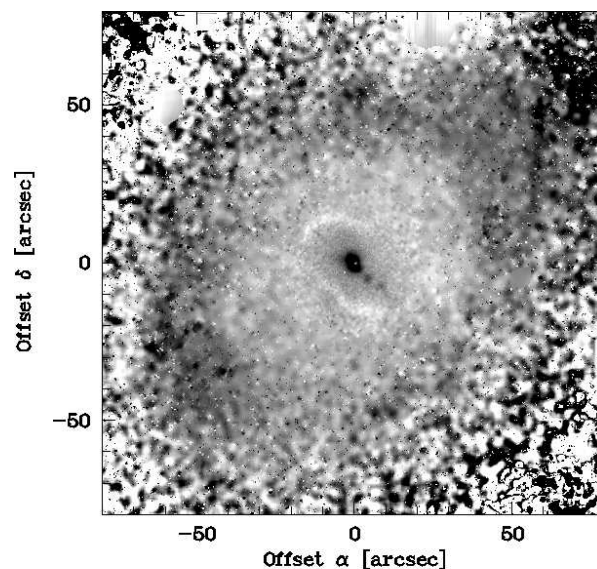
6.16 NGC 4051

Ядрото ѝ се счита за едно от най-слабите Sy 1 ядра (Weedman 1976). Byrd et al. (1987) предполагат, че активността на галактиката е свързана с NGC 4013, на около $61'$ на северозапад (виж също Kaneko et al. 1997). Спиралните ръкави са разклонени и неправилни. Асиметричната спирална структура може да е свързана с взаимодействието с NGC 4013. Цветното изображение (Фиг. 6.24) проследява множество H II области в спиралните ръкави и прах, по-специално ивица на юг от ядрото, която причинява пик на елиптичността в B на $a \approx 10''$. Барът и спиралните ръкави съвместно се извяват

на профила на SB и пораждат широк максимум на елиптичността и слабо променящ се PA в областта $a \approx 25'' - 110''$.



ФИГУРА 6.25: Резидуал с изваден модел на NGC 4151 във V . Виждат се компактните образувания на югозапад и североизток от ядрото и H II областите.



ФИГУРА 6.26: Цветно изображение на NGC 4151 във $V - I_C$; цветният показател варира от 0.8 до $1.6 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Отличават се H II областите и праховите арки.

6.17 NGC 4151

От оригиналния списък на Сийфърт, ядрото на NGC 4151 е прототип на Sy 1.5. Въпреки че NGC 4145 е спътник със сравнима яркост, няма преки индикации за взаимодействие (Pedlar et al. 1992; Mundell 2002). Martel (1998) предполага, че може да е сливаща се галактика на късен етап.

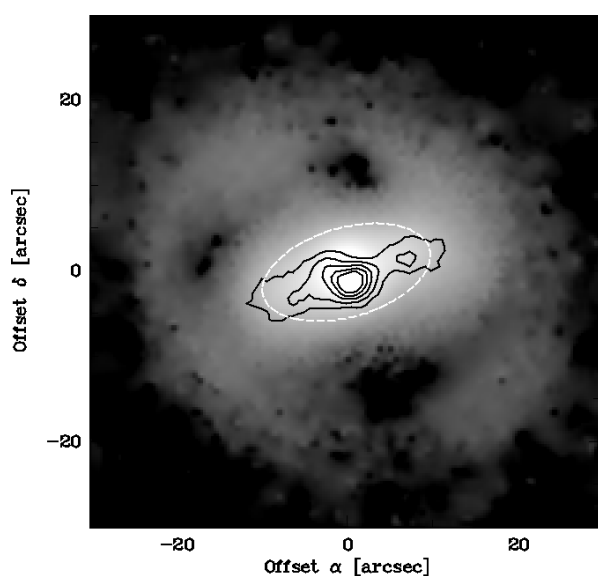
Счита се, че NGC 4151 има бар (напр. Mundell et al. 1999; Laurikainen et al. 2004b) или овал (Simkin 1975; Adams 1977; Kormendy & Kennicutt 2004). Той придава почти плосък вид на профила на SB в областта $a \approx 35'' - 70''$. Има множество H II области, съсредоточени предимно в краищата на бара (Фиг. 6.25), които се извяват на профила на SB (най-силно в B) и водят до посиняване на цветните профили в областта $a \approx 70'' - 80''$.

Цветните изображения (Фиг. 6.26) и моделният резидуал (Фиг. 6.25) разкриват сини компактни образувания на югозапад (главно) и североизток от ядрото, налични и на тесноивичните изображения в [O III] и $H\alpha$ (Pérez et al. 1989; Asif et al. 1998). Те се асоциират с обширната област на формиране на тесни емисионни линии (ENLR), обградена от две червени прахови арки около ядрото ($a \times b \approx 18'' \times 11''$), най-вероятно свързани с x_2 орбитите на бара (Ulrich 2000, виж симулациите на Athanassoula 1992);

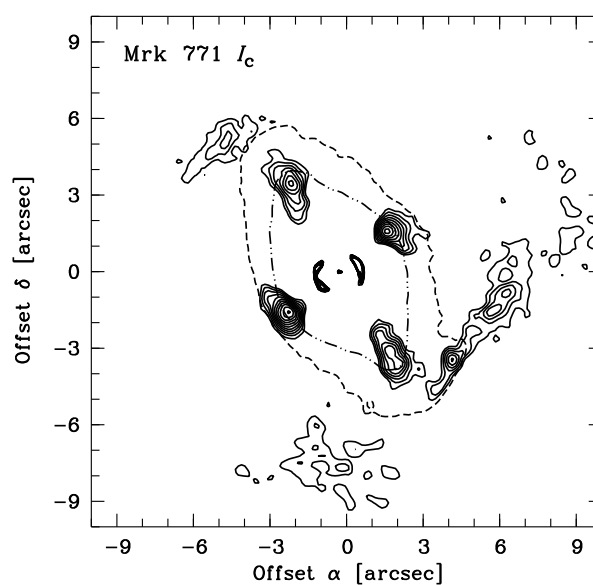
виж също Vila-Vilaró et al. (1995); Asif et al. (1998). Последните автори, напр., твърдят, че пръстенът, описан от арките, е наистина елиптичен и е в равнината на галактиката. Поведението на профилите във вътрешните $15''$ е свързано с ENLR, праховите арки и предложения вътрешен диск (Simkin 1975; Bosma 1981; Gadotti 2008).

6.18 Mrk 766

Контрастният резидуал (Фиг. 6.27) разкрива асиметрична спирална структура, образуваща псевдо-пръстен ($r \approx 22''$), съобщен още от MacKenty (1990). Цветната карта във $V-I_C$ (Фиг. 6.27, начертана) следва излъчването в [O III], издължено в посока северозапад-югоизток, в съгласие с Mulchaey et al. (1996). Забелязва се и синьо образуване на североизток, най-вероятно отразяващо области на звездообразуване. Има прахови ивици по дължината на бара и в околнядрените области (Martini et al. 2003a). Профилът на SB е повлиян от бара и спиралната структура. По-големият максимум на елиптичността в областта на бара във V е свързан с излъчването в [O III].



ФИГУРА 6.27: Резидуал с извадена контрастна маска на Mrk 766 във V . Начертана е цветна карта във $V-I_C$ (нивата варират от 0.9 до 1.15 със стъпка $0.05 \text{ mag arcsec}^{-2}$, черно) и моделна изофота на максимума на елиптичността във V . Вижда се външният псевдо-пръстен, сините области на северозапад-югоизток и синьото образуване на североизток.

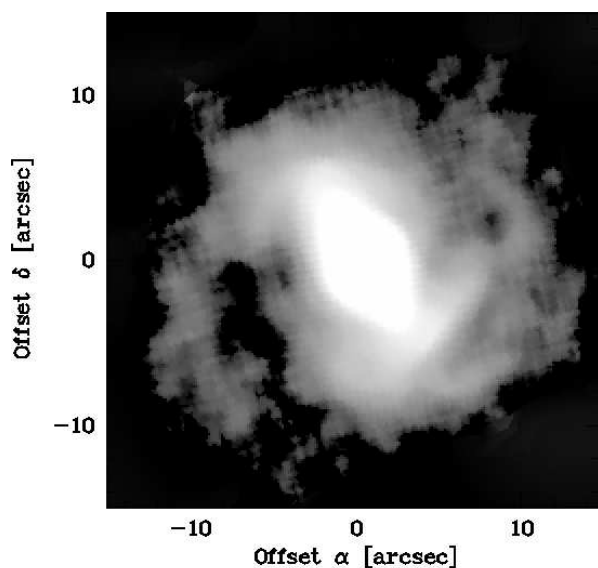


ФИГУРА 6.28: Карта на резидуал с изваден модел на Mrk 771 в I_C . Начертани са изофотите, съответстващи на максимума на s_4 и на максимума на елиптичността. Виждат се кръстообразната структура, ромбовидната изофота, свързана с нея, и образуванията от двете страни на бара.

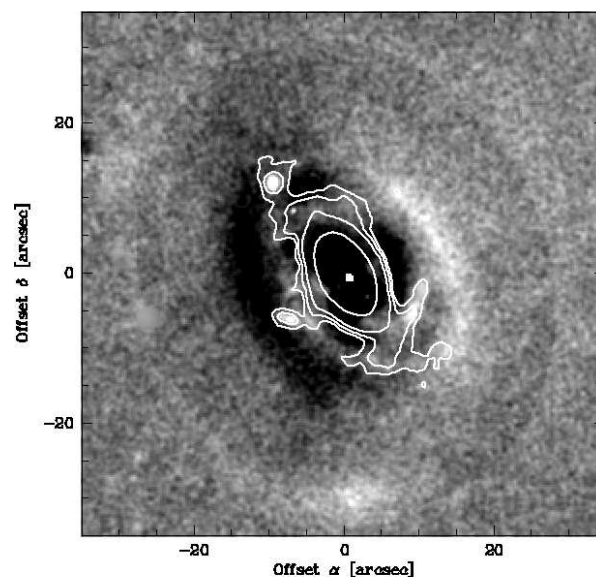
6.19 Mrk 771

Кръстообразната структура на резидуала с изваден модел (Фиг. 6.28), придружена от ромбовидни (disky) изофоти (положителен Фурие коефициент c_4 ; дефинираме c_4 съгласно Milvang-Jensen & Jørgensen 1999) се дължи на комбинираното действие на бълджа и бара. Около югозападния край на бара има верига сини компактни образувания (Фиг. 6.28), които се свързват със сливащ се спътник с по-малка маса (Hutchings & Neff 1992; Hutchings et al. 1994) или със самия бар, като се има предвид подобното по-слабо образувание около другия край на бара (Surace et al. 2001). Подобни структури са наблюдавани в Mrk 279. Контрастният резидуал (Фиг. 6.29) разкрива слаба асиметрична спирална структура, образуваща почти пълен псевдо-пръстен. Образованията са част от този пръстен (виж също Hutchings & Neff 1992), добре изявен на изображенията от HST (виж Фиг. 3 на Surace et al. 2001).

Барът поражда максимум на елиптичността при почти постоянен PA, но не повлиява профила на SB, тъй като външните му части остават нефитирани (Фиг. 6.28). Образованията от двете му страни се изявяват на профила на SB около $a = 6''$ и пораждат пик, наложен върху максимума на елиптичността, и посиняване на цветния профил. За да определим елиптичността на бара, построихме профили в $F606W$ от архивни данни от WFPC2 на HST, върху които пиковете на елиптичността поради бара и компактните образувания са разделени. Вариациите в централните части на профилите са артефакти от отвора за гидиране с $a = 0''.75$ (Hutchings & Neff 1992).



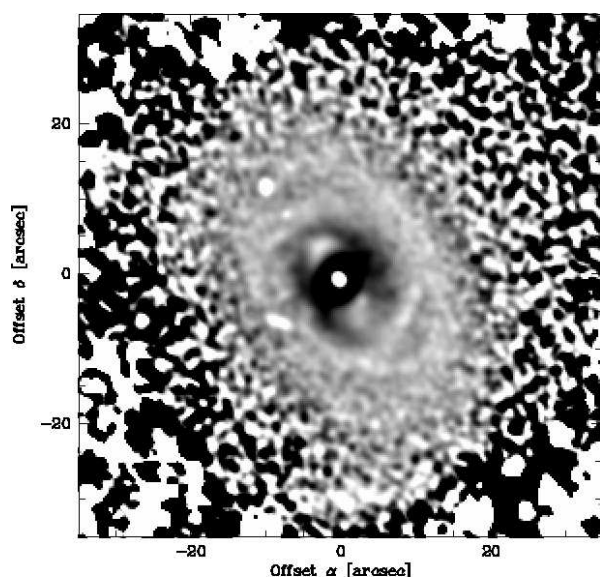
Фигура 6.29: Резидуал с извадена неконтрастна маска на Mrk 771 в I_C . Откроява се асиметричната спирална структура.



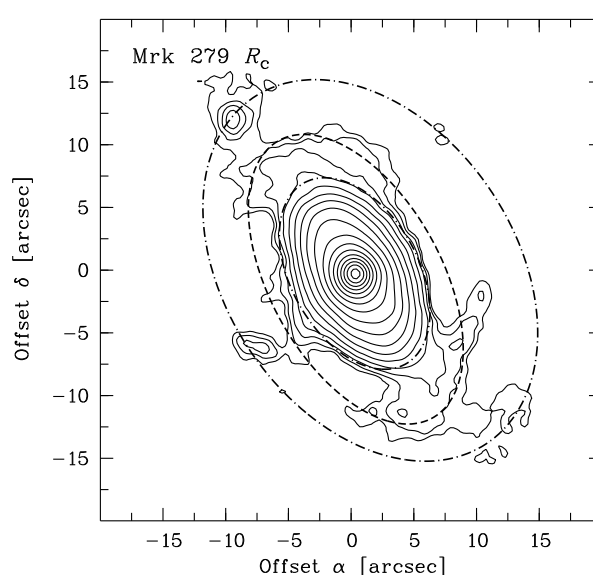
Фигура 6.30: Резидуал с изваден модел на Mrk 279 в R_C ; начертан е резидуалът с извадена неконтрастна маска. Изпъкват опашката и западната част на пръстена.

6.20 NGC 4593

Галактиката има бар с вътрешен пръстен около него и външен псевдо-пръстен ($a \times b \approx 100'' \times 80''$). Барът се изявява на профила на SB и поражда широк максимум на елиптичността при почти постоянен PA около $a = 47''$. Вътрешният пръстен повлиява профила на SB около $a = 65''$ и води до пик на елиптичността, наложен върху максимума, и посиняване на цветния профил. Леко пертурбираният вид на спиралната структура, която се проявява на профилите на SB и на цвета, може да е свързан с взаимодействието със спътника (Kormendy et al. 2006). NGC 4593 има силно завита едноръкавна ядрена спирала (Martini et al. 2003a).



ФИГУРА 6.31: Структурна карта на Mrk 279 в R_C . Може да се проследи овалът/лещата, заедно с останалите структури, дискутирани в текста.



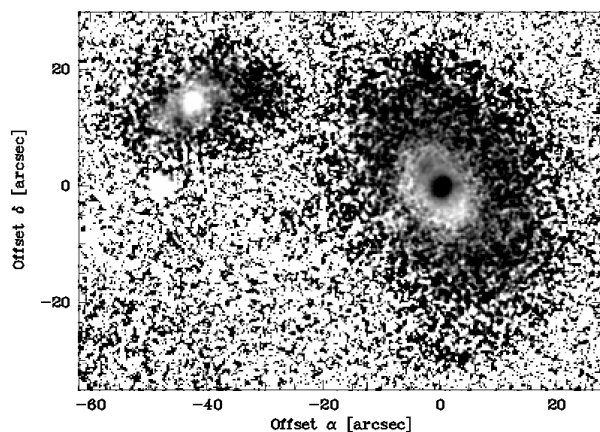
ФИГУРА 6.32: Карта на резидуал с извадена неконтрастна маска на Mrk 279 в R_C ; начертана е моделната изофота, съответстваща на максимума на елиптичността, заедно с обграждащите я изофоти. Максимумът на елиптичността е свързан с правите образувания.

6.21 Mrk 279

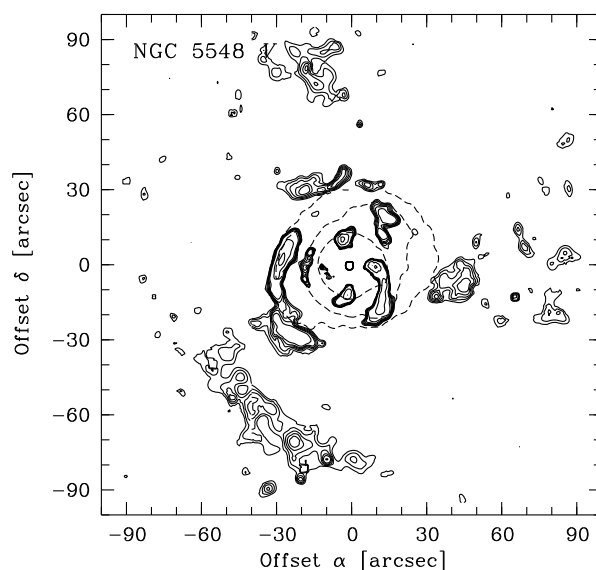
Моделният резидуал (Фиг. 6.30) разкрива външен пръстен, по-ярък на запад и отместен на северозапад спрямо централните части на галактиката (пръстеновидният вид на периферните области е забелязан още от Adams 1977) и опашка на юг. Около $a = 5''$ профилът на SB има издатина, съпроводена от почти постоянни елиптичност и PA, а профилът на елиптичността, построен от архивни изображения в $F814W$ от WFPC2 на HST, показва пик. В тази област структурната карта (Фиг. 6.31) разкрива барообразна структура (елиптичността ѝ е определена, ползвайки профилите от

HST), която най-вероятно е овал/леща, като се има предвид малката депроектирана елиптичност от 0.13. Хипотезата за бар вече е дискутирана (Knapen et al. 2000; Pogge & Martini 2002; Scott et al. 2004). Почти перпендикулярно на двете страни на овала/лещата излизат две прави образувания (по-добре изявено е югозападното), подобни на тези в Mrk 771 (Фиг. 6.32). В допълнение, има някои по-компактни структури на около $15''$ на североизток и на $9''$ на югоизток от ядрото. Североизточната структура изглежда синя и издължена на изображенията от HST, а югоизточната, която всъщност представлява два обекта, най-вероятно проектирани, е червена. Правите образувания (споменати от Adams 1977) и опашката са сини; като цяло, външните части на галактиката са сини и асиметрични, както се вижда на цветната карта (Фиг. 6.33). Пертурбираната морфология на Mrk 279 може да е резултат от взаимодействие със спътника, който става по-син и издължен в посока към нея. Контрастният резидуал разкрива наченки на спирални ръкави у спътника, подсказващи SA0/a рес морфология.

Зависимият от дължината на вълната максимум на елиптичността на $a \approx 13''$ е свързан с правите образувания. Пръстенът се проявява на профила на SB и води до посиняване на цветните профили около $a = 17''$. Спиралните прахови линии на $a \approx 5'' - 8''$, ясно очертани на изображенията от HST (виж напр. Pogge & Martini 2002), пораждат почервяване на цветните профили около $a = 6''$.



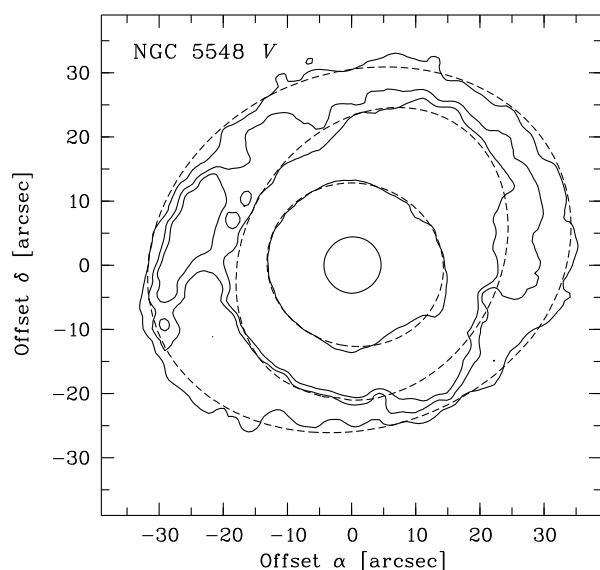
ФИГУРА 6.33: Цветно изображение на Mrk 279 в $B - I_C$; цветният показател варира от 1.7 до $2.3 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Външните области на галактиката са сини и асиметрични; спътникът става по-син в посока към Mrk 279.



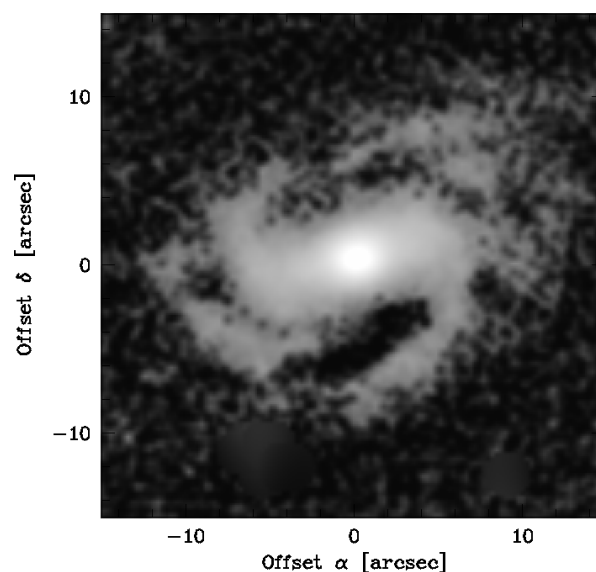
ФИГУРА 6.34: Карта на резидуал с изваден модел на NGC 5548 във V . Начертани са моделните изофоти, съответстващи на пиковете на елиптичността. Виждат се извитата опашка, фрагменти от обвивките и “северната система”.

6.22 NGC 5548

Директните изображения и изофотната карта разкриват пертурбирана структура. [Schweizer & Seitzer \(1988\)](#) различават три обвивки (shells, на $a \approx 11''/16''/28''$ на изток/запад/изток от ядрото), пресичащи двойка слаби спирални ръкави, и дълга извита опашка “обгръщаща галактиката и вероятно свързана със северната система с ниска SB”, които в миналото са били интерпретирани като пръстени ([Adams 1977](#)). Цитираната система, както и извитата опашка и фрагменти от обвивките се виждат на моделния резидуал (Фиг. 6.34). В допълнение, [Tyson et al. \(1998\)](#) съобщават за дълга, права, синя опашка с ниска SB и предполагат, че обвивките и опашките свидетелстват сливането на две спирални галактики (виж също [Neff et al. 1990](#)). От друга страна, според [Kuo et al. \(2008\)](#) силната пертурбация на NGC 5548 се дължи на неотдавнашно взаимодействие със спътниците, за което съдят по HI данни. Обвивките и извитата опашка се изявяват на профилите на SB и пораждат посиняване на цветните профили и пикове на елиптичността и PA (виж Фиг. 6.35). Наблюдава се силно завита околоядрена прахова спирала ([Martini et al. 2003a](#)).



ФИГУРА 6.35: Изофотна карта на NGC 5548 във V. Начертани са моделните изофоти, съответстващи на пиковете на елиптичността.



ФИГУРА 6.36: Резидуал с извадена неконтрастна маска на Ark 479 във V. Виждат се барът и спиралната структура.

6.23 Ark 479

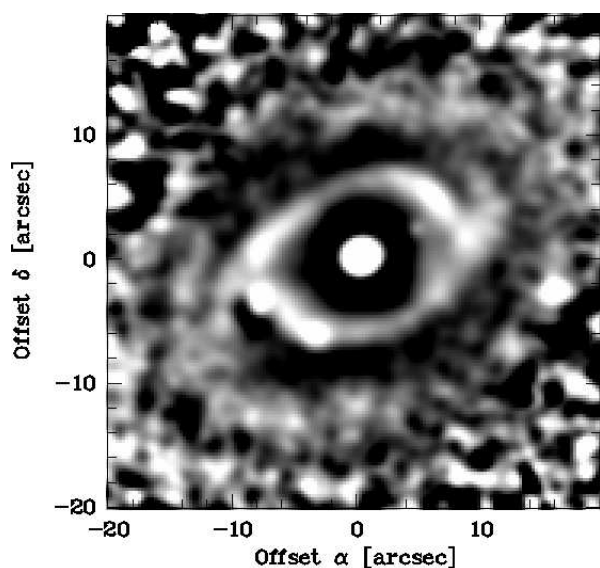
Профилът на елиптичността показва максимум около $a = 6''$, придружен от лека издатина на профила на SB и почти постоянен PA, което съответства на бар. При прехода към диска PA се променя, което индуцира минимум на елиптичността. Контрастният

резидуал (Фиг. 6.36) разкрива бара и спирална структура, която причинява зависимост на максимума на елиптичността от дължината на вълната, и слабо повлиява профила на SB (най-забележимо във V).

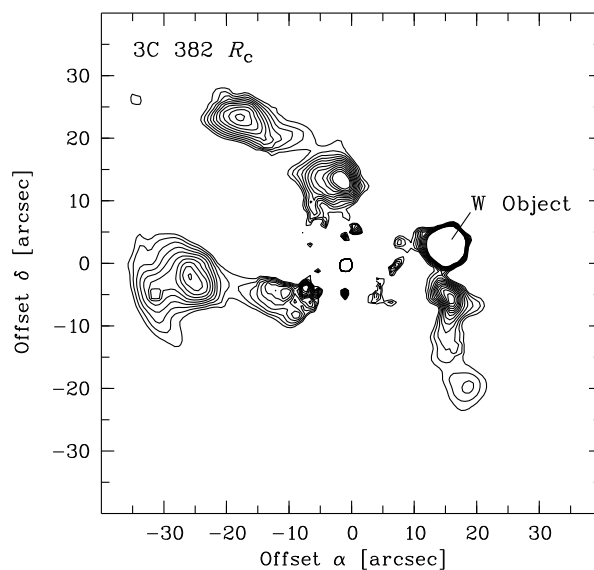
6.24 Mrk 506

Структурната карта (Фиг. 6.37) разкрива вътрешен пръстен ($a \times b \approx 9'' \times 6''$), забелязан още от Adams (1977), и двойка слаби спирални ръкави, които излизат от него и достигат слаб външен пръстен ($a \times b \approx 16'' \times 13''$). Забележително е, че Mrk 506 е включена в групата на галактики с два пръстена още от Su & Simkin (1980). Вътрешният пръстен води до посиняване на $B - I_C$ профила и се извява на профила на SB, който е слабо повлиян и от спиралните ръкави в B . Според Keel (1996a) спиралните ръкави могат да са свързани с ретрограден пасаж на спътник със същата маса; нека отбележим, че спътникът на около 0.8 на югозапад е със съизмерима яркост.

Въпреки, че Mrk 506 е класифицирана със слаб бар (RC3), поведението на профилите не показва индикации за бар. Освен това, след изваждането на 2D модел на елиптичен пръстен, издатината на SB около $a = 9''$ практически изчезва.



ФИГУРА 6.37: Структурна карта на Mrk 506 в R_C . Открояват се пръстените и спиралните ръкави.



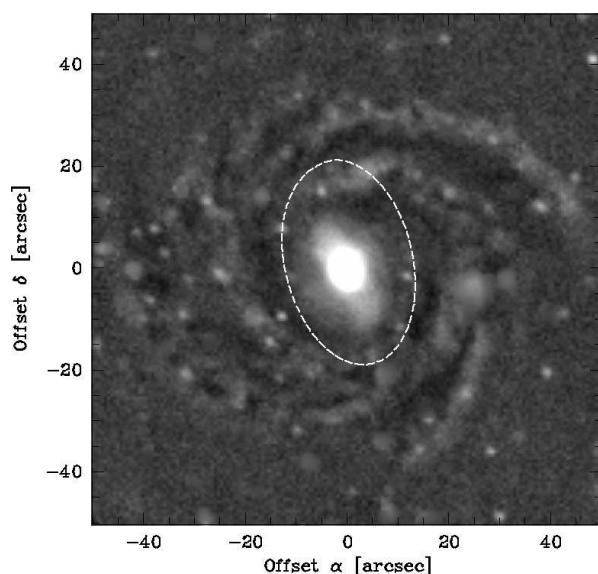
ФИГУРА 6.38: Карта на резидуал с изваден модел на 3C 382 в R_C . Изпъкват три нишковидни образувания. Обектът на $16''$ на запад, коригиран от изображенията, е показан за илюстрация.

6.25 3C 382

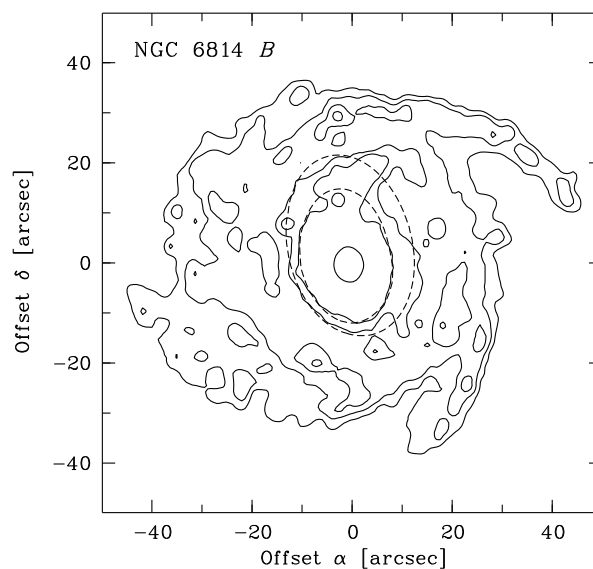
3C 382 е радиогалактика с широки емисионни линии (Broad-Line Radio Galaxy, BLRG) с два радиолоба и джет (Black et al. 1992). На моделния резидуал (Фиг. 6.38) се открояват три нишковидни образувания (filaments). Североизточното и източното са насочени към спирална галактика на около $1\frac{1}{4}$ на североизток; ориентацията на двете галактики приблизително съвпада с радиооста (Strom et al. 1978). Според Roche & Eales (2000) двете галактики взаимодействат, а синият обект на $16''$ на запад (Фиг. 6.38) може да е богата на газ галактика-джудже в процес на сливане с 3C 382. Според нас този обект най-вероятно е проектиран. На архивните изображения от WFPC2 на HST има звездообразен вид; след изваждането на PSF, генериран със софтуера Tiny Tim (Krist 1995), не остава никаква забележима структура. Югозападното нишковидно образувание може също да е резултат от взаимодействие. Образуванията се извяват на профила на SB. Минимумът на елиптичността около $a = 11''$ е свързан със североизточното образувание.

6.26 3C 390.3

3C 390.3 е BLRG с два радиолоба (Corbett et al. 1998). На резидуалите и профилите не се забелязват признаци за наличието на съществени структури.



ФИГУРА 6.39: Резидуал, разделен на некон-трастна маска, на NGC 6814 в R_C . Начертана е моделната изофота, съответстваща на максимума на елиптичността. Могат да се проследят барът и спиралната структура.



ФИГУРА 6.40: Изофотна карта на NGC 6814 в B . Начертани са моделните изофоти, съответстващи на двата пика на елиптичността.

6.27 NGC 6814

Класификацията на ядрото се е променяла между Sy 1 и Sy 1.8, сега е Sy 1.5 (NED). Като обект с ниска галактична ширина, NGC 6814, за съжаление, изобилства от проектирани звезди. Спиралната структура има характеристиките както на крупномащабен, така и на многоръкавен тип (Sandage & Bedke 1994). Богатите на H II области ръкави силно се разклоняват, като повърхностната им яркост рязко пада, както отбелязва още Sandage (1961).

На контрастния резидуал (Фиг. 6.39) може да се проследи слаб бар. Проявленията му на профилите, обаче, са маскирани от спиралната структура, която поражда максимум на елиптичността, зависещ от дължината на вълната, и посиняване на цветните профили и повлиява профила на SB (най-силно в B) в областта $a \approx 10'' - 40''$ (Фиг. 6.40). За да определим елиптичността на бара, построихме профили в J от данни от 2MASS, върху които пиковете на елиптичността, причинени от бара и от вътрешната спирална структура, се разделят. Външната спирална структура слабо повлиява профилите.

6.28 Mrk 509

Mrk 509 е ярка Sy галактика с обширна радиоструктура на $PA = -65^\circ$ (Singh & Westergaard 1992). Галактиката на около $2/3$ на север може да е спътник (Boris et al. 2002, виж също Rafanelli et al. 1993).

6.29 Mrk 1513

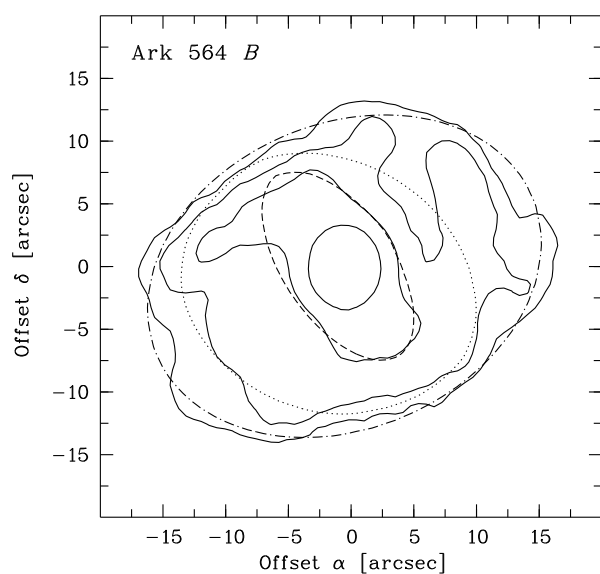
Mrk 1513 има спирална структура, пекулярна в североизточната си част, образуваща външен псевдо-пръстен, ($a \times b \approx 13'' \times 6''$; виж напр. Фиг. 3 на Surace et al. 2001), който се извява на профила на SB. Bentz et al. (2006) съобщават за наличието на приливна опашка, която всъщност е част от вътрешната спирална структура. Veilleux et al. (2006) третират Mrk 1513 като резултат от богати на газ сливащи се галактики (виж също Hutchings & Neff 1992).

6.30 Mrk 304

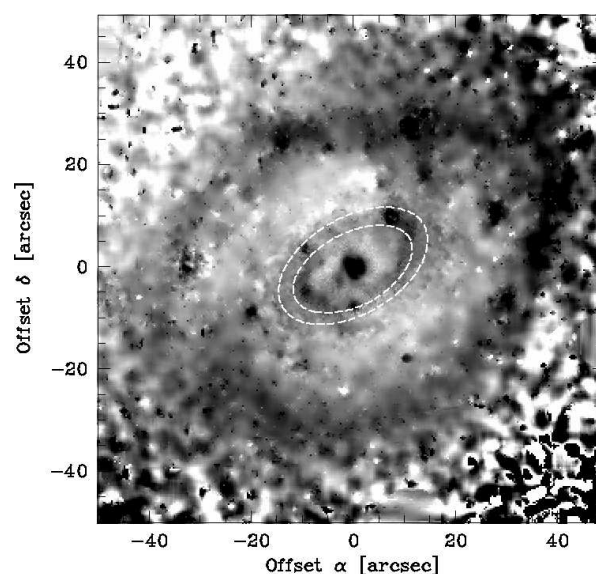
Ядрото на Mrk 304 е на границата между Sy 1 ядра и квазари по светимост. Lim & Ho (1999, 2002) привеждат H I аргументи за евентуално сливане на две богати на газ галактики на относително късен етап. Масата на H I е типична за голяма спирална галактика (Condon et al. 1985). PA не е добре ограничен поради малкия наклон.

6.31 Ark 564

Барът ясно се откроява на изофотната карта (Фиг. 6.41) и има класически израз на профилите около $a = 8''$. Поради частично фитиране от модела началата на спиралните ръкави се извяват на профила на SB, най-добре в B , и пораждат посиняване на цветните профили и зависимост на максимума на елиптичността от дължината на вълната (систематично увеличаващ се от I_C към B). Спиралната структура образува син псевдо-пръстен ($a \times b \approx 16'' \times 12''$), чието проявление върху профила на SB се слива с това на бара. Преходът на PA между бара и диска индуцира минимум на елиптичността.



ФИГУРА 6.41: Изофотна карта на Ark 564 в B . Начертани са изофотите, съответстващи на максимума на елиптичността, на последващия го минимум и на диска, заедно със съответните моделни изофоти. Добре изяви са барът и спиралните ръкави, северозападният по-силен.

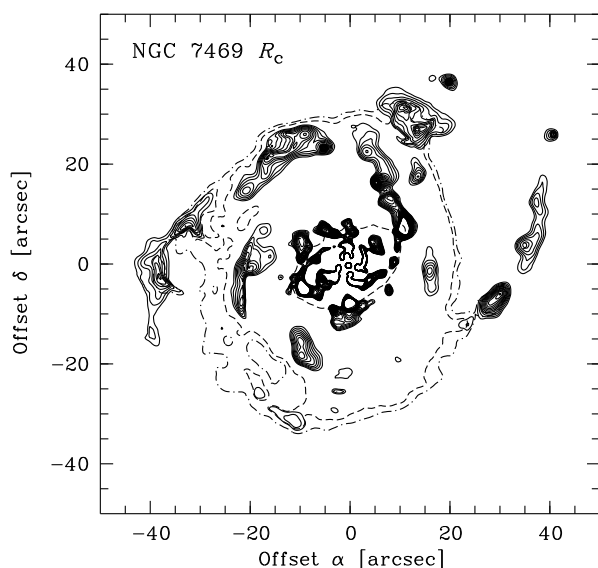


ФИГУРА 6.42: Цветно изображение на NGC 7469 в $B-I_C$; цветният показател варира от 1.6 до $2.7 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Начертани са моделните изофоти, съответстващи на двата пика на елиптичността. Добре очертани са псевдо-пръстените и прахът.

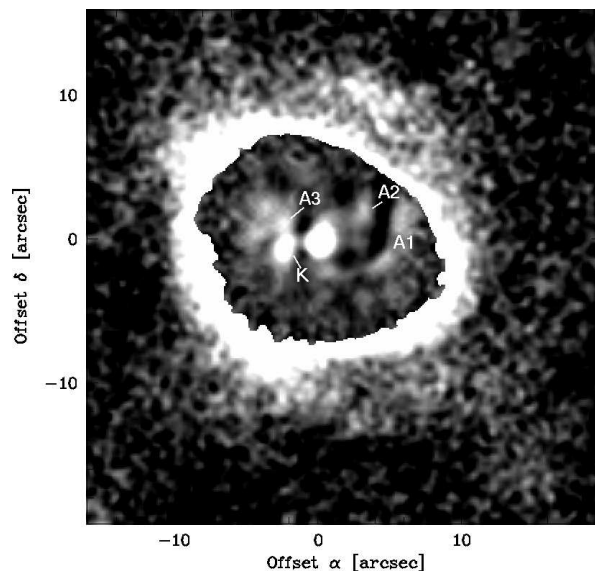
6.32 NGC 7469

Звездообразуването в NGC 7469, по-добре изразено в северната част на спиралната структура, може да е индуцирано от неправилния спътник на около 1.3 на север-североизток, който има приливна опашка на северозапад (Dopita et al. 2002). Наблюдават се външен неправилен псевдо-пръстен ($a \times b \approx 44'' \times 31''$) и вътрешен псевдо-пръстен ($a \times b \approx 13'' \times 7''$), чието северна част има ветрилообразна форма поради поглъщане от прах (Фиг. 6.42).

Профилът на елиптичността има максимум около $a = 14''$, придружен от издатина на профила на SB, при почти постоянен PA. Поведението на профилите в тази област не е типично – във вътрешните ѝ части е доминирано от вътрешния псевдо-пръстен ($a \times b \approx 13'' \times 7''$), а във външните – от барообразна структура (Фиг. 6.42). Това е най-добре илюстрирано в I_C от двупиковия максимум на елиптичността и съответната слаба двойна структура на профила на SB. Като се има предвид малката депроектирана елиптичност от 0.12, барообразната структура най-вероятно е овал/леща. Márquez & Moles (1994) предлагат леща, но главно на базата на невъзможността си да намерят резонен фит на профила на SB с бар. Зависимостта на максимума на елиптичността от дължината на вълната се причинява от вътрешния псевдо-пръстен и спиралната структура. Вариациите на профила на PA са свързани със спиралната структура, която се извява и на профила на SB (Фиг. 6.43). Пръстенът и спиралната структура причиняват посиняване на цветните профили. Широко дискутиран е неправилният околядрен пръстен (около $3''$ в диаметър) с области на звездообразуване (Wilson et al. 1991).



Фигура 6.43: Карта на резидуал с изваден модел на NGC 7469 в R_C . Начертани са изофотите, съответстващи на максимумите на елиптичността и на максимума на PA, който е свързан със спиралната структура.

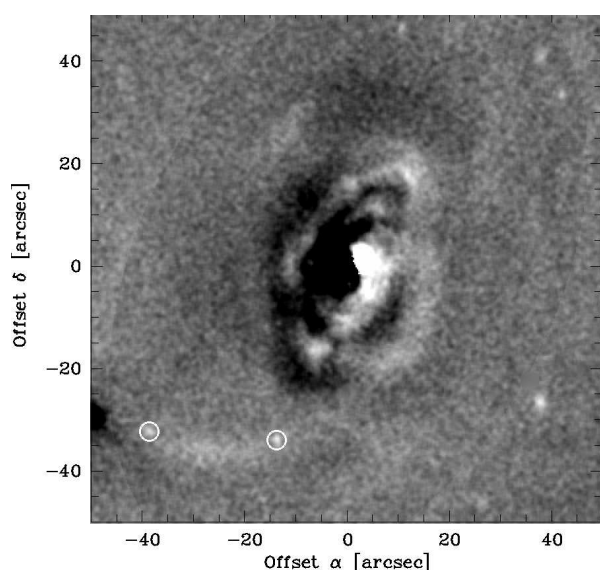


Фигура 6.44: Композитен резидуал на Mrk 315 в R_C , съставен от резидуал разделен на/с извадена контрастна маска, така че да могат да се проследят вътрешните образувания/слабата външна спирална структура.

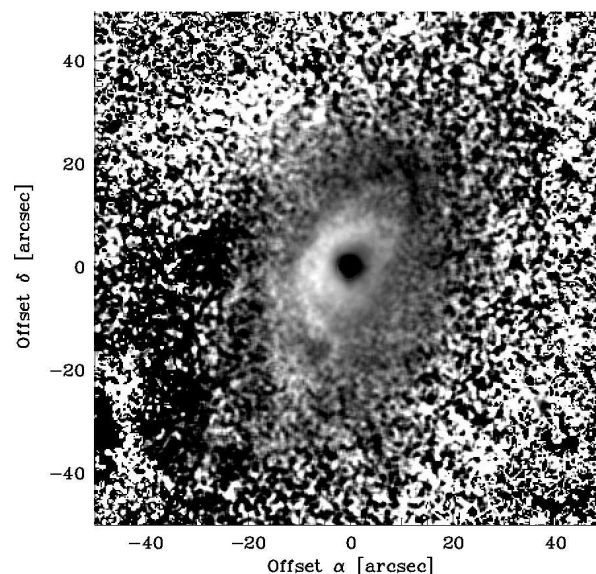
6.33 Mrk 315

Галактиката с емисионни линии на около $1'$ на югоизток, свързана с издължения H I облак (Simkin & MacKenty 2001), има пертурбирана форма и е спътник-джудже на Mrk 315 според Ciroi et al. (2005).

Централната част на Mrk 315 е богата на структури: компактното образувание К и областите А1, А2 и А3, както са наречени от [Ciroi et al. \(2005\)](#); виж също [MacKenty et al. \(1994\)](#) и [Nonino et al. \(1998\)](#). Според [Ciroi et al. \(2005\)](#) К е останка от галактика-джудже, а А1, А2 и А3 са области на звездообразуване, образуващи квази-пръстен. Тези структури, добре изявиени на контрастния резидуал (Фиг. 6.44), повлияват профилите в централните $7''$. Контрастният резидуал разкрива и слаба спирална структура (виж също [Ciroi et al. 2005](#)). Промяната на РА при прехода към диска индуцира минимум на елиптичността.



ФИГУРА 6.45: Резидуал на NGC 7603 във V с изваден модел. Могат да се проследят комплекс от примкообразни структури и нишковидно образувание с две емисионни галактики проектирани върху него (оградени).

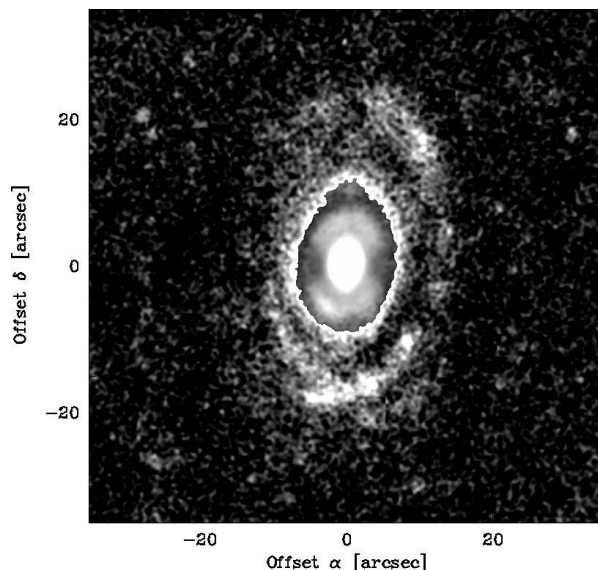


ФИГУРА 6.46: NGC 7603 $V-I_C$ изображение; цветният показател варира от 1.15 до $1.7 \text{ mag arcsec}^{-2}$. Примкообразните структури са сини, виждат се и червени прахови ивици.

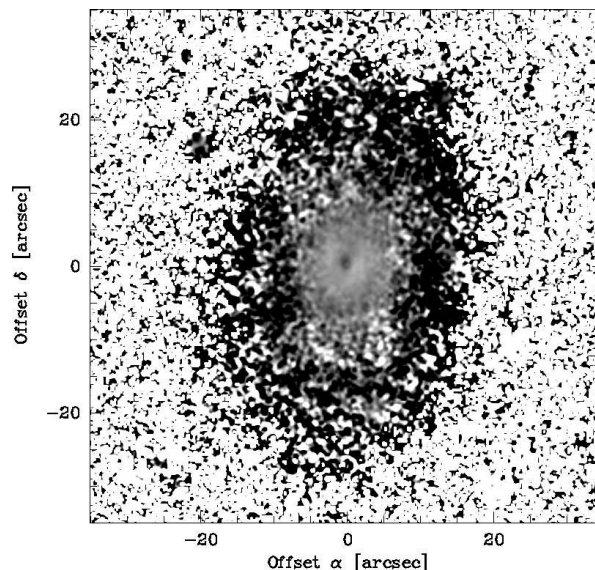
6.34 NGC 7603

NGC 7603 и галактиката на около $1'$ на югоизток са пример на асоциация с аномално червено отместване ([Arp 1971](#)). Около системата има асиметрично хало, ярко нишковидно образувание, свързващо двете галактики (заедно с опашка на север от спътника), слаб насрещен ръкав (counter-arm), както и по-слабо нишковидно образувание на юг; NGC 7603 и яркото нишковидно образувание показват индикации за приливно взаимодействие (виж [López-Corredoira & Gutiérrez 2004](#), както и библиографията там). Двете компактни образувания, наложени върху яркото нишковидно образувание, всъщност са слаби галактики с емисионни линии ([López-Corredoira & Gutiérrez 2002](#), виж Фиг. 6.45).

Моделният резидуал (Фиг. 6.45) разкрива примкообразни структури (loops), които изглеждат сини на цветното изображение (Фиг. 6.46) и цветните профили. Те се изявяват и на профилите на SB и причиняват слаби пикове на елиптичността на $a \approx 21''$. На цветното изображение се виждат и прахови ивици на изток от ядрото.



ФИГУРА 6.47: Композитен резидуал на Mrk 541 в R_C , съставен от резидуал разделен на/с извадена контрастна маска, така че да се открие вътрешният/външният пръстен



ФИГУРА 6.48: Mrk 541 $V-I_C$ изображение; цветният показател варира от 0.9 до $1.5 \text{ mag arcsec}^{-2}$.

6.35 Mrk 541

Контрастният резидуал (Фиг. 6.47) разкрива вътрешен пръстен ($a \times b \approx 7'' \times 5''$), пресечен приблизително по малката ос на галактиката, и външен пръстен ($a \times b \approx 20'' \times 13''$), по-добре изявен на запад и отместен на север спрямо ядрото. Пръстените повлияват профилите на SB и са сини на цветните изображения (Фиг. 6.48) и профили. Външният пръстен е забелязан още от Adams (1977), а Su & Simkin (1980) включват Mrk 541 в групата галактики с два пръстена.

Глава 7

Дискусия

7.1 Морфологична характеристика на извадката от Сийфърт галактики

Проведена е подробна морфологична характеристика на извадка от *Su* галактики и на контролна извадка от неактивни галактики. Внимателно инспектирахме различни типове изображения, резидуали, карти и профили на всяка галактика поотделно, за да разкрием наличието на структури, съществени в контекста на захранване на *Su* ядрата и адекватната структурна декомпозиция (виж Приложение 1 и Гл. 6). Като резултат даваме морфологичната класификация, определена от това изследване (грешката на T е ± 1), и забележки относно наличието на барове, пръстени (включително псевдопръстени), асиметрии и спътници в последните шест колони на Табл. 7.1 и 7.2 за *Su* и контролната извадка, съответно.

Открихме следните структури, недокладвани досега, доколкото ни е известно:

- бар в Ark 479 и овал/леща в Mrk 595;
- вътрешни пръстени в Ark 120 и Mrk 376;
- нишковидни (3C 382) и примковидни (NGC 7603) образувания;
- ядрен бар, обграден от пръстен в Mrk 352, и ядрени прахови ивици в Mrk 590.

Освен това, уточнихме морфологичния статус на някои обекти. Считаме, че Mrk 376 е с бар, Mrk 279 и NGC 7469 имат овал/леща, Mrk 506 няма бар и NGC 3516 има вътрешен пръстен. Дискутираме баровете, предложени за Mrk 573 и NGC 3227, както и природата на обекта, за който е предложено да е сливаща се галактика с 3C 382.

Невинаги баровете явно се изявяват на профилите на галактиките. Максимумът на елиптичността може да е маскиран от началата на спиралните ръкави (напр.

NGC 6814), образувания на краищата на бара (напр. Mrk 771) или по-централни структури (напр. NGC 7469). Издатината на профила на SB може да е слаба или дори да липсва (напр. Mrk 771 и NGC 6814). Началата на спиралните ръкави, излизащи от краищата на бара, пораждат издатина на профила на SB, зависеща от дължината на вълната, и пик на елиптичността, наложени съответно върху края на издатината на профила на SB, породена от бара, и максимума на елиптичността, както и посиняване на цвета при почти постоянен/слабо променящ се PA (напр. Mrk 79 и NGC 4593); максимумът на елиптичността също може да зависи от дължината на вълната (напр. Ark 564). Това маскиране на краищата на бара може да доведе до надценяване на дължината на бара, определена на базата на декомпозиция.

Като цяло, в резултат на частичното фитиране на спиралната структура от модела тя се изявява на профила на SB при постоянно променящ се PA; често се наблюдава и максимум на елиптичността (напр. Mrk 348, I Zw 1). Пръстените обикновено повлияват профила на SB (напр. Mrk 506, Mrk 541). И други структури биха могли да повлияят профилите – образувания на краищата на бара (Mrk 771, Mrk 279), обвивки (NGC 5548), приливни образувания (напр. III Zw 2), прах (напр. NGC 3227), компактни структури (3C 120, Mrk 315) и [O III] емисионни области (Mrk 573, Mrk 595, Mrk 766). Така, горепосочените структури могат да модифицират разпределението на SB, като по този начин променят структурните параметри, определени на базата на декомпозиция. За да се получат надеждни оценки на параметрите, тези структури трябва да се вземат предвид при декомпозицията като се фитират (напр. последната версия на GALFIT, Peng et al. 2010) или като се изключат съответните области.

Малкият дял елиптични галактики сред Sy галактиките е известен отдавна (Adams 1977; Moles et al. 1995). Наблюдава се, обаче, тенденция ярките радиотихи квазари, също като радиосилните, да се намират в елиптични галактики. По този начин се отрича дълго считаната връзка между радиосилата и T (напр. McLure et al. 1999). Всъщност няколко от галактиките от нашата извадка са класифицирани като елиптични, но ние считаме всички за дискови (виж Табл. 7.1). Объркването $E \leftrightarrow S0$ може често да възникне при визуална класификация, особено на слаби/далечни галактики (de Souza et al. 2004). Идентификацията на дискови галактики, погрешно класифицирани като елиптични, е съществена и за фотометричната декомпозиция (Erwin et al. 2004). Освен това, лошото изображение и разрешение могат да доведат до недетектиране на спиралната структура (т.е. погрешна класификация $Spiral \rightarrow S0$) и на баровете/пръстените. Разликите в морфологичния тип между това изследване и RC3 (или NED/HyperLeda/SIMBAD, когато няма добре дефинирана класификация в RC3) може да се проследи в Табл. 7.1. Хъбл типът на извадката варира от S0 до Sbc с медианно S0/a (Фиг. 2.1). Тъй като голяма част от извадката се състои от Sy 1 обекти, преобладаването на ранни типове може да отразява факта, че Sy 1 галактиките имат по-малък T от Sy 2 (Fricke & Kollatschny 1989; Hunt & Malkan 1999; Koulouridis et al. 2006). Тенденцията активните галактики да са от по-ранни типове от неактивните е отбелязана още от Terlevich et al. (1987; виж също Hunt & Malkan 1999).

Таблица 7.1: Морфологични особености на извадката от Su галактики.

Su галактика (1)	MT ^{RC3} (2)	MT ^{our} (3)	B (4)	R (5)	A (6)	C (7)	Any (8)
Mrk 335	S0/a ^N	SA0 pec	○	○	●	○	●
III Zw 2	E ^{Sim}	SA0 pec	○	○	●	●	●
Mrk 348	SA(s)0/a:	SA(s)a	○	●	●	●	●
I Zw 1	Sa ^N	SA(s)ab	○	○	●	●	●
Mrk 352	SA0	SA0	○	○	○	○	○
Mrk 573	(R)SAB(rs)0 ⁺ :	(R)SAB(r)0	●	●	○	●	●
Mrk 590	SA(s)a:	SA(s)a	○	○	○	●	●
Mrk 595	Sa ^N	SAB0/a	●	○	○	○	●
3C 120	S0:	SA0 pec	○	○	●	○	●
Ark 120	Sb pec ^N	SA(r)0 pec	○	●	●	○	●
Mrk 376	S0: ^N	(R')SAB(r)a	●	●	○	○	●
Mrk 79	SBb	SB(rs)b	●	●	●	○	●
Mrk 382	SBc ^{Sim}	(R')SAB(r)bc	●	●	○	○	●
NGC 3227	SAB(s)a pec	SAB(s)a pec	●	○	●	●	●
NGC 3516	(R)SB(s)0 ⁰ :	(R)SAB(r)0	●	●	○	○	●
NGC 4051	SAB(rs)bc	SAB(s)bc	●	○	●	○	●
NGC 4151	(R')SAB(rs)ab:	(R')SB(rs)ab	●	●	○	●	●
Mrk 766	(R')SB(s)a:	(R')SAB(s)ab	●	●	●	○	●
Mrk 771	Spiral ^N	(R')SAB0/a pec	●	●	●	○	●
NGC 4593	(R)SB(rs)b	(R')SAB(rs)b	●	●	●	●	●
Mrk 279	S0	(R)SAB0 pec	●	●	●	●	●
NGC 5548	(R')SA(s)0/a	SA0/a pec	○	○	●	●	●
Ark 479	S0 ^{HL}	SAB(s)ab	●	○	○	●	●
Mrk 506	SAB(r)a	(R)SA(r)0/a	○	●	○	●	●
3C 382	...	SA0 pec	○	○	●	○	●
3C 390.3	S0: ^{Sim}	SA0	○	○	○	●	●
NGC 6814	SAB(rs)bc	SAB(rs)bc	●	●	○	○	●
Mrk 509	...	SA0	○	○	○	○	○
Mrk 1513	(R)Sa	(R')SA(s)a	○	●	○	○	●
Mrk 304	...	SA0	○	○	○	○	○
Ark 564	SB	(R')SB(s)b	●	●	○	○	●
NGC 7469	(R')SAB(rs)a	(R')SAB(rs)a	●	●	○	●	●
Mrk 315	E1 pec?	SA(s)0/a pec	○	○	●	●	●
NGC 7603	SA(rs)b: pec	SA0 pec	○	○	●	?	●
Mrk 541	E/S0 ^{Sim}	(R)SA(r)0	○	●	●	○	●

(2) ^N/^{HL}/^{Sim} означават NED/HyperLeda/SIMBAD. Кол. 4-8 разкриват наличието на (4) бар, овал или леща; (5) вътрешен и/или външен (псевдо-)пръстен; (6) асиметрия; (7) спътник (? означава система с аномално z); (11) някои от предишните особености.

Таблица 7.2: Морфологични особености на извадката от неактивни галактики.

Неактивна галактика	MT ^{RC3}	MT ^{our}	B	R	A	C	Any
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
IC 5017	(R)SAB(rs)0 ⁰	(R)SB(r)0	•	•	○	○	•
2MASX J01505708+0014040	S0/a ^{HL}	SA0	○	○	○	○	○
NGC 2144	(R')SA(rs)a:	(R')SA(rs)a pec	○	•	•	•	•
ESO 155– G 027	(R' ₁ ?)SB(rs)ab ^N	SB(r)b	•	•	•	•	•
2MASX J04363658–0250350	S0 ^N	SA0	○	○	○	•	•
ESO 542– G 015	S0(r): ^{Sim}	SAB0	•	○	○	○	•
NGC 4186	SA(s)ab:	SA(rs)a	○	•	•	○	•
2MASX J00342513–0735582	SB0/a ^N	SAB0	•	○	○	•	•
ESO 202– G 001	SAB(r)0 ⁰ : pec	SA0 pec	○	○	•	○	•
IC 5065	SB0: pec	SAB0 pec	•	○	•	•	•
ESO 545– G 036	(R'?)SA(s)a ^N	(R')SA(s)a pec	○	•	•	○	•
ESO 340– G 036	SB(r)b	SB(r)b	•	•	•	○	•
ESO 268– G 032	SAB(s)bc ^N	SAB(s)bc	•	○	○	○	•
IC 5240	SB(r)a	SB(r)a	•	•	○	○	•
ESO 183– G 030	SA0 ⁻ pec?	SA0	○	○	○	•	•
IC 1993	(R')SAB(rs)b	(R')SA(s)bc	○	•	○	○	•
NGC 2775	SA(r)ab	SA(s)ab	○	○	○	•	•
UGC 6520	SB?	(R')SB(rs)ab	•	•	○	•	•
ESO 349– G 011	SB(r)a ^N	SB(r)a	•	•	○	○	•
NGC 4902	SB(r)b	SB(r)b	•	•	•	•	•
ESO 324– G 003	(R)SA(r)0 ^{+,N}	SA(r)0	○	•	○	○	•
NGC 466	SA(rs)0 ⁺ :	SA(s)0/a	○	○	•	○	•
ESO 297– G 027	SA(rs)b:	SA(rs)ab	○	•	○	○	•
ESO 510– G 048	SA(s)0/a: pec	SA(s)0/a pec	○	○	•	•	•
ESO 292– G 022	SA0 ⁻ pec:	SA0	○	○	○	○	○
ESO 249– G 009	(R)SB0 ⁺ : ^N	(R)SAB0	•	•	○	○	•
NGC 7421	SB(rs)bc	SB(rs)bc pec	•	•	•	•	•
ESO 147– G 013	S0 ⁰ : pec	SA0 pec	○	○	•	○	•
2MASX J14595983+2046121	...	SA(s)a	○	○	•	○	•
ESO 292– G 007	S0 ^N	SA0	○	○	○	•	•
ESO 552– G 053	SB(r)b	(R')SB(r)b	•	•	•	○	•
NGC 897	SA(rs)a	SA(rs)a	○	•	○	•	•
ESO 423– G 016	(R)SB(s)0/a	(R)SAB(s)0/a	•	•	○	•	•
ESO 113– G 050	S0 ⁻ pec	SA0	○	○	•	○	•
UGC 9532 NED04	S0 ^{Sim}	(R)SAB0	•	•	○	•	•

(2) ^N/^{HL}/^{Sim} означават NED/HyperLeda/SIMBAD. Кол. 4-8 са същите като в Табл. 7.1.

7.2 Дял и сила на баровете

Дялът барове в галактиките зависи от дължината на вълната и методите на детектиране на баровете (Aguerri et al. 2009; Hao et al. 2009). Засега няма консенсус за корелация между баровете и Sy галактиките. Изследвайки дяла барове в Sy/неактивни галактики на базата на RC3 класификация, Hunt & Malkan (1999) намират 67%/69% за Extended 12 Micron Galaxy Sample, а Laurikainen et al. (2004a) намират 62%/69% за Ohio State University Bright Galaxy Survey. Използвайки фитиране на елипси в NIR област, Mulchaey & Regan (1997) получават подобни дялове на баровете за Sy (73%) и контролната (72%) извадка, докато Laine et al. (2002) намират излишък на барове в Sy галактиките (73% към 50%).

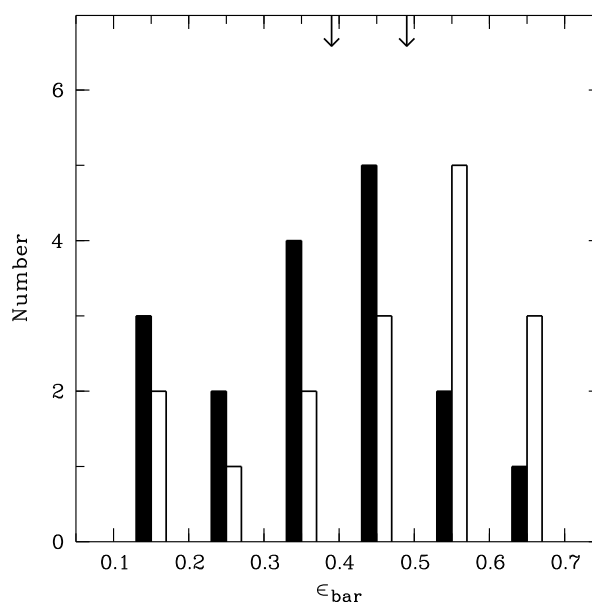
Дялът барове в нашата Sy и контролна извадка е подобен: $(49 \pm 8)\%$ ¹ и $(46 \pm 8)\%$, съответно. Тези стойности са в съгласие с резултатите от количествените методи на идентификация на барове (виж Гл. 1.2.3) и може да са по-ниски в сравнение с други изследвания в оптичния диапазон поради относително големия дял в нашите извадки на S0 галактики, при които по-рядко се срещат барове в сравнение с по-късните типове (Ho et al. 1997; Knapen et al. 2000; Laurikainen et al. 2009; Aguerri et al. 2009). Като се има предвид нашето разпределение на T и зависимостта на дяла барове от T в Ho et al. (1997), на базата на RC3 класификация, и в Aguerri et al. (2009), в резултат на фитиране с елипси, намираме очаквания дял барове на комбинираната ни (Sy и контролна) извадка да е 50% за първите и 44% за вторите автори. Както се вижда, тези стойности са подобни на намерените от нас.

На Фиг. 7.1 представяме разпределението на депроектираните елиптичности на бара за двете извадки. На базата на $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)} = 0.45$ като обективен (макар и не идеален) критерий за сила на бара, намираме, че честотата на срещане на слабите барове в Sy извадката е по-голяма, отколкото в контролната извадка, при около 98% доверително ниво². Този резултат, обаче, е чувствителен към приетата граница, тъй като елиптичностите на Sy баровете са групирани около нея. Ако приемем напр. $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)} = 0.40$ за граница между силни и слаби барове съгласно Martinet & Friedli (1997), тенденцията за дефицит на силни барове в Sy галактиките практически изчезва. Независимо от това Sy баровете (с медианна $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)} = 0.39$) изглеждат по-слаби от съответните неактивни барове (с медианна $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)} = 0.49$) при 95% доверително ниво³, което е в съгласие със Shlosman et al. (2000) и Laurikainen et al. (2002, 2004a). Тази разлика не може да се обясни с предпочитанието на ранни типове галактики към слаби барове (напр. Laurikainen et al. 2004a; Aguerri et al. 2009), тъй като извадките ни са съгласувани по T .

¹Грешката се определя от биномиалното разпределение като $\sigma(f) = \sqrt{f(1-f)/N}$, където f е интересувашата ни част в извадка с размер N .

²Определено с помощта на χ^2 -тест.

³Определено с помощта на едностранен t -тест на Student (one-tailed Student's t -test).



Фигура 7.1: Разпределение на $\epsilon_{\text{bar}}^{(i)}$ на Sy (пълни колони) и контролната (празни колони) извадка. Размерът на бина е 0.1. Лявата/Дясната стрелка посочва медианната стойност за Sy/контролната извадка.

7.3 Дял на пръстените

Дялът пръстени в Sy, $(49 \pm 8)\%$, и контролната, $(54 \pm 8)\%$, извадка е еднакъв в рамките на грешките. В частност, честотата на срещане на вътрешните пръстени в Sy, $(34 \pm 8)\%$, и контролните, $(40 \pm 8)\%$, галактики, е подобна. Относителната част външни пръстени формално е еднаква в рамките на грешките за двете извадки. Все пак външните пръстени се срещат около 1.5 пъти по-често в Sy, $(40 \pm 8)\%$, отколкото в контролната, $(26 \pm 7)\%$, извадка. Такава тенденция е предложена от [Simkin et al. \(1980\)](#) и [Hunt & Malkan \(1999\)](#). Корелацията в нашите резултати е по-слабо изявена с сравнение с последните работи, главно защото техните резултати не се базират на съгласувани (особено по T) извадки. Освен това, дялът пръстени в подизвадката от галактики с барове е по-голям от този сред галактиките без бар при 99.9% и 97.6% доверителни нива за Sy и контролната извадка, съответно. Това е очаквано, след като пръстените се асоциират с динамичните резонанси на баровете ([Schwarz 1981](#); [Combes 2008](#)).

7.4 Близка околност и асиметрии на галактиките

Намираме поне един близък спътник за $(44 \pm 9)\%$ от Sy⁴ и $(43 \pm 8)\%$ от контролната извадка. Това са долни граници, като се има предвид изискването за данни за радиалните скорости и подценяването на дяла на спътниците-джуджета, особено на по-далечните галактики. И в двете извадки, напр., има данни за кандидат-спътници (удовлетворяващи изискването за разстояние, но без информация за радиалните скорости) – приливни структури (3C 382, ESO 202–G 001 и ESO 113–G 050) или съседни със съизмерима яркост (Mrk 376 и ESO 324–G 003). Освен това, в Mrk 335 се наблюдава издължена структура, която може да е спътник, видян през диска на галактиката (виж Гл. 6.1). Така, разглеждайки явните случаи на кандидат-спътници, Sy и контролната извадка отново са в равностойно положение. Сравнение с други резултати едва ли е уместно, тъй като няма универсални критерии при дефинирането на физически спътник: изборът на гранични стойности на проектираното разстояние, на разликата в радиалните скорости и на разликата в яркостта между галактиката и спътника ѝ е емпиричен. Освен това, липсата на информация за радиалните скорости обикновено се компенсира от статистически предположения за дяла на проектираните обекти. Повечето изследвания целят относителното разглеждане на околността на Sy и неактивни галактики. Няма консенсус относно частта Sy галактики със спътници – резултатите могат да се групират в три: (1) излишък на Sy галактики със спътници спрямо неактивните галактики, (2) еднакъв относителен дял спътници и (3) ексцес на Sy 2 галактики със спътници спрямо Sy 1 и неактивните галактики (Schmitt 2004, както и библиографията там).

Приливните взаимодействия и сливането с по-малки галактики могат да породят многообразни пертурбации в структурата. Ние, обаче, не намираме корелация между наличието на асиметрии и на спътници и за двете извадки. Едно от обясненията се основава на закъснението между установяване на взаимодействието и оптичното му проявление в родителската галактика (напр. Byrd et al. 1987); това закъснение може допълнително да се усили от бълджа (Hernquist & Mihos 1995). Освен това, слети галактики в напреднал стадий биха изглеждали като изолирана асиметрична галактика. Частта асиметрични галактики е същата в рамките на грешките за Sy, $(51 \pm 8)\%$, и контролната, $(43 \pm 8)\%$, извадка. Подобни резултати са намерени от Virani et al. (2000) и Corbin (2000). В допълнение, дялът асиметрични галактики без спътници е практически еднакъв за двете извадки (между $(20 \pm 7)\%$ и $(26 \pm 8)\%$ в зависимост от това дали кандидат-спътниците се изключват от разглеждане или не). Следователно, сливания с галактики с по-малка маса, поне когато не са съчетани с наличието на спътници, не се срещат по-често в Sy извадката, отколкото в контролната.

⁴NGC 7603 не е взета предвид поради аномалното червено отместване на спътника ѝ.

7.5 Обща дискусия

Оказва се, че $(91 \pm 5)\%$ от *Sy* и $(94 \pm 4)\%$ от неактивните галактики имат барове и/или пръстени, асиметрии, спътници. Така, голямото мнозинство галактики в двете извадки показват морфологични признаци за наличието на осевоасиметрични пертурбации на потенциала и/или имат близки спътници. Всички останали галактики показват някакви признаци на взаимодействие: имат спътник в рамките на около седем галактични диаметъра (Mrk 352, 2MASX J01505708+0014040 и ESO 292– G 022), имат кандидат-спътник без данни за радиалната скорост (Mrk 509) или показват HI признаци за предишно сливане на галактики (Mrk 304; виж Гл. 6). По този начин, непертурбираните галактики – и *Sy*, и неактивните, могат да се окажат свързани с взаимодействието. Вече има приведени примери на фини структури, предполагащи минали сливания, в галактики, класифицирани преди като непертурбирани (Canalizo et al. 2007; Bennert et al. 2008). Дори ако разгледаме само морфологичните индикации за осевоасиметрични пертурбации на потенциала, те са еднакви в рамките на грешките при *Sy*, $(86 \pm 6)\%$, и контролната, $(83 \pm 6)\%$, извадка. Подобни резултати са намерени от Virani et al. (2000).

7.6 Устойчивост на резултатите на базата на различни източници на данните

Всички *Sy* галактики и около половината от контролните имат CCD данни. За останалите са използвани данни от DSS I, II и дигитализирания ESO-Uppsala Survey. Изследваме до каква степен различните източници на данните на *Sy* и контролните галактики могат да внесат систематични грешки в резултатите.

За всички галактики със CCD данни (общо 53), са обработени и съответните данни от DSS и независимо са оценени Хъбл типа и наличието на структури и асиметрии. На фотографските данни детектираме същия процент барове и асиметрии както на CCD данните⁵. От детектираните пръстени на CCD данните не можем да проследим два вътрешни (Mrk 376 и Mrk 541) и един външен (Mrk 506) на съответните фотографските данни. Общо, частта барове, вътрешни пръстени, външни пръстени и асиметрии на CCD/фотографските данни е $(48 \pm 7)\%/(48 \pm 7)\%$, $(36 \pm 7)\%/(32 \pm 6)\%$, $(36 \pm 7)\%/(34 \pm 7)\%$ и $(44 \pm 7)\%/(44 \pm 7)\%$, съответно. Ако използваме тези съображения приблизително да компенсираме за структури, недетектирани поради използването на фотографски данни, очакваният брой вътрешни пръстени нараства с един, а броят външни пръстени остава същият. За контролните галактики тази корекция засяга само дяла вътрешни пръстени и той става $(43 \pm 8)\%$ (срещу $(34 \pm 8)\%$ за *Sy*

⁵ Фотографските изображения са прелели за една галактика, класифицирана с бар (NGC 6814), и за една, класифицирана като асиметрична (Mrk 315), на CCD данните, така че не вземаме предвид тези случаи.

извадка). Това води до максимален⁶ процент пръстени (57 ± 8)% за контролната извадка (срещу (49 ± 8) % за *Su* извадка). Най-голямата степен, в която тази корекция би могла да повлияе крайните резултати, е когато недетектиран вътрешен пръстен е сред галактиките без морфологични признаци за осевоасиметрични пертурбации на потенциала (и спътници). Тогава частта галактики с барове и/или пръстени, асиметрии, спътници става (91 ± 5) % срещу (97 ± 3) % за *Su* срещу контролната извадка. Ако вземем предвид само морфологичните признаци за осевоасиметрични пертурбации на потенциала, те се срещат с еднаква честота, (86 ± 6) %, в двете извадки. Както може да се види, тази корекция не влияе съществено върху крайните резултати, доколкото всички структури, повлияни от нея, се срещат с еднаква честота в рамките на грешките в двете извадки. Честотите на срещане или са еднакви в двете извадки, или са по-големи в контролната извадка. В контекста на нашето изследване, търсещо евентуален ексцес на структури в *Su* извадка, този резултат означава, че интересуващите ни структури не се срещат по-рядко в контролната извадка, отколкото в *Su* извадка.

7.7 Приложение за захранване на Сийфърт ядрата

Следва да обобщим, че барове, пръстени, асиметрии и близки спътници се срещат с подобна честота в *Su* и контролната извадка, разглеждани както индивидуално, така и общо, като *Su* баровете са по-слаби. Така, нашите резултати предполагат, че захранването на *Su* ядрата не е пряко свързано с крупномащабни механизми, действащи върху голяма част от газа. Някои факти, обаче, загатват за връзка между тях.

Първо, общоприето е схващането, че газът, нужен за ядрената активност, е малка част от газа в централните няколко стотин *pc*, особено на спиралните галактики, и основното предизвикателство е намаляването на ъгловия момент (напр. [Jogee 2006](#)). Например, типичната маса на молекулярния газ, докладвана за централните области на повечето *NUGA*⁷ галактики, е $\approx 10^8 M_{\odot}$ (напр. [García-Burillo et al. 2005](#)). Очаква се поне част от този газ да е резултат от секулярната еволюция. В централния *кrc* на галактиките с бар е намерена по-голяма концентрация на молекулярния газ, отколкото при галактиките без бар ([Sakamoto et al. 1999](#); [Sheth et al. 2005](#), виж също [Regan et al. 2006](#)). Според първите автори повече от половината от централния газ на галактиките с бар е пренесен там именно от бара. Газът в ядрените пръстени, най-явните индикатори за скорошен поток на газ към центъра, може да бъде пренесен навътре до влиянието на *SMBH* от вискозни усукващи моменти съгласно сценария на [García-Burillo et al. \(2005\)](#). Освен това, взаимодействията и сливането с галактики също се асоциира с по-високи концентрации на централен газ (напр. [Georgakakis et al. 2000](#); [Smith et al. 2007](#)).

⁶ Допълнителното детектиране на вътрешни пръстени би повлияло на процента пръстени само за галактики, които нямат външни пръстени.

⁷ Проектът *NUclei of GALaxies*.

Второ, като цяло по-слабите барове в Sy, в сравнение с неактивните, галактики се асоциират с по-големи количества студен газ в родителските им галактики в контекста на централна концентрация на масата, която би могла да разруши x_1 орбитите на бара (Shlosman et al. 2000). Оказва се, обаче, че баровете са по-устойчиви, отколкото се смяташе преди, и масата на централната концентрация, нужна да разруши бара, трябва да е много голяма (Shen & Sellwood 2004; Debattista et al. 2006; Marinova & Jogee 2007). От друга страна, основният разрушителен механизъм би могъл да бъде предаването на ъглов момент от потока на газа на бара (напр. Bournaud et al. 2005), особено в присъствието на охлаждане (напр. Debattista et al. 2006). По този начин, по-слабите барове в Sy галактиките могат да са свързани с по-големите количества студен газ в дисковете им (напр. Hunt et al. 1999, виж също Ho et al. 2008) в контекста на пренос на ъглов момент.

Относително ниските темпове на акреция на Sy ядрата предполагат наличието на множество процеси на малки мащаби, способни да пренесат околоядрения газ до самия център (напр. Möllenhoff 2004). Това може да е основната причина за липсата на универсален механизъм на тези мащаби (напр. García-Burillo et al. 2004). Sy активността, обаче, се асоциира с наличието на прах (Simões Lopes et al. 2007) и пертурбирана газова кинематика (Dumas et al. 2007) в околоядрените области. В тази връзка започнахме изследване на околоядрените области на извадка от Sy галактики, ползвайки архивни изображения от HST. Околоядрените структури, открити в Mrk 352 и Mrk 590, са първите резултати от това изследване.

Глава 8

Резултати, заключение и научни приноси

Анализирани са индикациите за наличие на осевоасиметрични пертурбации на потенциала в извадка от 35 Sy галактики и контролна извадка от неактивни галактики на базата на подробна морфологична характеристика.

1. Извършена е подробна морфологична характеристика на извадката Sy галактики в контекста на захранване на ядрата им и на адекватната структурна декомпозиция. Конструирани са контурни карти, BVR_CI_C профили на SB, елиптичността, PA и цветните показатели, както и цветни изображения, различни видове изображения и структурни карти. Анализът на тези данни за всяка галактика поотделно доведе до уточняване на морфологичния тип и до разкриване на нови структури в част от галактиките:
 - разкрити са за пръв път, доколкото ни е известно, бар в Ark 479, овал/леща в Mrk 595, вътрешни пръстени в Ark 120 и Mrk 376 и образувания от евентуален приливен произход в 3C 382 и NGC 7603;
 - дискутирани са структури с противоречива/неясна морфология в Mrk 573, Mrk 376, NGC 3227, NGC 3516, Mrk 279, Mrk 506, 3C 382 и NGC 7469.
2. На Sy извадката е построена контролна извадка, селектирана по T , V_r , M_{abs}^B и ϵ . Сравнени са морфологията и локалното обкръжение на извадките със следните основни резултати:
 - намерени са подобни дялове барове в Sy, $(49 \pm 8)\%$, и контролната, $(46 \pm 8)\%$, извадка;
 - баровете на Sy галактиките са по-слаби от тези на контролните галактики със съответните медианни стойности на депроектираните елиптичности 0.39 и 0.49 при 95% доверително ниво;

- по-слабите барове в Sy галактиките могат да са свързани с докладваните по-големи количества студен газ в дисковете им в контекста на пренос на ъглов момент;
- честотата на срещане на пръстени в Sy и контролната извадка е подобна – $(49 \pm 8)\%$ и $(54 \pm 8)\%$, съответно;
- практически равни части от Sy, $(44 \pm 9)\%$, и контролната, $(43 \pm 8)\%$, извадка имат поне един близък физически спътник;
- няма корелация между наличието на асиметрии и спътници и за двете извадки; сливанията с по-малки галактики, поне когато не са съпътствани от спътници, не се срещат в Sy извадката по-често, отколкото в контролната извадка;
- преобладаващата част от двете извадки, $(91 \pm 5)\%$ от Sy и $(94 \pm 4)\%$ от контролната, имат барове, пръстени, асиметрии или близки спътници;
- подобни части от Sy, $(86 \pm 6)\%$, и контролната $(83 \pm 6)\%$, извадка показват морфологични признаци за осевоасиметрични пертурбации на потенциала;
- захранването на Sy ядрата най-вероятно не е директно свързано с морфологията и локалното обкръжение на родителските им галактики.

В светлината на тези резултати е започнато изследване на околнядрените области на извадка от Sy галактики на базата на архивни изображения от HST. Като първи резултати са разкрити ядрен бар и пръстен в Mrk 352 и ядрени прахови ивици в Mrk 590.

Глава 9

Публикации

9.1 Публикации, на които се основава дисертационният труд

1. "Surface Photometry of Barred AGN Arakelian 564", Petrov, G., Slavcheva, L., Bachev, R., Mihov, B. 1999, Active Galactic Nuclei and Related Phenomena, Proc. of IAU Symposium 194, held 17-21 Aug. 1998, in Yerevan, Armenia, Eds. Y. Terzian, E. Khachikian, and D. Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 84
2. "Multicolour surface photometry of Seyfert galaxies: first results", Slavcheva-Mihova, L. S., Petrov, G. T., Mihov, B. M. 2005, In: Balkan Astronomical Meeting, BAM 2004, 14-18 June 2004, Rozhen, Bulgaria, Aerospace Research in Bulgaria, No. 20, p. 60 (oral presentation)
3. "Adaptive Filter Applications In Surface Photometry Of Galaxies", Slavcheva-Mihova, L. S., Mihov, B. M., Petrov, G. T. 2006, Proc. of the iAstro MC Meeting & Workshop "VIRTUAL OBSERVATORY: Plate Content Digitation, Archive Mining and Image Sequence Processing", held April, 27-30, 2005 in Sofia, Bulgaria, p. 311 (oral presentation)
4. "Optical multiband surface photometry of a sample of Seyfert galaxies. I. Large-scale morphology and local environment analysis of matched Seyfert and inactive galaxy samples", Slavcheva-Mihova, L., Mihov, B. 2011, A&A, 526, A43

9.2 Други публикации

1. "Surface Photometry of Barred Active Galaxies. Wolf-Rayet galaxy NGC 6764", Petrov, G., Slavcheva, L. 1996, *ApInv*, 7, 76
2. "Spectral Analysis of Seyfert 1 Galaxies", Slavcheva, L., Petrov, G., Mihov, B. 1998, *Comptes rendus de l'Academie Bulgare des Sciences*, v. 51, N 1-2, 5
3. "Spectrophotometry of Selected AGN: Seyfert Galaxy Akn 564", Slavcheva, L. S., Mihov, B. M., Petrov, G. T., Bachev, R. S. 1999, *Active Galactic Nuclei and Related Phenomena, Proc. of IAU Symposium 194, held Aug. 17-21 1998, in Yerevan, Armenia*, Eds. Y. Terzian, E. Khachikian, and D. Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 87
4. "Photometric Monitoring of Selected Quasars: The Highly Luminous Quasar HS 1946+7658", Mihov, B. M., Bachev, R. S., Strigachev, A. A., Slavcheva, L. S., Petrov, G. T. 1999, *Active Galactic Nuclei and Related Phenomena, Proc. of IAU Symposium 194, held Aug. 17-21 1998, in Yerevan, Armenia*, Eds. Y. Terzian, E. Khachikian, and D. Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 175
5. "Black Hole Masses and Unification of Seyferts", Bachev, R., Petrov, G. T., Slavcheva, L., Mihov, B. 1999, *Active Galactic Nuclei and Related Phenomena, Proc. of IAU Symposium 194, held Aug. 17-21 1998, in Yerevan, Armenia*, Eds. Y. Terzian, E. Khachikian, and D. Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 311
6. "Search for Optical Variability in Two Seyfert Galaxies", Bachev, R., Slavcheva-Mihova, L. 2000, *Proc. of the Second Serbian-Bulgarian Astronomical Meeting*, Eds. Milan S. Dimitrijević, Luka Č. Popović, and Milcho Tsvetkov. Published by the Astronomical Observatory, Volgina 7, 11000 Belgrade, Yugoslavia, N 67, p.3
7. "CCD Photometry of QSO 0957+561 A & B Using La Palma Archive", Slavcheva-Mihova, L. S., Oknyanskij, V. L., Mihov, B. M. 2001, *Ap&SS*, v. 275, No 4, p. 385
8. "Surface Photometry of NGC 5610 – A Box/Peanut Structure In An Intermediately Inclined Galaxy", Petrov, G. T., Slavcheva-Mihova, L. S., Mihov, B. M. 2005, *Proc. of the Fourth Serbian-Bulgarian Astronomical Meeting, Held in April, 21-24, 2004, in Belgrade, Serbia*, Publications of the Astronomical Society "Rudjer Boskovic Vol. 5, p. 241
9. "Spectral Observations of Seyfert Galaxies with the Spectrograph UAGS at the Rozhen NAO", Mihov, B., Slavcheva-Mihova, L., Petrov, G. 2006, *Proc. of the Second National Conference of the Bulgarian Astronomical Society Devoted to the 25th anniversary of the Rozhen NAO Nov. 11, 2006, Sofia, Bulgaria*, *BulgAJ*, v. 8, p. 49

10. "Multiband optical surface brightness profile decompositions of the Seyfert galaxies Mrk 79 and NGC 5548", Mihov, B., Slavcheva-Mihova, L. 2006, Proc. of the Second National Conference of the Bulgarian Astronomical Society Devoted to the 25th anniversary of the Rozhen NAO November 11, 2006, Sofia, Bulgaria, BulgAJ, v. 8, p. 139
11. "Multicolour Optical Surface Brightness Profiles Decomposition of the Seyfert Galaxies III Zw 2, Mrk 506 and Mrk 509", Slavcheva-Mihova, L., Mihov, B., Petrov, G., Kopchev, V. 2006, Proc. of the 5th Bulgarian-Serbian Conference "Astronomy and Space Science" held May 9-12, 2006, Sofia, Bulgaria, eds. M. K. Tsvetkov, L. G. Filipov, M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, Heron Press Ltd., Sofia 2007, p. 201 (arXiv:astro-ph/0606476)
12. "UBVRI Photometry of the Possible Binary Open Cluster NGC 6755/NGC 6756", Kopchev, V., Petrov, G., Slavcheva-Mihova, L. 2006, Proc. of the 5th Bulgarian-Serbian Conference "Astronomy and Space Science" held May 9-12, 2006, Sofia, Bulgaria, eds. M. K. Tsvetkov, L. G. Filipov, M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, Heron Press Ltd, Sofia 2007, p. 236
13. "Study of Selected Voids. Faint Galaxies in the Direction of the Void 0049+05", Petrov, G, Slavcheva-Mihova, L., Kopchev, V., Mihov, B. 2006, Proc. of the 5th Bulgarian-Serbian Conference "Astronomy and Space Science" held May 9-12, 2006, Sofia, Bulgaria, eds. M. K. Tsvetkov, L. G. Filipov, M. S. Dimitrijević, L. Č. Popović, Heron Press Ltd., Sofia 2007, p. 385
14. „Извънгалактични изследвания в ИА на БАН. Проект Индивидуални Галактики“, Г. Петров, В. Копчев, Л. Славчева-Михова, В. Михов 2008, Списание на Българската Академия на Науките, брой 3, стр. 60
15. "Photometric monitoring of the blazar 3C 345 for the period 1996-2006", Mihov, B., Bachev, R., Slavcheva-Mihova, L., Strigachev, A., Semkov, E., Petrov, G. 2008, AN, 329, 77
16. "Johnson-Cousins magnitudes of comparison stars in the fields of ten Seyfert galaxies", Mihov, B. M., Slavcheva-Mihova, L. S. 2008, AN, 329, 418
17. "Astronomical Virtual Observatory and the Place and Role of Bulgarian One", Petrov, G., Dechev, M., Slavcheva-Mihova, L., Duchlev, P., Mihov, B., Kopchev, V., Bachev, R., Proc. of the VI Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Belgrade 7-11 May 2008, eds. M. S. Dimitrijević, M. Tsvetkov, L. Č. Popović, V. Golev, Publ. Astr. Soc. "Rudjer Boskovic No. 9, 2009, p. 91-111
18. "Relation Between Nuclear Activity, Star Formation, and Bulge Mass in Active Galaxies. I. Emission-Line Properties of Seyfert Galaxies in RBSC-NVSS Sample", Mihov, B., Slavcheva-Mihova, L., Petrov, G., & Dennefeld, M., Proc. of the VI Serbian-Bulgarian Astronomical Conference, Belgrade 7-11 May 2008, eds. M. S.

- Dimitrijević, M. Tsvetkov, L. Č. Popović, V. Golev, Publ. Astr. Soc. "Rudjer Boskovic" No. 9, 2009, p. 335-342
19. "UBVRI observations of the flickering of RS Ophiuchi at quiescence", Zamanov, R. K., Bоеva, S., Bachev, R., Bode, M. F., Dimitrov, D., Stoyanov, K. A., Gomboc, A., Tsvetkova, S. V., Slavcheva-Mihova, L., et al. 2010, MNRAS, 404, 381
 20. "Optical multiband surface photometry of a sample of Seyfert galaxies. III. Global, isophotal, and bar parameters", Slavcheva-Mihova, L., Mihov, B. 2011, AN, 332, No. 2, 191

Библиография

- Abazajian, K., Adelman, J., Agüeros, M., et al. 2003, AJ, 126, 2081
- Abazajian, K., Adelman, J., Agüeros, M., et al. 2004, AJ, 128, 502
- Abazajian, K., Adelman, J., Agüeros, M., et al. 2005, AJ, 129, 1755
- Abazajian, K. N., Adelman-McCarthy, J. K., Agüeros, M. A., et al. 2009, ApJS, 182, 543
- Adams, T. F. 1977, ApJS, 33, 19
- Adelman-McCarthy, J., Agüeros, M. A., Allam, S. S., et al. 2007, ApJS, 172, 634
- Adelman-McCarthy, J., Agüeros, M. A., Allam, S. S., et al. 2008, ApJS, 175, 297
- Afanasiev, V. L., Burenkov, A. N., Shapovalova, A. I., & Vlasyuk, V. V. 1996, in Barred Galaxies, ed. R. Buta, B. G. Elmegreen,
- Afanasiev, V. L., Mikhailov, V. P., & Shapovalova, A. I. 1998, Astron. Astrophys. Trans., 16, 257
- Aguerri, J. A. L., Beckman, J. E., & Prieto, M. 1998, AJ, 116, 2136
- Aguerri, J. A. L., Méndez-Abreu, J., & Corsini, E. M. 2009, A&A, 495, 491
- Aguerri, J. A. L., Muñoz-Tuñón, C., Varela, A. M., Prieto, M. 2000, A&A, 361, 841
- Alonso, M. V., Valotto, C., Lambas, D. G., & Muriel, H. 1999, MNRAS, 308, 618
- Andredakis, Y. C., Peletier, R. F., & Balcells, M. 1995, MNRAS, 275, 874
- Andredakis, Y. C., & Sanders, R. H. 1994, MNRAS, 267, 283
- Antón, S., Thean, A. H. C., Pedlar, A., & Browne, I. W. A. 2002, MNRAS, 336, 319
- Antonucci, R. 1993, ARA&A, 31, 473
- Appleton, P. N., & Struck-Marcell, C. 1996, Fund. Cosmic Phys., 16, 111
- Arp, H. 1971, Astrophys. Lett., 7, 221
- Asif, M. W., Mundell, C. G., Pedlar, A., et al. 1998, A&A, 333, 466

- Athanassoula, E. 1992, MNRAS, 259, 328
- Athanassoula, E. 1992, MNRAS, 259, 345
- Baade, W., & Minkowski, R. 1954, ApJ, 119, 206
- Bachev, R., Strigachev, A., & Dimitrov, V. 2000, A&AS, 147, 175
- Bahcall, J. N., Kirhakos, S., Saxe, D. H., & Schneider, D. P. 1997, ApJ, 479, 642
- Balcells, M., Graham, A. W., Domínguez-Palmero, L., & Peletier, R. F. 2003, ApJ, 582, L79
- Barazza, F. D., Binggeli, B., & Jerjen, H. 2003, A&A, 407, 121
- Barazza, F. D., Binggeli, B., & Prugniel, P. 2001, A&A, 373, 12
- Barazza, F. D., Jogee, S., & Marinova, I. 2008, ApJ, 675, 1194
- Barnes, J. E., & Hernquist, L. 1991, ApJ, 370, L65
- Barth A., Ho L. C., Filippenko, A. V., & Sargent, W. L. 1995, AJ, 110, 1009
- Beijersbergen, M., de Blok, W. J. G., & van der Hulst, J. M. 1999, A&A,
- Bekki, K., & Noguchi, M. 1994, A&A, 290, 7
- Bender, R., & Möllenhoff, C. 1987, A&A, 177, 71
- Bennert, N., Canalizo, G., Jungwiert, B., et al. 2008, ApJ, 677, 846
- Bentz, M. C., Peterson, B. M., Pogge, R. W., Vestergaard, M., & Onken, C. A. 2006, ApJ, 644, 133
- Bergvall, N., & Östlin, G. 2002, A&A, 390, 891
- Binggeli, B., Sandage, A., & Tarenghi, M. 1984, AJ, 89, 64
- Black, A. R. S., Baum, S. A., Leahy, J. P., Perley, R. A., & Scheuer, P. A. G. 1992, MNRAS, 256, 186
- Block, D. L., Buta, R., Knapen, J. H., et al. 2004, AJ, 128, 183
- Bonnarel, F., Fernique, P., Bienaymé, O., et al. 2000, A&AS, 143, 33
- Boris, N. V., Donzelli, C. J., Pastoriza, M. G., Rodriguez-Ardila, A., & Ferreira, D. L. 2002, A&A, 384, 780
- Bosma, A. 1981, AJ, 86, 1825
- Bournaud, F., Combes, F., & Semelin, B. 2005, MNRAS, 364, L18
- Bridžius, A., & Vansevičius, V. 2001, Balt. Astron., 10, 413

- Bushouse, H. A. 1986, *AJ*, 91, 255
- Buta, R., & Combes, F. 1996, *Fund. Cosmic Phys.*, 17, 95
- Buta, R., & Crocker, D. 1993, *AJ*, 105, 1344
- Byrd, G., Sundelius, B., & Valtonen, M. 1987, *A&A*, 171, 16
- Byrd, G. G., Valtonen, M. J., Sundelius, B., & Valtaoja, L. 1986, *A&A*, 166, 75
- Canalizo, G., Bennert, N., Jungwiert, B., et al. 2007, *ApJ*, 669, 801
- Canalizo, G., & Stockton, A. 2001, *ApJ*, 555, 719
- Capaccioli, M., Held, E. V., Lorenz, H., Richter, G. M., & Zeiner, R. 1988, *AN*, 309, 69
- Chevalier, C., & Ilovaisky, S. A. 1991, *A&AS*, 90, 225
- Ciroi, S., Afanasiev, V. L., Moiseev, A. V., et al. 2005, *MNRAS*, 360, 253
- Colless, M., Peterson, B., Jackson, C., et al. 2003, *arXiv:astro-ph/0306581*
- Combes, F. 2001, *Advanced Lectures on the Starburst-AGN Connection*, ed. I. Aretxaga, D. Kunth, & R. Mújica (Singapore: World Scientific), 223
- Combes, F. 2003, *Active Galactic Nuclei: from Central Engine to Host Galaxy*, ed. S. Collin, F. Combes, & I. Shlosman, *ASP Conf. Ser.*, 290, 411
- Combes, F. 2008, *Formation and Evolution of Galaxy Disks*, ed. J. G. Funes, & E. M. Corsini, *ASP Conf. Ser.*, 396, 325
- Combes, F., & Gerin, M. 1985, *A&A* 150, 327
- Combes, F., & Sanders, R. H. 1981, *A&A*, 96, 164
- Condon, J., Hutchings, J., & Gower, A. 1985, *AJ*, 90, 1642
- Conselice, C. J. 2003, *ApJS*, 147, 1
- Conselice, C. J., Bershad, M. A., & Jangren, A. 2000, *ApJ*, 529, 886
- Contopoulos, G., & Grosbøl, P. 1989, *A&A Rev.*, 1, 261
- Corbett, E. A., Robinson, A., Axon, D. J., Young, S., & Hough, J. H. 1998, *MNRAS*, 296, 721
- Corbin, M. R. 2000, *ApJ*, 536, L73
- da Costa, G. S. 1992, *Astronomical CCD observing and reduction techniques*, ed. Steve B. Howell, *Astronomical Society of the Pacific*, 23, 90
- da Costa, L. N., Pellegrini, P. S., Davis, M., et al. 1991, *ApJS*, 75, 935

- da Costa, L. N., Willmer, C. N. A., Pellegrini, P. S., et al. 1998, *AJ*, 116, 1
- Dahari, O. 1985, *ApJS*, 57, 643
- Dahari, O. 1985, *AJ*, 90, 1772
- Dalcanton, J. J., & Bernstein, R. A. 2000, *AJ*, 120, 203
- Davis, M., & Peebles, P. 1983, *ApJ*, 267, 465
- Debattista, V. P., Mayer, L., Carollo, C. M., et al. 2006, *ApJ*, 645, 209
- de Grijp, M. H. K., Lub, J., & Miley, G. K. 1987, *A&AS*, 70, 95
- Deo, R. P., Crenshaw, D. M., & Kraemer, S. B. 2006, *AJ*, 132, 321
- De Propriis, R., Conselice, C. J., Liske, J., et al. 2007, *ApJ*, 666, 212
- De Robertis, M. M., Hayhoe, K., & Yee, H. K. C. 1998, *ApJS*, 115, 163
- De Robertis, M. M., Yee, H. K. C., & Hayhoe, K. 1998, *ApJ*, 496, 93
- de Souza, R. E., Gadotti, D. A., & dos Anjos, S. 2004, *ApJS*, 153, 411
- de Vaucouleurs, G. 1948, *Ann. d'Astrophys.*, 11, 247
- de Vaucouleurs, G. 1958, *ApJ*, 128, 465
- de Vaucouleurs, G., de Vaucouleurs, A., Corwin, H. G., Jr., et al. 1991, *Third Reference Catalogue of Bright Galaxies* (Springer: New York)
- Dopita, M. A., Pereira, M., Kewley, L. J., & Capaccioli, M. 2002, *ApJS*, 143, 47
- Doroshenko, V. T., Sergeev, S. G., Merkulova, N. I., et al. 2005a, *Ap*, 48, 156
- Doroshenko, V. T., Sergeev, S. G., Merkulova, N. I., et al. 2005b, *Ap*, 48, 304
- Dultzin-Hacyan, D., Krongold, Y., Fuentes-Guridi, I., & Marziani, P. 1999, *ApJ*, 513, L111
- Dumas, G., Mundell, C. G., Emsellem, E., & Nagar, N. M. 2007, *MNRAS*, 379, 1249
- Elmegreen, D. M., Elmegreen, B. G., Combes, F., & Bellin, A. D. 1992, *A&A*, 257, 17
- Erwin, P. 2004, *A&A*, 415, 941
- Erwin, P., Graham, A. W., & Caon, N. 2004, *Carnegie Observatories Astrophysics Series, Vol. 1: Coevolution of Black Holes and Galaxies*, ed. L. C. Ho (Pasadena: Carnegie Obs.), 12
- Erwin, P., Pohlen, M., & Beckman, J. E. 2008, *AJ*, 135, 20
- Erwin, P., & Sparke, L. 2002, *AJ*, 124, 65

- Eskridge, P. B., Frogel, J. A., Pogge, R. W., et al. 2000, *AJ*, 119, 536
- Eskridge, P. B., Frogel, J. A., Pogge, R. W., et al. 2002, *ApJS*, 143, 73
- Falco, E. E., Kurtz, M. J., Geller, M. J., et. al 1999, *PASP*, 111, 438
- Fath, E. A. 1908, *Lick Obs. Bull*, 5, 71
- Ferrarese, L., & Merritt, D. 2000, *ApJ*, 539, L9
- Ferruit, P., Wilson, A. S., Falcke, H., et al. 1999, *MNRAS*, 309, 1
- Freeman, K. C. 1996, *ASPC*, 91, 1
- Freeman, K. C. 1970, *ApJ*, 160, 811
- Fricke, K. J., & Kollatschny, W. 1989, *Active Galactic Nuclei*, ed. D. E. Osterbrock, & J. S. Miller, *Proc. of IAU Symp.*, 134, 425
- Fricke, K. J., Kollatschny, W., & Schleicher, H. 1983, *Mitt. Astron. Ges.*, 58, 105
- Friedli, D., & Benz, W. 1993, *A&A*, 268, 65
- Fuentes-Williams, T., & Stocke, J. T. 1988, *AJ*, 93, 1235
- Fukugita, M., Ichikawa, T., Gunn, J. E., et al. 1996, *AJ*, 111, 1748
- Gadotti, D. A. 2008, *MNRAS*, 384, 420
- Gadotti, D. A. 2009, *MNRAS*, 393, 1531
- Gadotti, D. A., & de Souza, R. E. 2006, *ApJS*, 163, 270
- García-Burillo, S., Combes, F., Schinnerer, E., et al. 2004, *The Interplay among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei*, ed. T. Storchi-Bergmann, L. C. Ho, & H. R. Schmitt, *Proc. of IAU Symp.*, 222, 427
- García-Burillo, S., Combes, F., Schinnerer, E., Boone, F., & Hunt, L. K. 2005, *A&A*, 441, 1011
- Gebhardt, K., Bender, R., Bower, G., et al. 2000a, *ApJ*, 539, L13
- Gebhardt, K., Kormendy, J., Ho, L., et al. 2000b, *ApJ*, 543, L5
- Georgakakis, A., Forbes, D. A., & Norris, R. P. 2000, *MNRAS*, 318, 124
- González Delgado, R. M., & Pérez, E. 1993, *Ap&SS*, 205, 127
- González Delgado, R. M., & Pérez, E. 1997, *MNRAS*, 284, 931
- González Delgado, R. M., Pérez, E., Tadhunter, C., Vilchez, J. M., & Rodríguez-Espinosa, J. M. 1997, *ApJS*, 108, 155

- González-Pérez, J. N., Kidger, M. R., & Martín-Luis, F. 2001, *AJ*, 122, 2055
- Graham, A. W., & Guzmán, R. 2003, *AJ*, 125, 2936
- Greene, J. E., Ho, L. C., & Barth, A. J. 2008, *ApJ*, 688, 159
- Greusard, D., Friedli, D., Wozniak, H., Martinet, L., & Martin, P. 2000, *A&AS*, 145, 425
- Gültekin, K., Richstone, D. O., Gebhardt, K., et al. 2009, *ApJ*, 698, 198
- Gunn, J. 1979, *Active Galactic Nuclei*, ed. C. Hazard & S. Mitton (Cambridge University Press, Cambridge), 213
- Gunn, J. E., Carr, M. A., Rockosi, C. M., et al. 1998, *AJ*, 116, 3040
- Gunn, J. E., Siegmund, W. A., Mannery, E. J., et al. 2006, *AJ*, 131, 2332
- Haan, S., Schinnerer, E., Emsellem, E., Garc'ia-Burillo, S., Combes, F., Mundell, C. G., & Rix, H.-W. 2009, *ApJ*, 692, 1623
- Hao, L., Jogee, S., Barazza, F. D., Marinova, I., & Shen, J. 2009, *Galaxy Evolution: Emerging Insights and Future Challenges*, ed. S. Jogee, I. Marinova, L. Hao, & G. A. Blancin, *ASP Conf. Ser.*, 419, 402
- Harris, W. E., Fitzgerald, M. P., & Reed, B. C. 1981, *PASP*, 93, 507
- Hasan, H., & Norman, C. 1999, *ApJ*, 361, 69
- Heckman, T. M. 1990, in *IAU Colloq. 124, Paired and Interacting Galaxies*, 3098, eds. J. W. Sulentic, W. C. Keel, & C. M. Telesco, 359
- Heckman, T. M., & Balick, B. 1981, *ApJ*, 247, 32
- Heckman, T. M., Balick, B., & Sullivan, W. T., III 1978, *ApJ*, 224, 745
- Heckman, T., Bothun, G., Balick, B., & Smith, E. 1984, *AJ*, 89, 958
- Heckman, T. M., Sancisi, R., Balick, B., & Sullivan, W. T., III 1982, *MNRAS*, 199, 425
- Hernquist, L. 1989, *Nature*, 340, 687
- Hernquist, L., & Mihos, J. C. 1995, *ApJ*, 448, 41
- Hernquist, L., & Quinn, P. J. 1989, *ApJ*, 342, 1
- Hewitt, A., & Burbidge, G. 1991, *ApJS*, 75, 297
- Hickson, P., Mendes de Oliveira, C., Huchra, J. P., & Palumbo, G. G. 1992, *ApJ*, 399, 353
- Hjorth, J., Vestergaard, M., Sørensen, A. N., & Grundahl, F. 1995, *ApJ*, 252, 17
- Ho, L. C. 1999, *Observational Evidence for Black Holes in the Universe*, ed. S. K. Chakrabarti (Dordrecht: Kluwer), 234, 157

- Ho, L. C., Darling, J., & Greene, J. E. 2008, *ApJ*, 681, 128
- Ho, L. C., Filippenko, A. V., & Sargent, W. 1997, *ApJ*, 487, 591
- Hogg, D. E., Roberts, M. S., Schulman, E., & Knezek, P. M. 1998, *AJ*, 115, 502
- Hubble, E. P. 1926, *ApJ*, 64, 321
- Huchra, J., Davis, M., Latham, D., & Tonry, J. 1983, *ApJS*, 52, 89
- Huchra, J. P., Geller, M. J., Clemens, C. M., Tokarz, S. P., & Michel, A. 1995, Harvard Smithsonian Center for Astrophysics (the CfA redshift catalogue)
- Huchra, J. P., Vogeley, M. S., & Geller, M. J. 1999, *ApJS*, 121, 287
- Hughes, D. H., Robson, E. I., Dunlop, J. S., & Gear, W. K. 1993, *MNRAS*, 263, 607
- Hunt, L. K., & Malkan, M. A. 1999, 516, 660
- Hunt, L. K., Malkan, M. A., Moriondo, G., & Salvati, M. 1999, *ApJ*, 510, 637
- Hutchings, J. B. 1983, *PASP*, 95, 799
- Hutchings, J. B., Holtzman, J., Sparks, W. B., et al. 1994, *ApJ*, 429, L1
- Hutchings, J. B., & Neff, S. G. 1992, *AJ*, 104, 1
- Ishizuki S., Kawabe R., Ishiguro M. et al. 1990, *Nature*, 344, 224
- Jedrzejewski, R. I. 1987, *MNRAS*, 226, 747
- Jockers, K., Credner, T., Bonev, T., et al. 2000, *Kinematika i Fizika Nebesnykh Tel Suppl.*, 3, 13
- Jogee, S. 2006, *Physics of Active Galactic Nuclei at all Scales*, eds. D. Alloin, R. Johnson, P. Lira, *LNP*, 693, 143
- Jones, D. H., Read, M. A., Saunders, W., et al. 2009, *MNRAS*, 399, 683
- Jones, H., Saunders, W., Colless, M., et al. 2005, *Nearby Large-Scale Structures and the Zone of Avoidance*, ed. K. P. Fairall, & P. A. Woudt, *ASP Conf. Ser.*, 329, 11
- Kaldare, R., Colless, M., Raychaudhury, S., & Peterson, B. A. 2003, *MNRAS*, 339, 652
- Kalnajs, A. J. 1973, *Proc. Astron. Soc. Australia*, 2, 174
- Kaneko, N., Aoki, K., Kosugi, G., et al. 1997, *AJ*, 114, 94
- Katgert, P., Mazure, A., den Hartog, et al. 1998, *A&AS*, 129, 399
- Keel, W. C. 1996a, *AJ*, 111, 696
- Keel, W. C. 1996b, *ApJS*, 106, 27

- Keel, W. C., Kennicutt, R. C., Jr., Hummel, E., & van der Hulst, J. M. 1985, *AJ*, 90, 708
- Kent, S. M., Dame, T. M., & Fazio, G. 1991, *ApJ*, 378, 131
- Khachikian, E. E., & Weedman, D. W. 1971, *Astrofizika*, 7, 389
- Kim, M., Ho, L. C., Peng, C. Y., et al. 2008, *ApJ*, 687, 767.
- King, I. R. 1971, *PASP*, 83, 199
- Kirhakos, S. D., & Steiner, J. E. 1990, *AJ*, 99, 1722
- Knapen, J. H., Pérez-Ramírez, D., & Laine, S. 2002, *MNRAS*, 337, 808
- Knapen, J. H., Shlosman, I., & Peletier, R. F. 2000, *ApJ*, 529, 93
- Knapen, J. H., Stedman, S., Bramich, D. M., Folkes, S. L., & Bradley, T. R. 2004, *A&A*, 426, 1135
- Koribalski, B. S., Staveley-Smith, L., Kilborn, V. A., et al. 2004, *AJ*, 128, 16
- Kormendy, J., Cornell, M., Block, D., Knapen, J., & Allard, E. 2006, *ApJ*, 642, 765
- Kormendy, J., & Gebhardt, K. 2001, *Relativistic Astrophysics: 20th Texas Symp.*, ed. J. C. Wheeler & H. Martel, *AIP Conf. Proc.*, 586, 363
- Kormendy, J., & Kennicutt, R. C., Jr. 2004, *ARA&A*, 42, 603
- Kormendy, J., & Richstone, D. 1995, *ARA&A*, 33, 581
- Koulouridis, E., Plionis, M., Chavushyan, V., et al. 2006, *ApJ*, 639, 37
- Krist, J. 1995, *Astronomical Data Analysis Software and Systems IV*, ed. R. A. Shaw, H. E. Payne, & J. J. E. Hayes, *ASP Conf. Ser.*, 77, 349
- Kukula, M., Pedlar, A., Baum, S., & O'Dea, C. 1995, *MNRAS*, 276, 1262
- Kuo, C.-Y., Lim, J., Tang, Y.-W., & Ho, P. 2008, *ApJ*, 679, 1047
- Laine, S., Shlosman, I., Knapen, J. H., & Peletier, R. F. 2002, *ApJ*, 567, 97
- Laor, A. 1998, *ApJ*, 505, L83
- Larson, R. B., & Tinsley, B. M. 1978, *ApJ*, 219, 46
- Lauberts, A., & Valentijn, E. A. 1989, *The surface photometry catalogue of the ESO-Uppsala galaxies*, Garching: ESO
- Lauer, T. 1985, *MNRAS*, 216, 429
- Laurikainen, E., & Salo, H. 1995, *A&A*, 293, 683
- Laurikainen, E., Salo, H., & Buta, R. 2004a, *ApJ*, 607, 103

- Laurikainen, E., Salo, H., & Buta, R. 2005, MNRAS, 362, 1319
- Laurikainen, E., Salo, H., Buta, R., et al. 2006, AJ, 132, 2634
- Laurikainen, E., Salo, H., Buta, R., & Knapen, J. H. 2007, MNRAS, 381, 401
- Laurikainen, E., Salo, H., Buta, R., & Knapen, J. H. 2009, ApJ, 692, L34
- Laurikainen, E., Salo, H., Buta, R., & Vasylyev, S. 2004b, MNRAS, 355, 1251
- Laurikainen, E., Salo, H., & Rautiainen, P. 2002, MNRAS, 331, 880
- Lim, J., & Ho, P. T. P. 1999, ApJ, 510, L7
- Lim, J., & Ho, P. T. P. 2002, *The Universe at Low Radio Frequencies*, ed. A. Pramesh Rao, G. Swarup, & Gopal-Krishna, Proc. of IAU Symp., 199, 122
- Lipovetsky, V. A., Neizvestny, S. I., & Neizvestnaya, O. M. 1988, *Soobshcheniya Spetsial'noj Astrofizicheskoy Observatorii*, 55, 5
- López-Corredoira, M., & Gutiérrez, C. M. 2002, A&A, 390, 15
- López-Corredoira, M., & Gutiérrez, C. M. 2004, A&A, 421, 407
- Lorenz, H., Richter, G. M., Capaccioli, M., & Longo, G. 1993, A&A, 277, 321
- Lucey, J. R., Dickens, R. J., Mitchell, R. J., & Dawe, J. A. 1983, MNRAS, 203, 545
- Lupton, R. H., Gunn, J. E., Ivezić, Z., et al. 2001, *Astronomical Data Analysis Software and Systems X*, ed. F. R. Harnden, Jr., F. A. Primini, & H. E. Payne, ASP Conf. Ser., 238, 269
- Lynden-Bell, D., Kalnajs, A. J. 1972, MNRAS, 157, 1
- Maciejewski, W., Teuben, P., Sparke, L., & Stone, J. 2002, MNRAS, 329, 502
- MacKenty, J. W. 1989, ApJ, 343, 125
- MacKenty, J. W. 1990, ApJS, 72, 231
- MacKenty, J. W., Simkin, S. M., Griffiths, R. E., Ulvestad, J. S., & Wilson, A. S. 1994, ApJ, 435, 71
- Majewski, S. R., Kron, R. G., Koo, D. C., & Bershad, M. A. 1994, PASP, 106, 1258
- Malkan, M. A., Gorjian, V., & Tam R. 1998, ApJS, 117, 25
- Marconi, A., & Hunt, L. K. 2003, ApJ, 589, L21
- Marinova, I., & Joglee, S. 2007, ApJ, 659, 1176
- Markov, H., Valtchev, T., Borissova, J., & Golev, V. 1997, A&AS, 122, 193

- Márquez, I., Durret, F., & Masegosa, J. 2000, *A&A*, 360, 431
- Márquez, I., & Moles, M. 1994, *AJ*, 108, 90
- Martel, A. 1998, *ApJ*, 508, 657
- Martin, P. 1995, *AJ*, 109, 2428
- Martinet, L., & Friedli, D. 1997, *A&A*, 323, 363
- Martini, P. 2004, *The Interplay among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei*, ed. T. Storchi-Bergmann, L. C. Ho, & H. R. Schmitt, *Proc. of IAU Symp.*, 222, 235
- Martini, P. & Pogge, R. W. 1999, *AJ*, 118, 264
- Martini, P., Pogge, R. W., Ravindranath, S., & An, J. H. 2001, *ApJ*, 562, 139
- Martini, P., Regan, M. W., Mulchaey, J. S., & Pogge, R. W. 2003a, *ApJS*, 146, 353
- Martini, P., Regan, M. W., Mulchaey, J. S., & Pogge, R. W. 2003b, *ApJ*, 589, 774
- Marzke, R. O., Geller, M. J., da Costa, L. N., & Huchra, J. P. 1995, *AJ*, 110, 477
- McLure, R. J., Kukula, M. J., Dunlop, et al. 1999, *MNRAS*, 308, 377
- Mediavilla, E., & Arribas, S. 1993, *Nature*, 365, 420
- Menéndez-Delmestre, K., Sheth, K., Schinnerer, E., Jarrett, T. H., & Scoville, N. Z. 2007, *ApJ*, 657, 790
- Meyer, M. J., Zwaan, M. A., Webster, R. L., et al. 2004, *MNRAS*, 350, 1195
- Mighell, K. J. 1999, *Precision CCD Photometry*, *ASP Conf. Ser.* Ed. Eric R. Craine, David L. Crawford, & Roy A. Tucker, 189, 50
- Mihos, J. C., & Hernquist, L. 1996, *ApJ*, 464, 641
- Mihos, J. C., Walker, I. R., Hernquist, L., Mendes de Oliveira, C., & Bolte, M. 1995, *ApJ*, 447, L87
- Mihov, B. M., & Slavcheva-Mihova, L. S. 2008, *AN*, 329, 418
- Mihov, B. M., & Slavcheva-Mihova, L. S. 2011, *A&A*, in prep.
- Milvang-Jensen, B., & Jørgensen, I. 1999, *Balt. Astron.*, 8, 535
- Miyaji, T., Wilson, A., Perez-Fournon, I. 1992, *ApJ*, 385, 137
- Moffat, A. F. J. 1969, *A&A*, 3, 455
- Moles, M., Márquez, I., & Pérez, E. 1995, *ApJ*, 438, 604
- Möllenhoff, C. 2004, *A&A*, 415, 63

- Mulchaey, J., & Regan, M. 1997, *ApJ*, 482, L135
- Mulchaey, J. S., Regan, M. W., & Kundu, A. 1997, *ApJS*, 110, 299
- Mulchaey, J. S., Wilson, A. S., & Tsvetanov, Z. 1996, *ApJS*, 102, 309
- Mundell, C. 2002, *Disks of Galaxies: Kinematics, Dynamics and Perturbations*, ed. E. Athanassoula, A. Bosma, & R. Mujica, *ASP Conf. Ser.*, 275, 267
- Mundell, C., James, P., Loiseau, N., Schinnerer, E., & Forbes, D. 2004, *ApJ*, 614, 648
- Mundell, C., Pedlar, A., Axon, D., Meaburn, J., & Unger, S. 1995, *MNRAS*, 277, 641
- Mundell, C., Pedlar, A., Shone, D., & Robinson, A. 1999, *MNRAS*, 304, 481
- Naab, T., & Burkert, A. 2001, *ASP Conf. Ser. 230: Galaxy Disks and Disk Galaxies*, 451
- Nagar, N. M., & Wilson, A. S. 1999, *ApJ*, 516, 97
- Naim, A., Ratnatunga, K. U., & Griffiths, R. E. 1997, *ApJ*, 476, 510
- Neff, S., Hutchings, J., Standord, S., & Unger, S. 1990, *AJ*, 99, 1088
- Newberry, M. V. 1996, *CCD Astron.*, 3a, 18
- Noguchi, M. 1988, *A&A*, 203, 259
- Nonino, M., Henry, J. P., Fanti, C., Fanti, R., & Davies, J. 1998, *MNRAS*, 299, 332
- Nordgren, T. E., Helou, G., Chengalur, J. N., Terzian, Y., & Khachikian, E. 1995, *ApJS*, 99, 461
- Norman, C. A., Sellwood, J. A., & Hasan, H. 1996, *ApJ*, 462, 114
- Odehahn, S. C., Bryja, C., & Humphreys, R. M. 1992, *PASP*, 104, 553
- Osterbrock, D. E. 1981, *ApJ*, 249, 462
- Parodi, B. R., Barazza, F. D., & Binggeli, B. 2002, *A&A*, 388, 29
- Paturel, G., Petit, C., Prugniel, P., et al. 2003, *A&A*, 412, 45
- Pedlar, A., Howley, P., Axon, D., & Unger, S. W. 1992, *MNRAS*, 259, 369
- Peng, C. Y., Ho, L. C., Impey, C. D., & Rix, H.-W. 2010, *AJ*, 139, 2097
- Penston, M. V., & Penston, M. J. 1973, *MNRAS*, 162, 109
- Pérez, E., González Delgado, R., Tadhunter, C., & Tsvetanov, Z. 1989, *MNRAS*, 241, 31
- Peterson, B. M., Ferrarese, L., Gilbert, K. M., et al. 2004, *ApJ*, 613, 682
- Petrosian, A. R. 1982, *Sov. Astron. Lett.*, 8, 75

- Petrov, G., Seggewiss, W., Dieball, A., & Kovachev, B. 2001, *A&A*, 376, 745
- Petrov, G., Slavcheva, L., Bachev, R., & Mihov, B. 1999, *Active Galactic Nuclei and Related Phenomena*, Proceedings of IAU Symposium 194, held 17-21 Aug. 1998, in Yerevan, Armenia, Eds. Y. Terzian, E. Khachikian, and D. Weedman, San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, p. 84
- Phinney E. S. 1994, in "Mass-transfer induced activity in galaxies" ed. I. Shlosman, Cambridge Univ. Press, p. 1
- Pogge, R. W., & De Robertis, M. M. 1995, *ApJ*, 451, 585
- Pogge, R. W., & Eskridge, P. B. 1993, *AJ*, 106, 1405
- Pogge, R. W., & Martini, P. 2002, *ApJ*, 569, 624
- Pritchett, C., & Kline, M. I. 1981, *AJ*, 86, 1859
- Rafanelli, P., Marziani, P., Birkle, K., & Thiele, U. 1993, *A&A*, 275, 451
- Rafanelli, P., Violato, M., & Baruffolo, A. 1995, *AJ*, 109, 1546
- Rauscher, B. J. 1995, *AJ*, 109, 1608
- Rees, M. J. 1978, *Physica Scripta*, 17, 193
- Regan, M., & Mulchaey, J. 1999, *AJ*, 117, 2676
- Regan, M. W., Thornley, M. D., Vogel, S. N., et al. 2006, *ApJ*, 652, 1112
- Richter, G. M. 1978, *AN*, 299, 283
- Richter, G. M., Lorenz, H., Bohm, P., & Priebe, A. 1991, *AN*, 312, 345
- Roche, N., & Eales, S. A. 2000, *MNRAS*, 317, 120
- Rose, J. A., Gaba, A. E., Christiansen, W. A., et al. 2002, *AJ*, 123, 1216
- Rubin V. C., Kenney J. D. P., & Young J. S. 1997, *AJ*, 113, 1250
- Sakamoto, K., Okumura, S. K., Ishizuki, S., & Scoville, N. Z. 1999, *ApJ*, 525, 691
- Sandage, A. 1961, *The Hubble Atlas Of Galaxies*
- Sandage, A., & Bedke, J. 1994, *The Carnegie Atlas Of Galaxies*
- Scharwächter, J., Eckart, A., Pfalzner, S., et al. 2003, *A&A*, 405, 959
- Scharwächter, J., Eckart, A., Pfalzner, S., et al. 2007, *A&A*, 469, 913
- Schlegel, D. J., Finkbeiner, D. P., & Davis, M. 1998, *ApJ*, 500, 525
- Shlosman, I., Peletier, R. F., & Knapen, J. H. 2000, *ApJ*, 535, L83

- Schmidt, M. 1963, *Nat*, 197, 1040
- Schmitt, H. R. 2001, *AJ*, 122, 2243
- Schmitt, H. R. 2004, *The Interplay among Black Holes, Stars and ISM in Galactic Nuclei*, ed. Th. S. Bergmann, L. C. Ho, & H. R. Schmitt, *Proc. of IAU Symp.*, 222, 395
- Schmidt, M., & Green, R. F. 1983, *ApJ*, 269, 352
- Schwarz, M. P. 1981 *ApJ*, 247, 77
- Schweizer, F., & Seitzer, P. 1988, *ApJ*, 328, 88
- Scott, J., Kriss, G., Lee, J., et al. 2004, *ApJS*, 152, 1
- Sellwood, J. A., & Wilkinson, A. 1993, *Rep. Prog. Phys.*, 56, 173
- Sérsic, J. L. 1968, *Atlas de Galaxias Australes (Observatorio Astronómico de Córdoba, Argentina)*
- Seyfert, C. K. 1943, *ApJ*, 97, 28
- Shen, J., & Sellwood, J. A. 2004, *ApJ*, 604, 614
- Sheth, K., Regan, M. W., Scoville, N. Z., & Strubbe, L. E. 2003, *ApJL*, 592, L13
- Sheth, K., Vogel, S. N., Regan, M. W., Thornley, M. D., & Teuben, P. J. 2005, *ApJ*, 632, 217
- Shlosman, I. 1990, in *IAU Colloq. 124, Paired and Interacting Galaxies*, 3098, eds. J. W. Sulentic, W. C. Keel, & C. M. Telesco, p. 689
- Shlosman, I., Frank, J., & Begelman, M. 1989, *Nature*, 338, 45
- Simien, F., & de Vaucouleurs, G. 1986, *ApJ*, 302, 564
- Simkin, S. M. 1975, *ApJ*, 200, 567
- Simkin, S. M., & MacKenty, J. W. 2001, *Gas and Galaxy Evolution*, ed. J. E. Hibbard, M. Rupen, & J. H. van Gorkom, *ASP Conf. Ser.*, 240, 408
- Simkin, S. M., Su, H. J., & Schwarz, M. P. 1980, *ApJ*, 237, 404
- Simões Lopes, R. D., Storchi-Bergmann, T., de Fátima, S. M., & Martini, P. 2007, *ApJ*, 655, 718
- Simpson, C., Forbes, D., Baker, A., & Ward, M. 1996, *MNRAS*, 283, 777
- Singh, K., & Westergaard, N. 1992, *A&A*, 264, 489
- Slavcheva-Mihova, L., & Mihov, B., 2011a, *A&A*, 526, A43
- Slavcheva-Mihova, L., & Mihov, B., 2011b, *AN*, 332, No. 2, 191

- Slavcheva-Mihova, L. S., Mihov, B. M., & Petrov, G. T. 2006, Virtual Observatory: Plate Content Digitization, Archive Mining and Image Sequence Processing, iAstro Workshop Proc., 311
- Slavcheva-Mihova, L. S., Petrov, G. T., & Mihov, B. M. 2005, In: Balkan Astronomical Meeting, BAM 2004, 14-18 June 2004, Rozhen, Bulgaria, Aerospace Research in Bulgaria, No. 20, p. 60
- Smith, E. P., & Heckman, T. M. 1989, ApJS, 69, 365
- Smith, B. J., Struck, C., Hancock, M., et al. 2007, AJ, 133, 791
- Sofue, Y. 1993, PASP, 105, 308
- Sofue, Y., Yoshida, S., Aoki, T., et al. 1994, PASJ, 46, 1
- Sol Alonso, M., Lambas, D. G., Tissera, P., & Coldwell, G. 2006, MNRAS, 367, 1029
- Soubeyran, A., Wlérick, G., Bijaoui, et al. 1989, A&A, 222, 27
- Spergel, D. N., Bean, R., Doré, O., et al. 2007, ApJS, 170, 377
- Stetson, P. B. 1987, PASP, 99, 191
- Stetson, P. B. 1990, PASP, 102, 932
- Stetson, P. B. 1991, User's Manual for DAOPHOT II
- Stetson, P. B., & Harris, W. E. 1988, AJ, 96, 909
- Stockton, A. 1982, ApJ, 257, 33
- Stoughton, C., Lupton, R. H., Bernardi, M., et al. 2002, AJ, 123, 485
- Strauss, M. A., & Huchra, J. 1988, AJ, 95, 1602
- Strauss, M. A., Huchra, J. P., Davis, M., et al. 1992, ApJS, 83, 29
- Strom, R. G., Willis, A. G., & Wilson, A. S. 1978, A&A, 68, 367
- Su, H. J., & Simkin, S. M. 1980, ApJ, 238, L1
- Surace, J. A., & Sanders, D. B. 2000, AJ, 120, 604
- Surace, J. A., Sanders, D. B., & Evans, A. S. 2001, AJ, 122, 2791
- Tamm, A., & Tenjes, P. 2001, Balt. Astron., 10, 599
- Taniguchi, Y. 1999, ApJ, 524, 65
- Terlevich, R., Melnick, J., & Moles, M. 1987, Observational Evidence of Activity in Galaxies, ed. E. E. Khachikian, K. J. Fricke, & J. Melnick, Proc. of IAU Symp., 121, 499

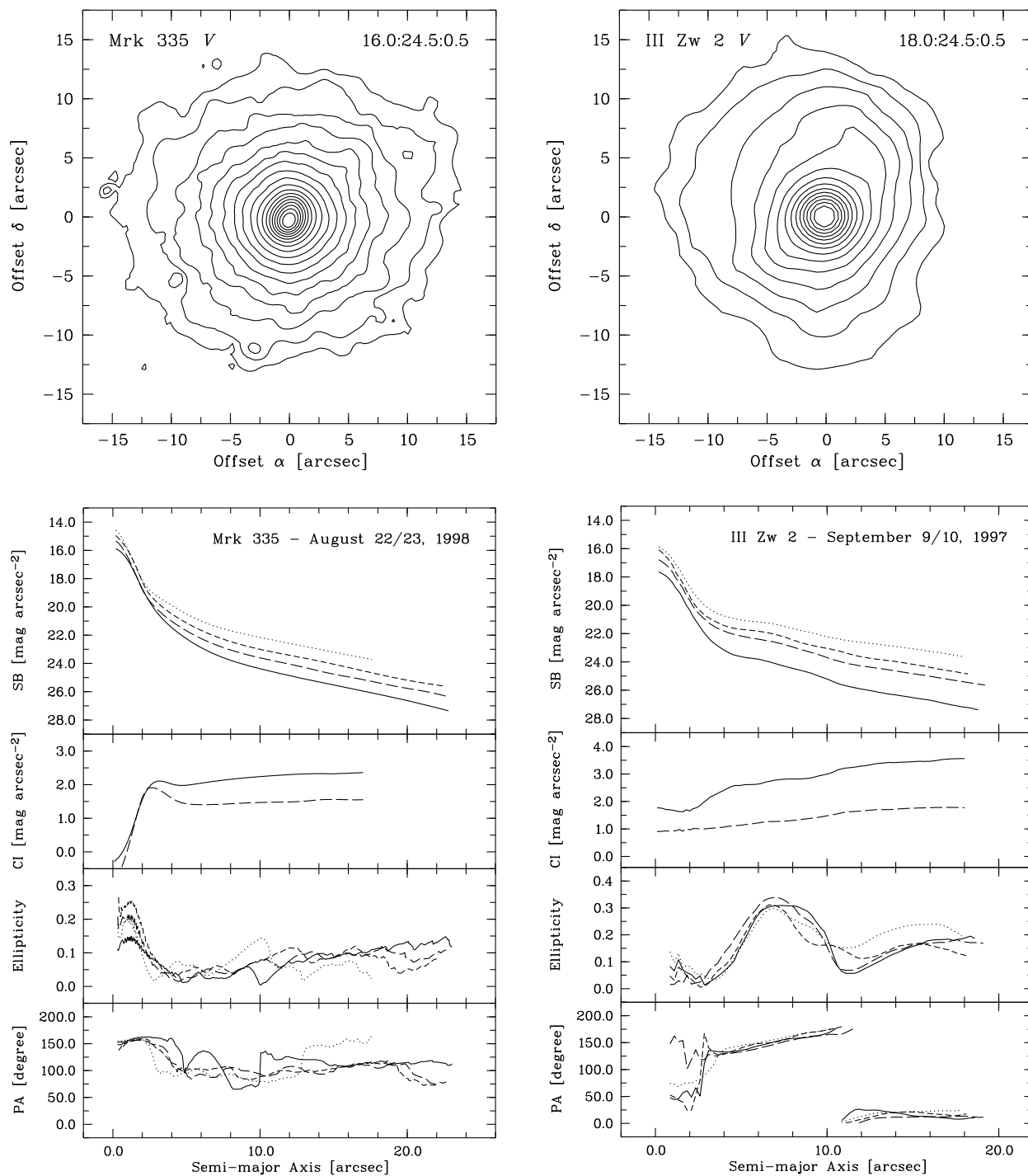
- Theureau, G., Hanski, M. O., Coudreau, N., Hallet, N., & Martin, J.-M. 2007, *A&A*, 465, 71
- Toomre, A., & Toomre, J. 1972, *ApJ*, 178, 623
- Trujillo, I., Aguerri, J. A. L., Cepa, J., & Gutiérrez, C. M. 2001, *MNRAS*, 328, 977
- Tyson, J., Fischer, P., Guhathakurta, P., et al. 1998, *AJ*, 116, 102
- Ulrich, M.-H. 2000, *A&AR*, 10, 135
- Ulvestad, J. S., & Wilson, A. S. 1984, *ApJ*, 278, 544
- Veilleux, S., Kim, D.-C., Peng, C. Y., & Ho, L. C. 2006, *ApJ*, 643, 707
- Veilleux, S., Kim, D.-C., & Sanders, D. B. 2001, *QSO Hosts and Their Environments*, 165
- Vennik, J., Hopp, U., Kovachev, B., Kuhn, B., & Elsaesser, H. 1996, *A&AS*, 117, 261
- Vennik, J., Hopp, U., & Popescu, C. C. 2000, *A&AS*, 142, 399
- Véron-Cetty, M.-P. & Véron, P. 1998, *ESO Scientific Report Series*, Vol. 18, *A Catalogue of quasars and active nuclei*, 8th ed. (Garching: ESO)
- Vila-Vilaró, B., Robinson, A., Pérez, E., et al. 1995, *A&A*, 302, 58
- Virani, S. N., De Robertis, M. M., & VanDalsen, M. L. 2000, *AJ*, 120, 1739
- Wada, K. 2004, *Carnegie Observatories Astrophysics Series*, Vol. 1: *Coevolution of Black Holes and Galaxies*, ed. L. C. Ho (Cambridge: Cambridge Univ. Press), 186
- Walker, R. C., Benson, J. M., & Unwin, S. C. 1987, *ApJ*, 316, 546
- Walker, I. R., Mihos, J. C., & Hernquist, L. 1996, *ApJ*, 460, 121
- Wandel, A. 2002, *ApJ*, 565, 762
- Weedman, D. 1976, *ApJ*, 208, 30
- Wehinger, P., & Wyckoff, S. 1977, *MNRAS*, 181, 211
- Weinzirl, T., Jogee, S., Khochfar, S., Burkert, A., & Kormendy, J. 2009, *ApJ*, 696, 411
- Wilson, A. S., Helfer, T. T., Haniff, C. A., & Ward, M. J. 1991, *ApJ*, 381, 79
- Wozniak, H., Friedli, D., Martinet, L., Martin, P., & Bratschi, P. 1995, *A&AS*, 111, 115
- Wozniak, H., & Pierce, M. J. 1991, *A&AS*, 88, 325
- Xilouris, E. M., & Papadakis, I. E. 2002, *A&A*, 387, 441
- York, D. G., Adelman, J., Anderson, J. E., et al. 2000, *AJ*, 120, 1579
- Zaritsky, D., Smith, R., Frenk, C., & White, S. D. M. 1997, *ApJ*, 478, 39
- Zheng, Z., Wu, H., Mao, S., et al. 1999, *A&A*, 349, 735

Контурни карти и профили на Сийфърт галактиките

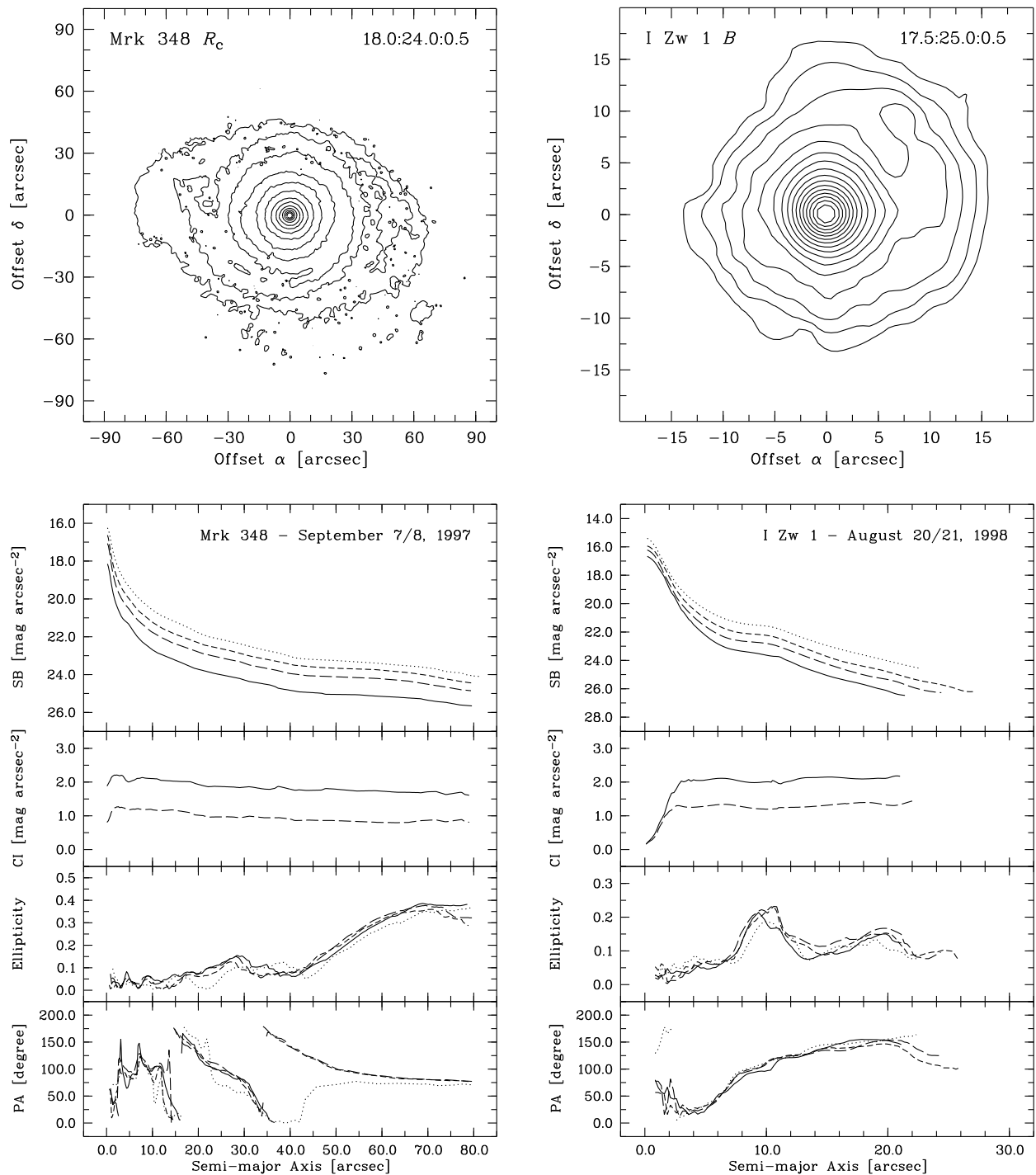
На Фиг. 1 представяме калибрирани контурните карти и профили на SB, цветните показатели CI, ϵ , и PA на извадката от Su галактики, подредени по ректасцензия.

Горни панели: контурни карти. Север е нагоре, а изток наляво. Имената на галактиките и филтрите са указани в горния ляв ъгъл; числата в горния десен ъгъл обозначават началната SB, крайната SB и стъпката (фиксирана на 0.5) в mag arcsec^{-2} .

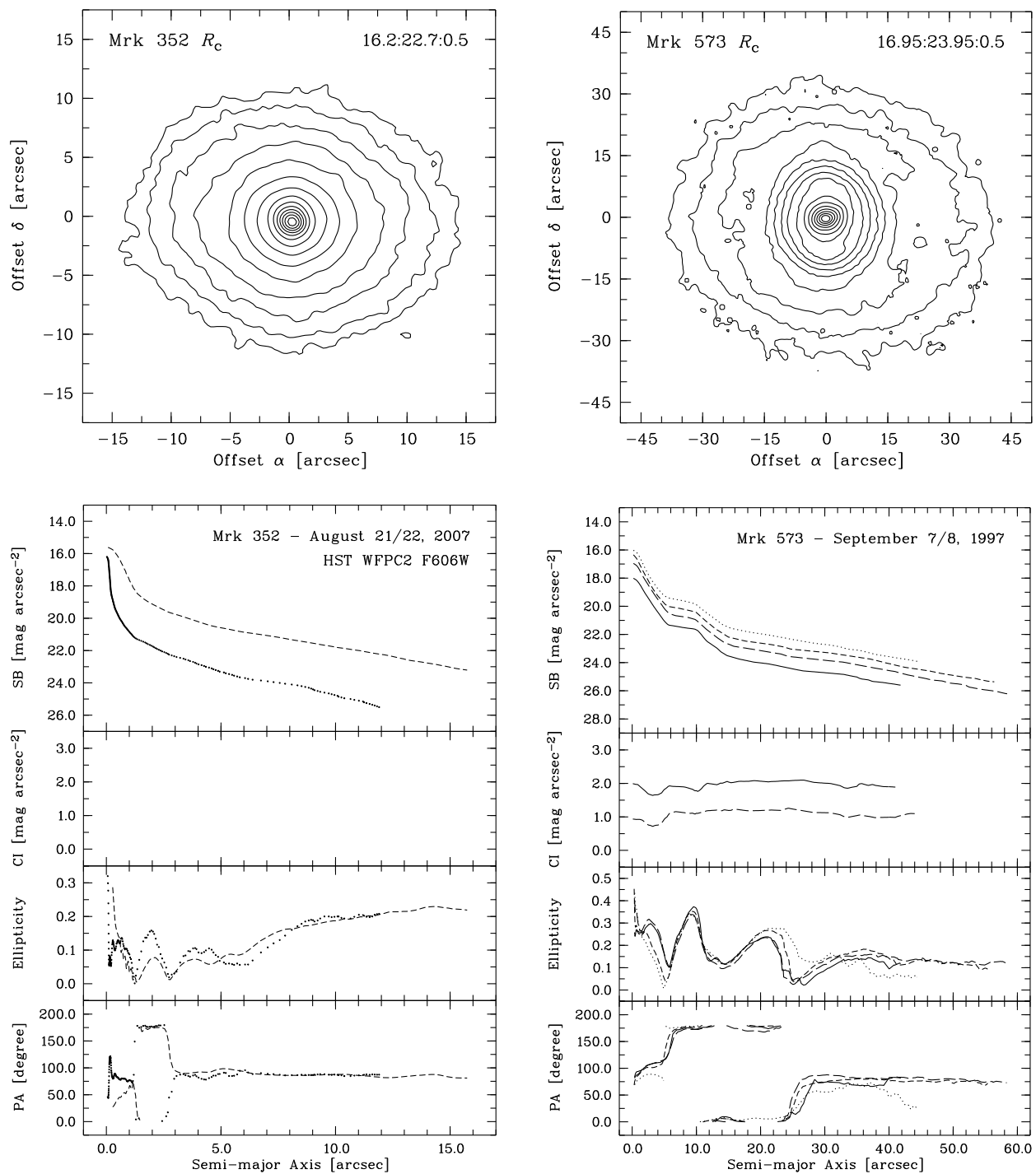
Долни панели: профили на SB, CI, ϵ и PA. Показаните цветни профили са: $B-I_C$ (непрекъснатата) и $V-I_C$ (прекъснатата); за Ark 120 е даден $B-R_C$ (прекъснатата с пунктир). За останалите профили непрекъснатата линия, линията с дълги тирета, линията с къси тирета и пунктираната линия съответстват на B -, V -, R_C - и I_C . За Mrk 352, Mrk 771 и Mrk 279 са дадени и профилите от HST (квадратчета, некалибрирани).



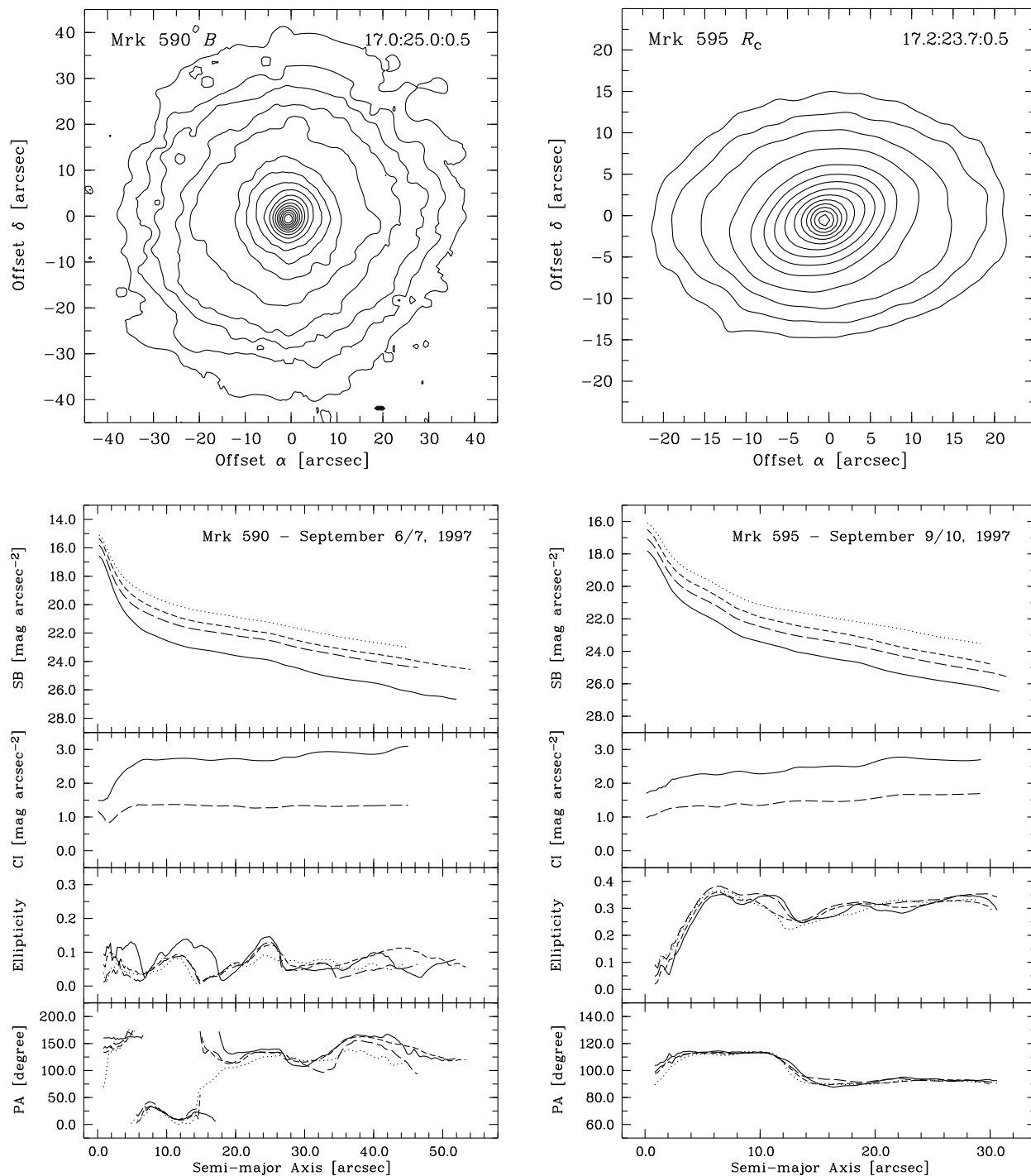
Фигура 1: Контурни карти и профили на извадката от Sy галактики.



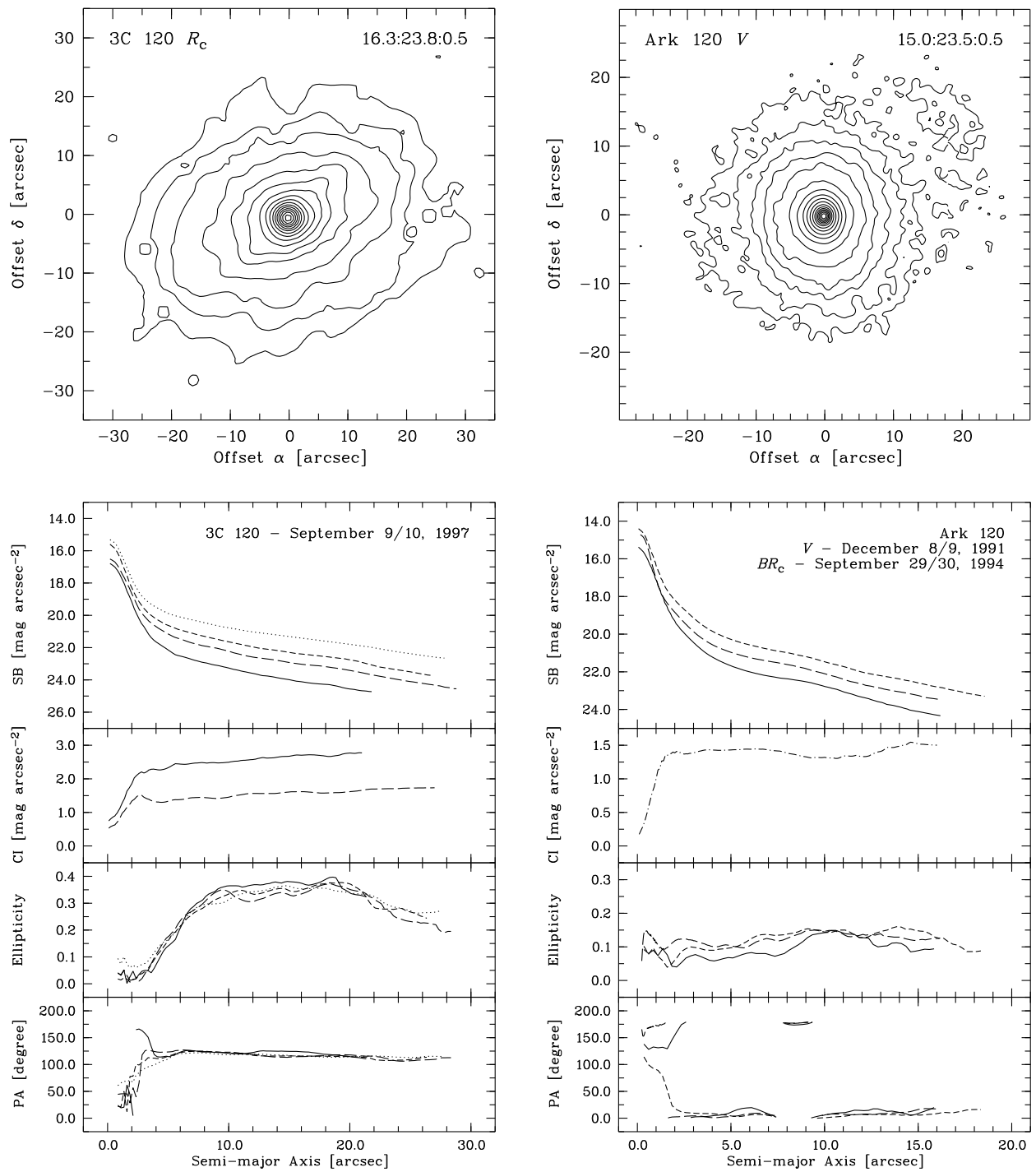
ФИГУРА 1: Продължение



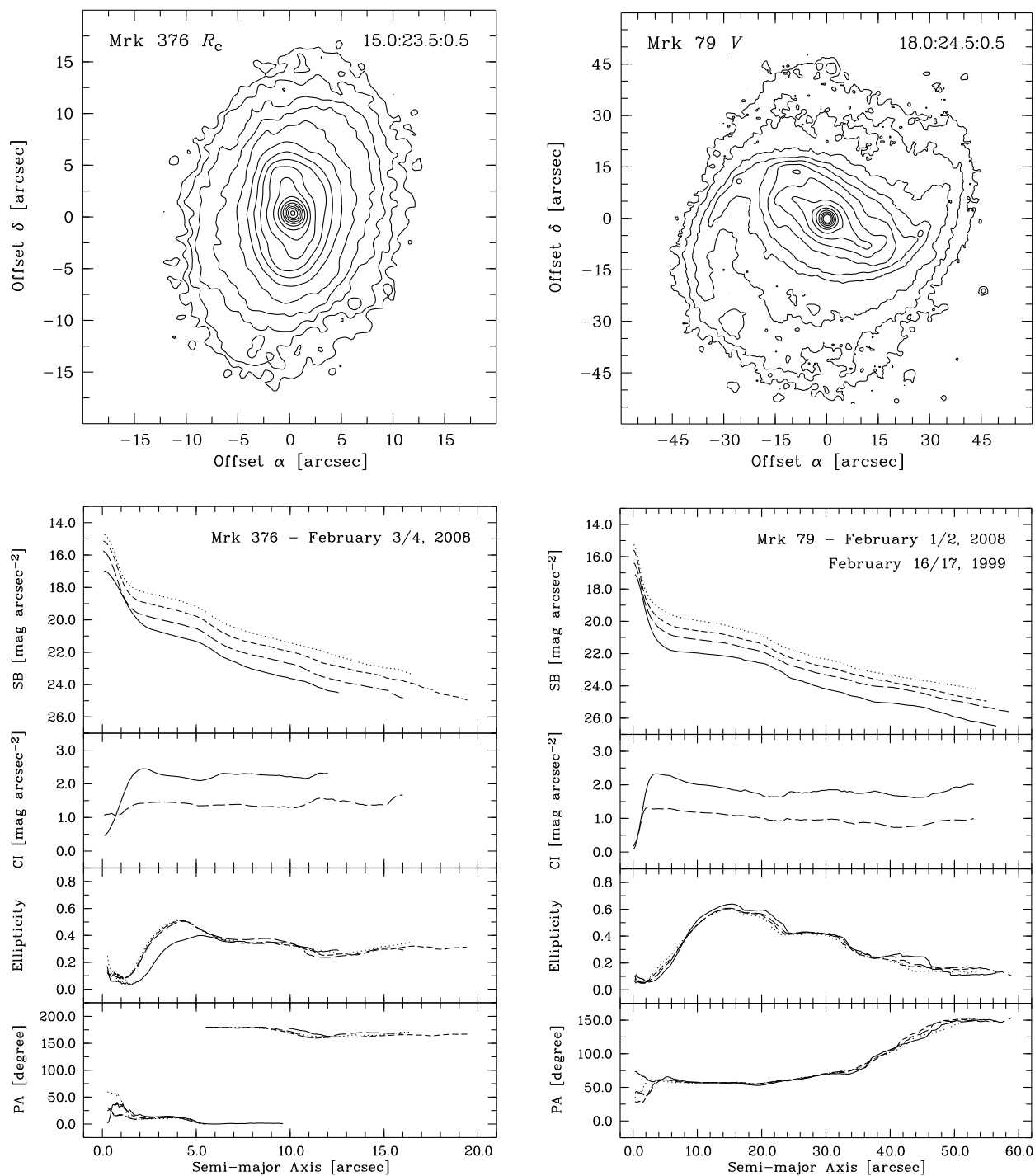
ФИГУРА 1: Продължение



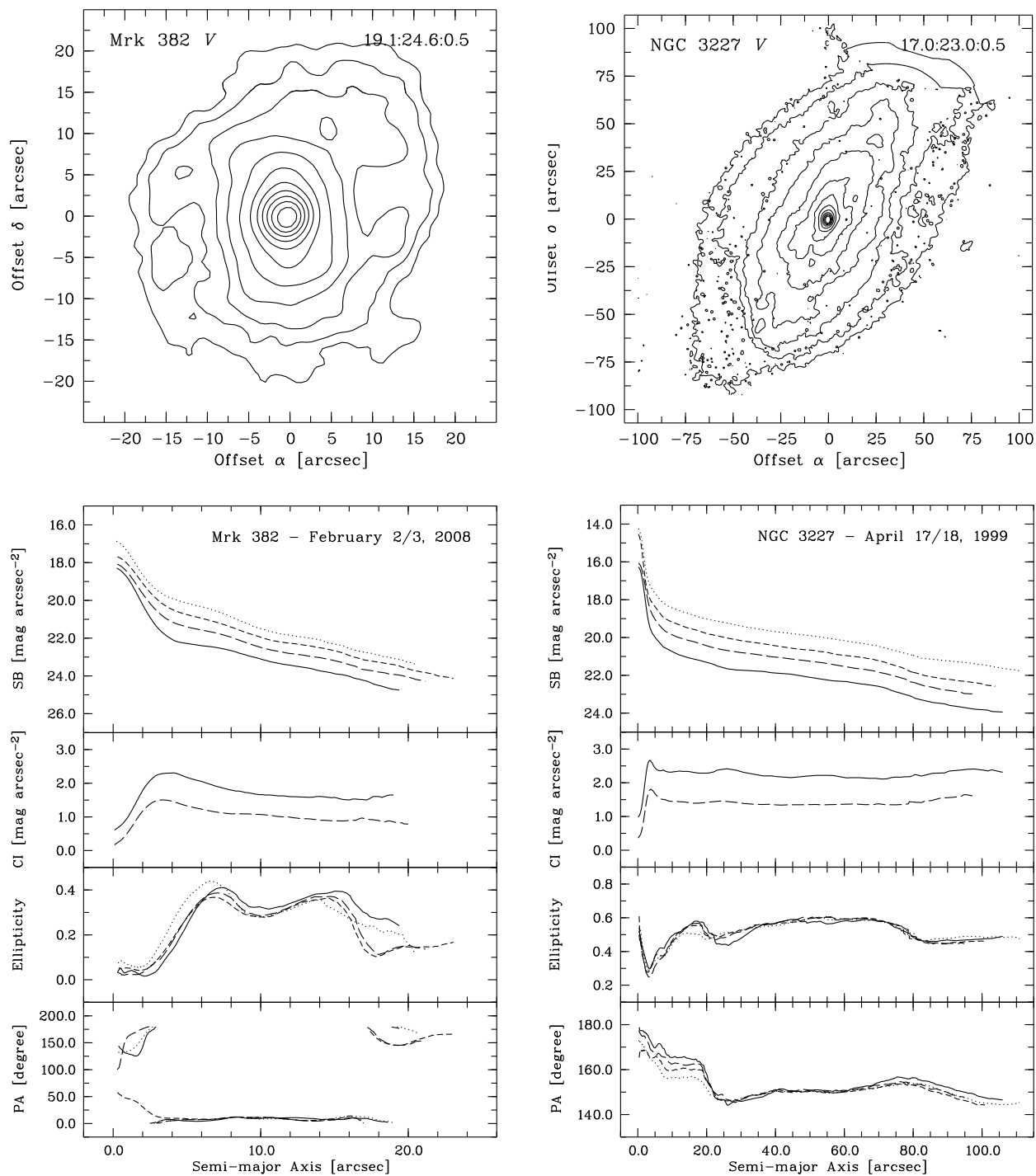
ФИГУРА 1: Продължение



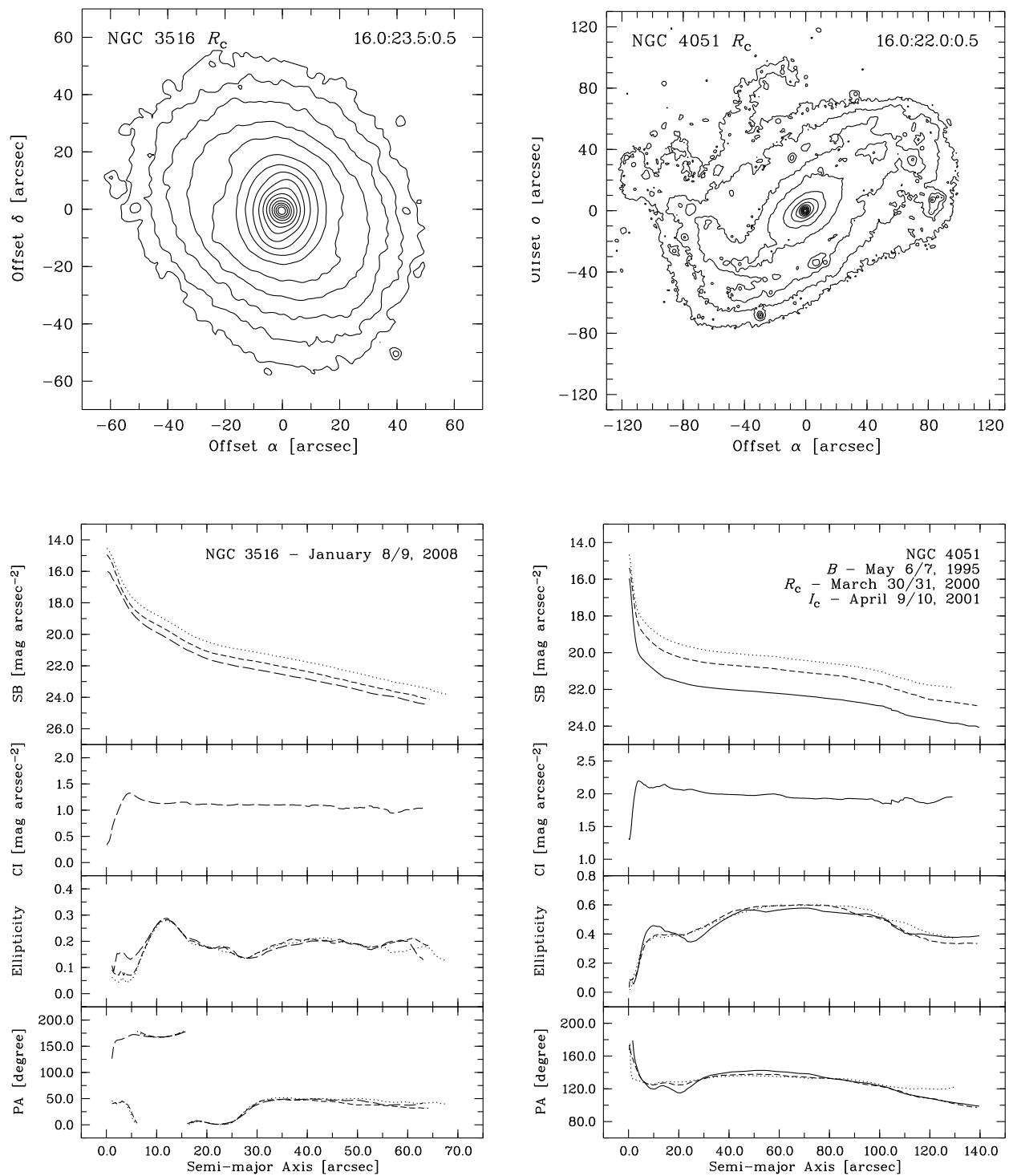
ФИГУРА 1: Продължение



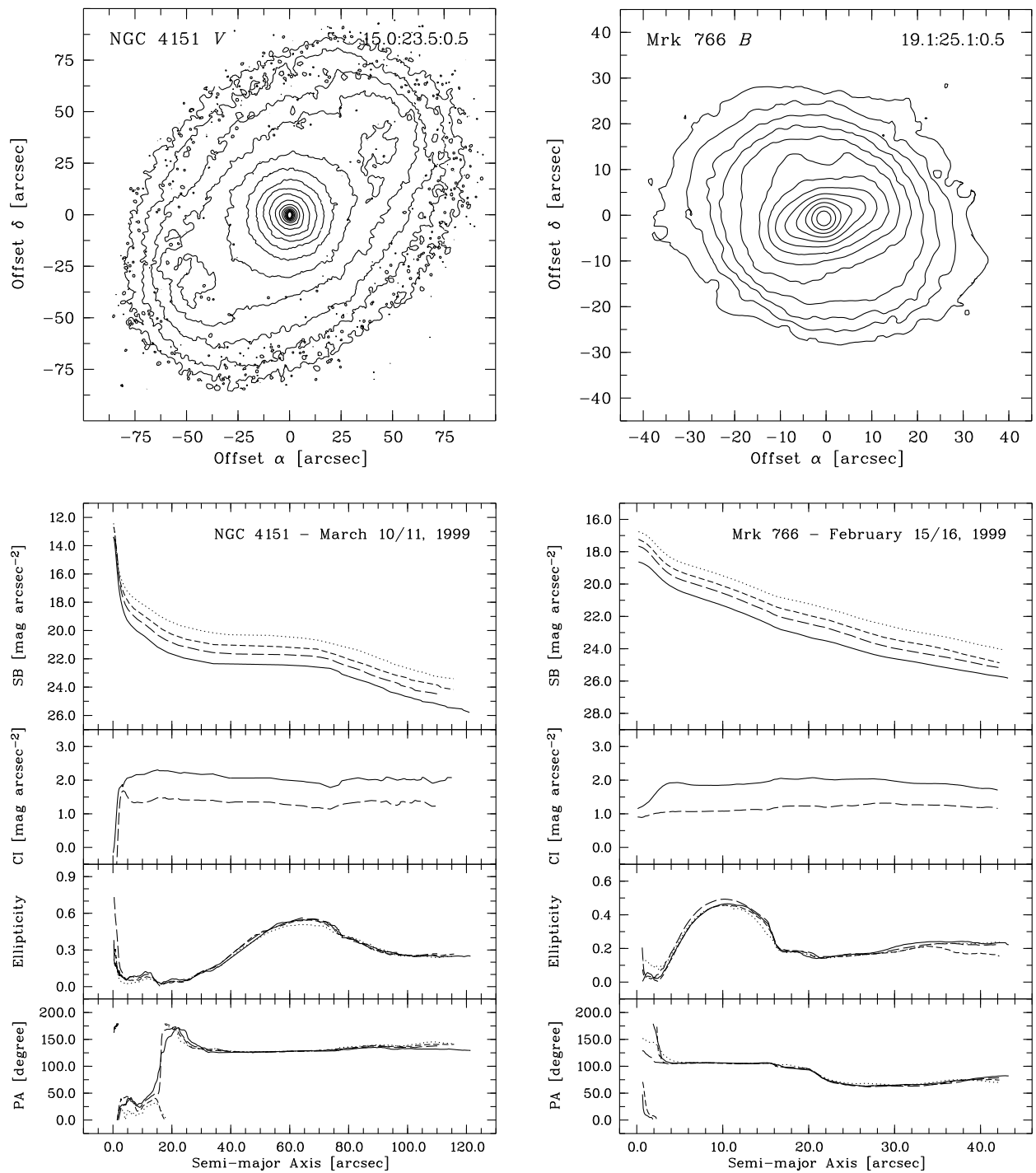
ФИГУРА 1: Продължение



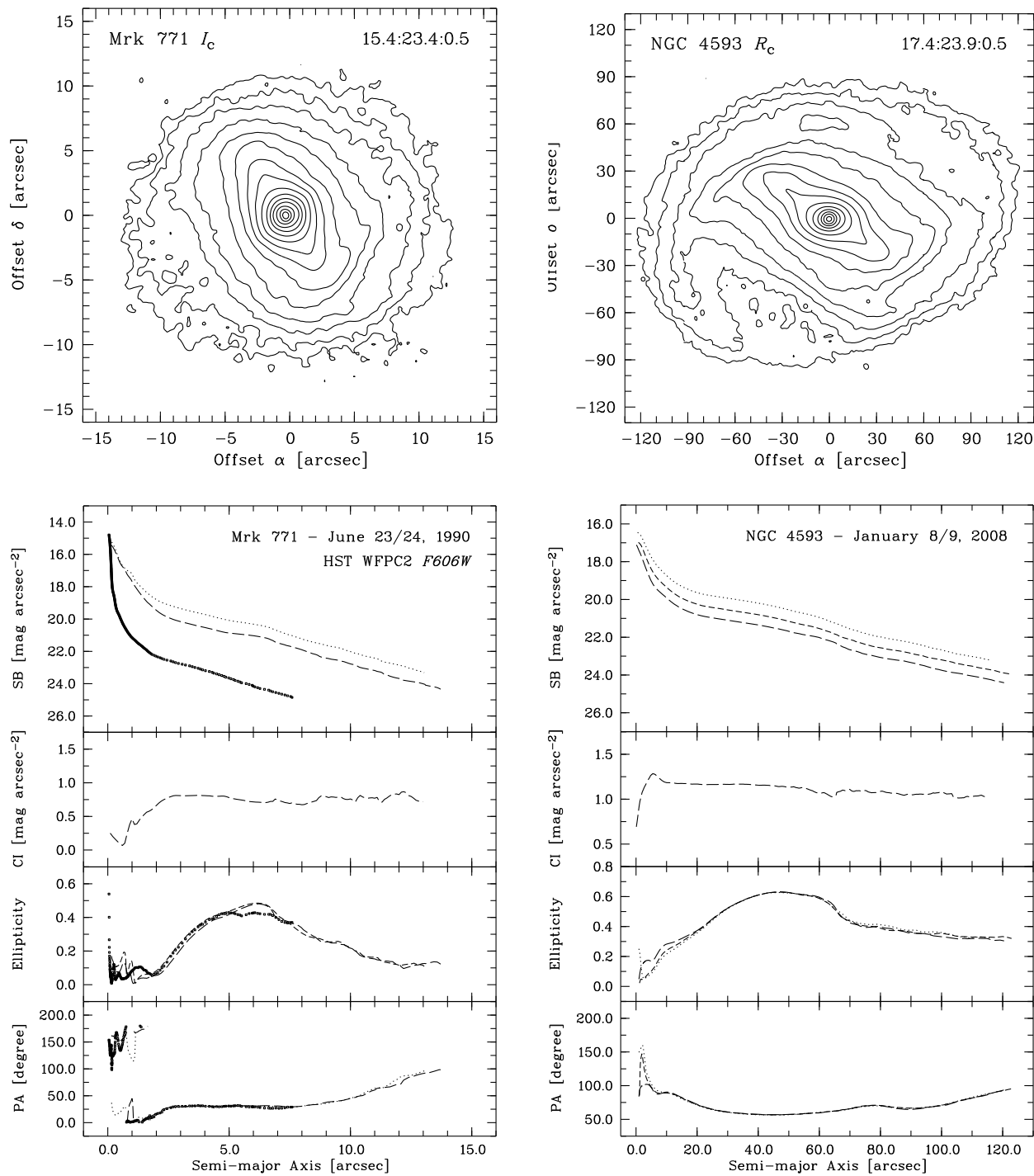
ФИГУРА 1: Продължение



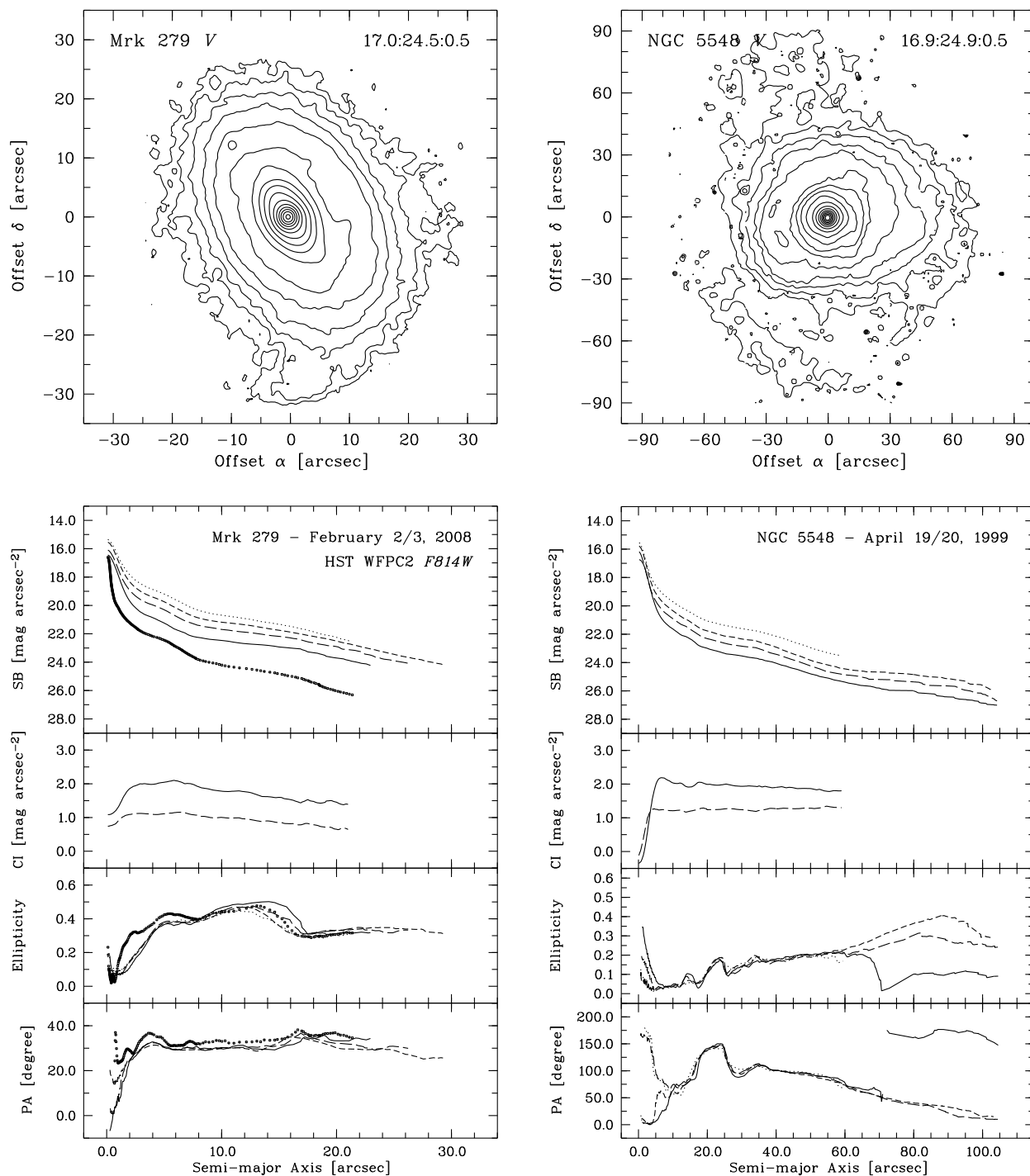
ФИГУРА 1: Продължение



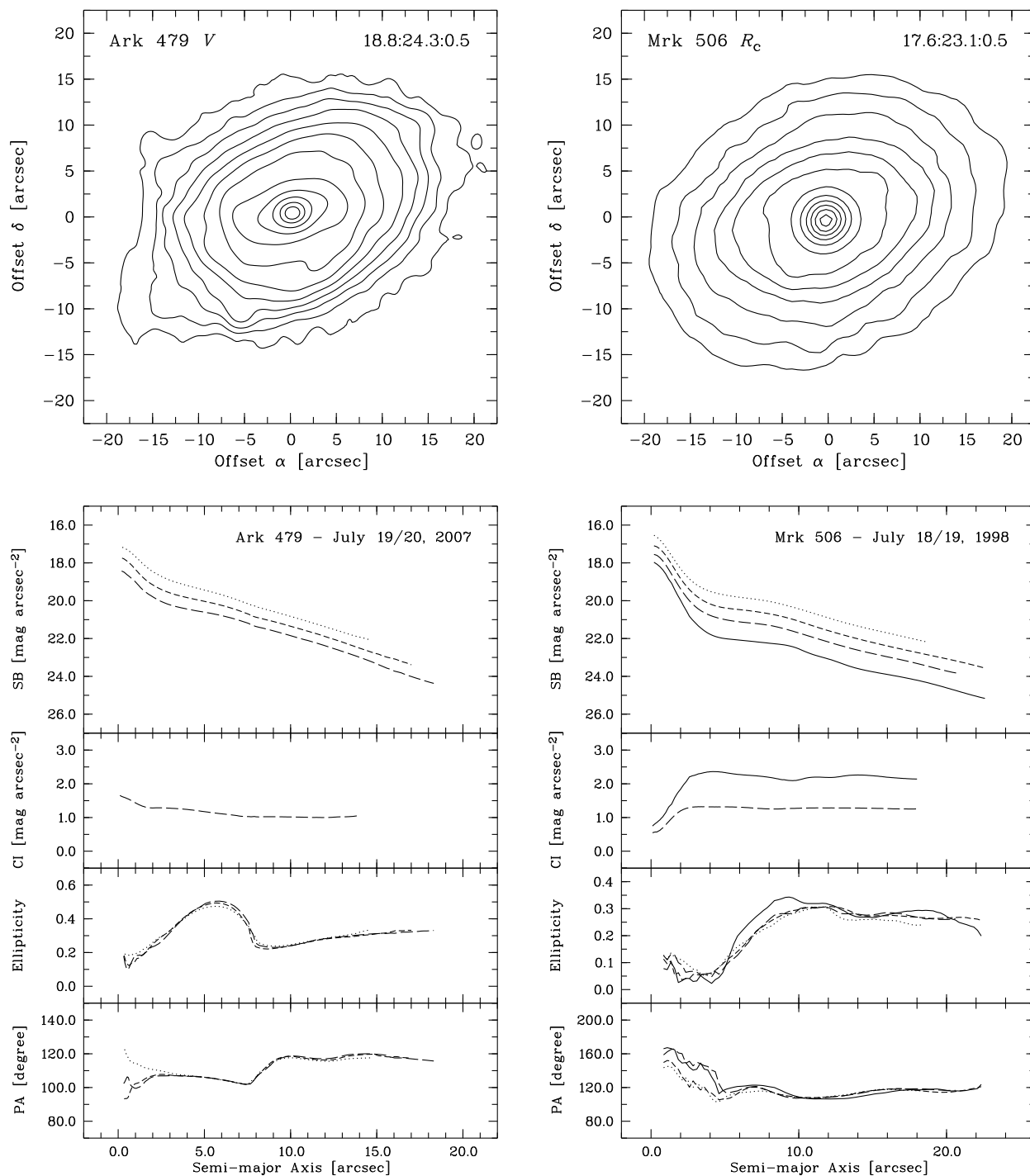
ФИГУРА 1: Продължение



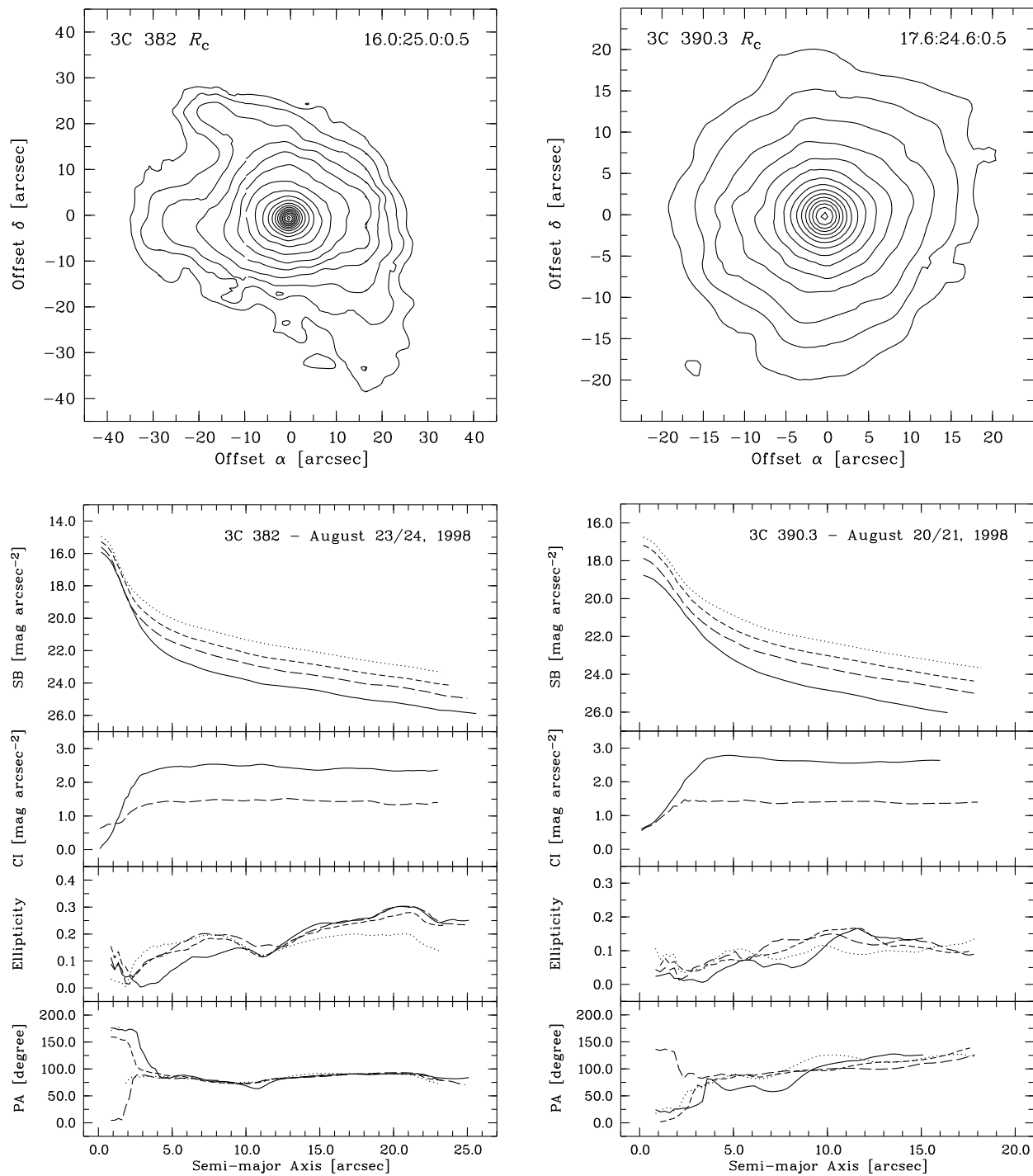
ФИГУРА 1: Продължение



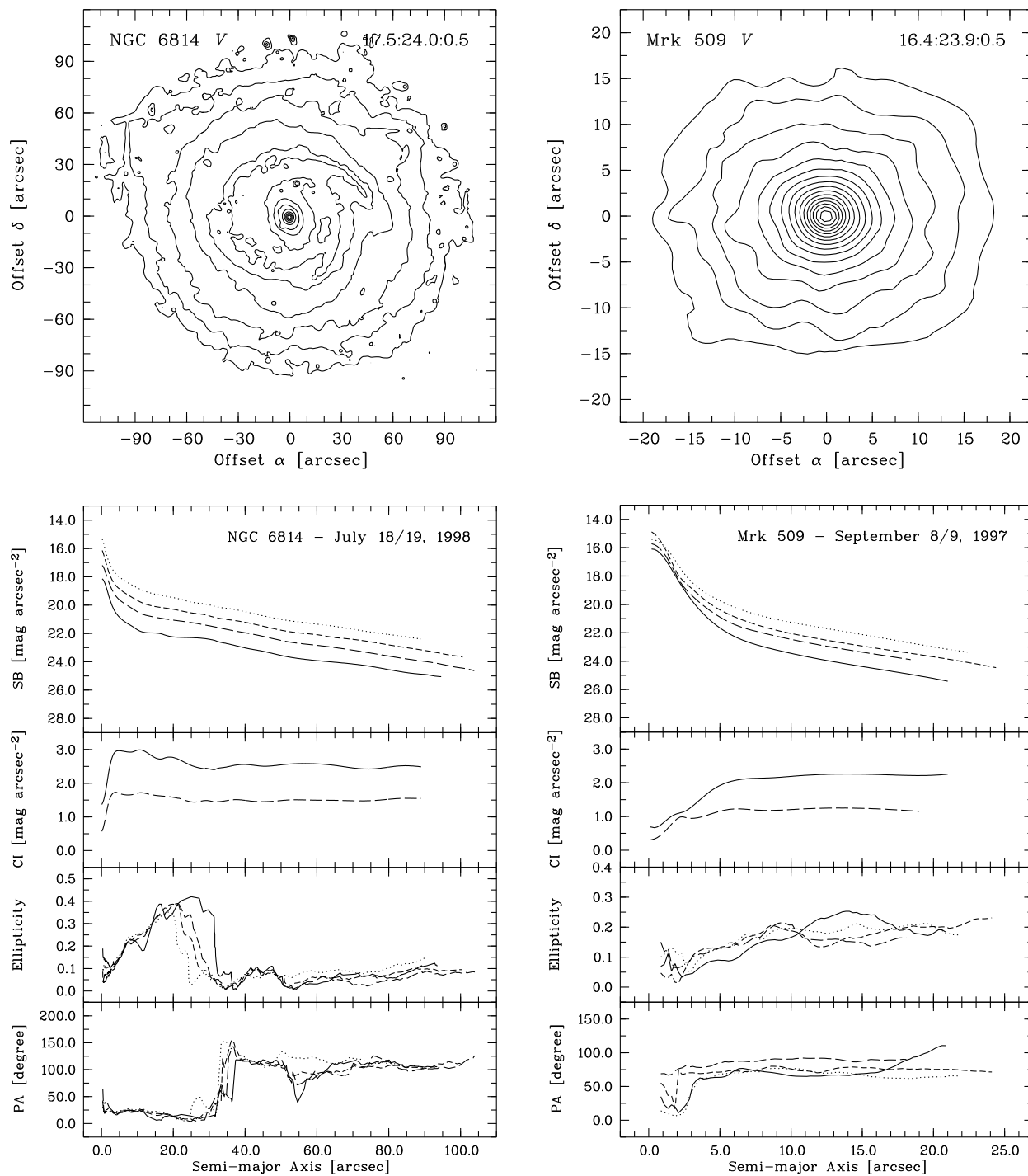
ФИГУРА 1: Продължение



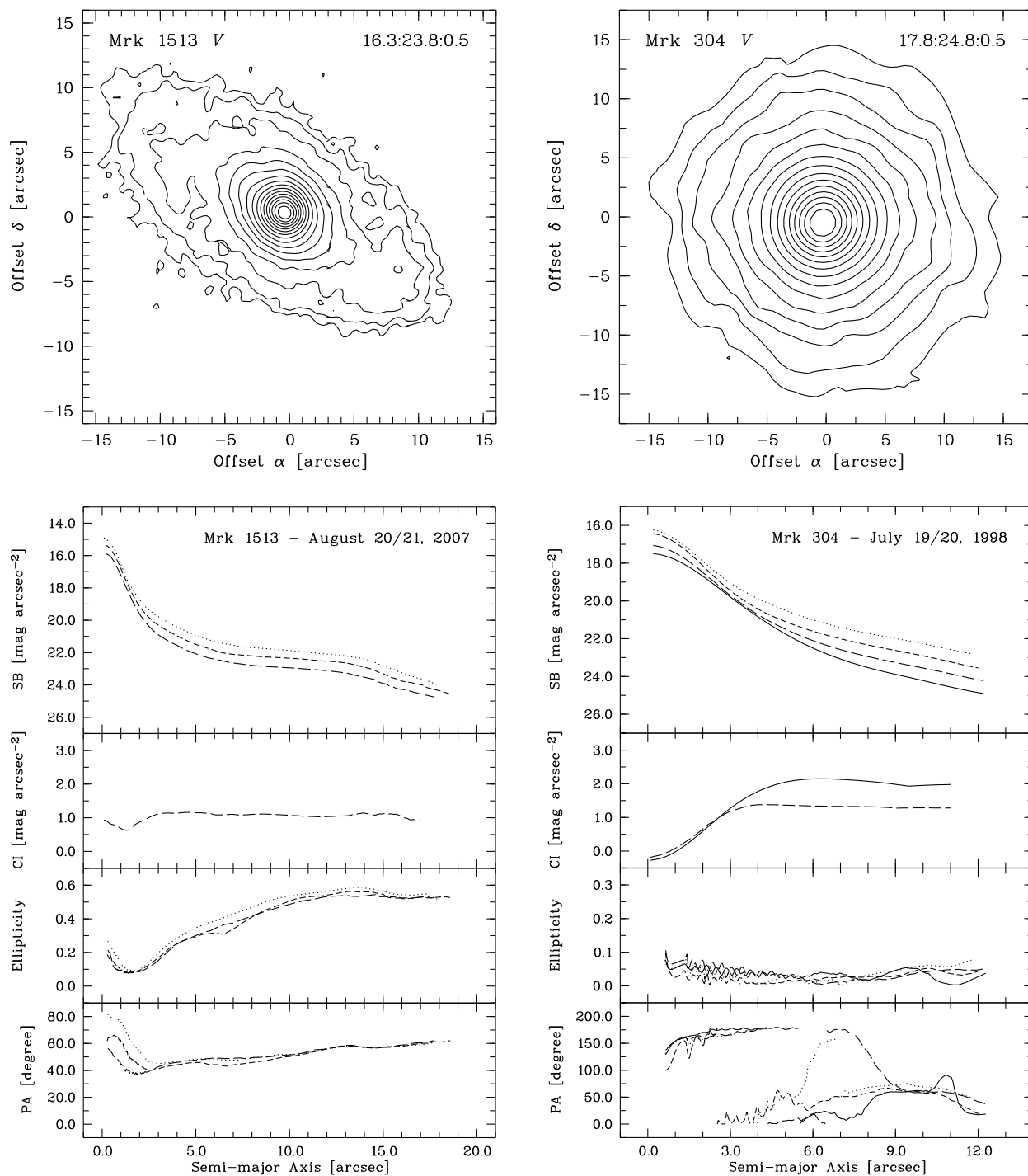
ФИГУРА 1: Продължение



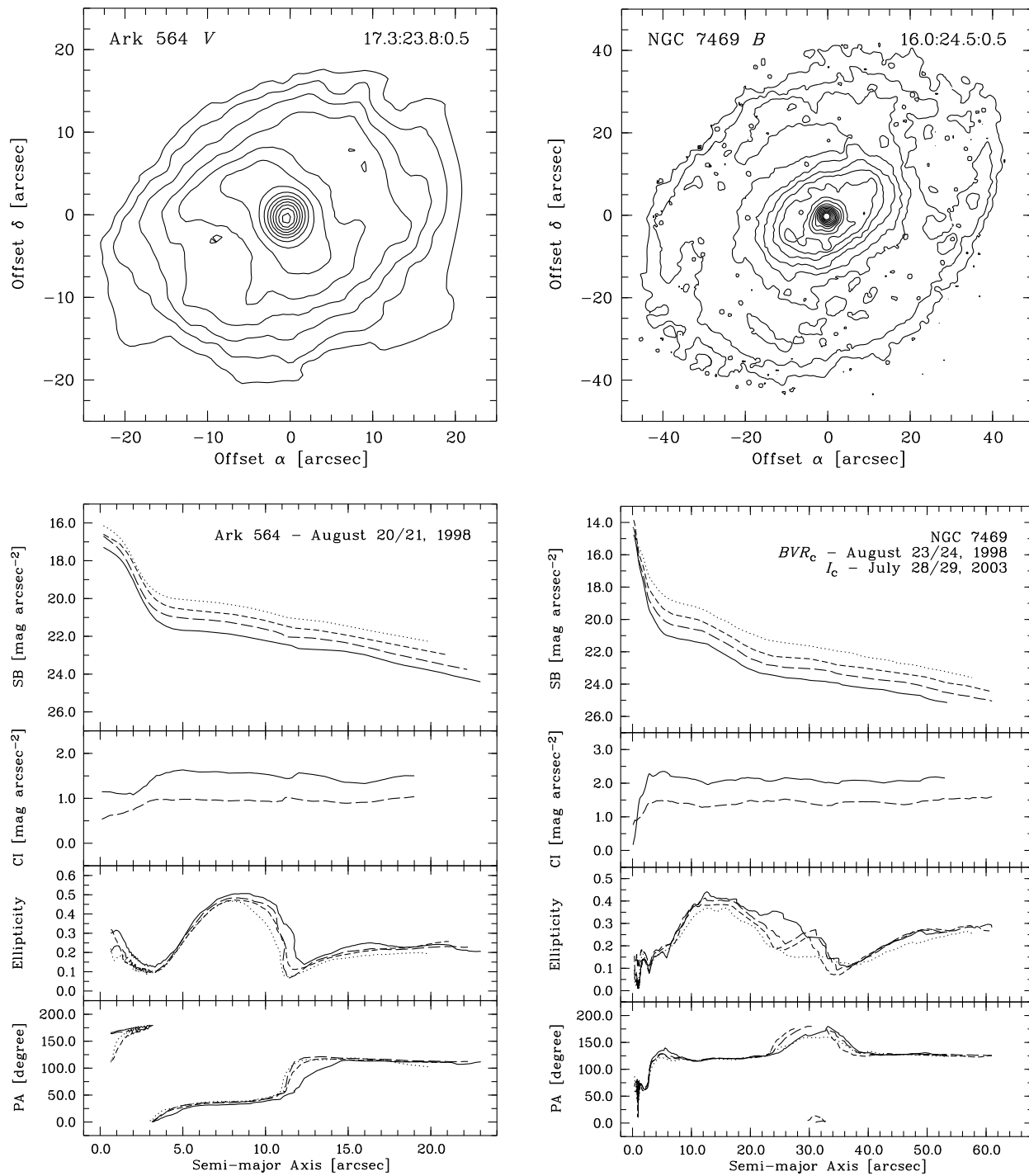
ФИГУРА 1: Продължение



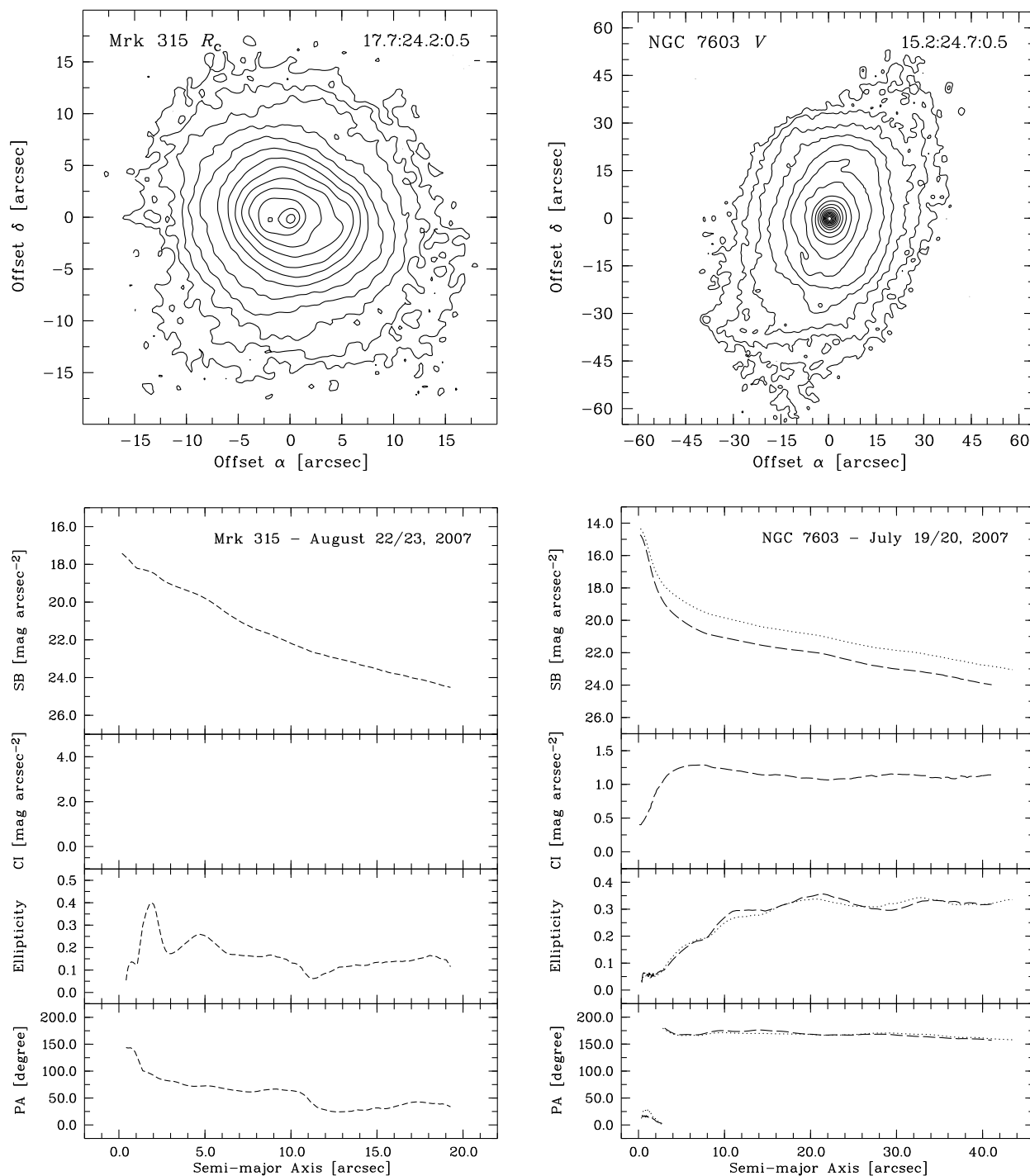
ФИГУРА 1: Продължение



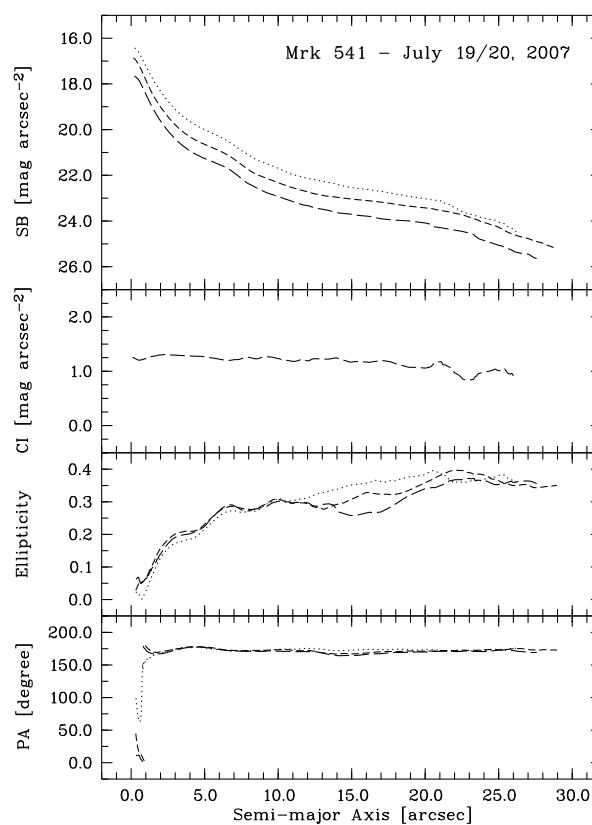
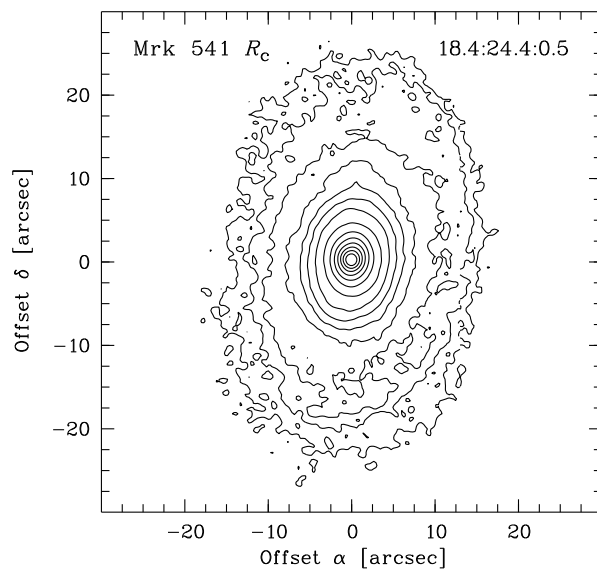
ФИГУРА 1: Продължение



ФИГУРА 1: Продължение



ФИГУРА 1: Продължение



ФИГУРА 1: Продължение

Abstract

We analysed the evidence of non-axisymmetric perturbation of the potential in a sample of 35 Seyfert galaxies and in a matched sample of inactive galaxies on the basis of a detailed morphological characterization.

1. We presented a detailed morphological characterization of a sample of 35 Seyfert galaxies. We scrutinized various images, residuals, maps, and profiles in order to reveal galaxy structures that could be important for the fueling of Seyfert nuclei, as well as for the proper photometric decomposition, which is ongoing. The careful analysis of these data on an individual, case-by-case basis, has led to a more explicit morphological status of a part of the galaxies, resulting in improved morphological type accuracy, and to new structural components and features being unveiled:
 - we revealed a bar in Ark 479, an oval/lens in Mrk 595, inner rings in Ark 120 and Mrk 376, and features of possible tidal origin in 3C 382 and NGC 7603 for the first time to our knowledge;
 - we discussed some structures of controversial/unclear morphology in Mrk 573, Mrk 376, NGC 3227, NGC 3516, Mrk 279, Mrk 506, 3C 382, and NGC 7469.
2. We compared the large-scale morphology and local environment of the Seyfert sample and a control one, matched in morphological type, radial velocity, absolute B magnitude, and ellipticity, with the following main results:
 - we found similar fractions of bars in the Seyfert, $(49 \pm 8)\%$, and control, $(46 \pm 8)\%$, galaxy sample;
 - the Seyfert bars are weaker than the bars in the control sample with median deprojected bar ellipticity values of 0.39 vs. 0.49, respectively, at the 95% confidence level;
 - the weaker Sy bars may be related to the generally larger cold gas amounts reported in their disks in the context of angular momentum transfer;
 - the incidence of rings in the Seyfert and control sample is similar – $(49 \pm 8)\%$ and $(54 \pm 8)\%$, respectively;
 - practically equal parts of the Seyfert, $(44 \pm 9)\%$, and control, $(43 \pm 8)\%$, sample have at least one close physical companion;

- there is no correlation between the presence of asymmetries and companions for both samples; minor mergers, at least without companions, do not occur in the Seyfert sample more often than in the control one;
- the vast majority of both samples, $(91 \pm 5)\%$ of the Seyfert and $(94 \pm 4)\%$ of the control one, have bars, rings, asymmetries, or close companions;
- similar fractions of the Seyfert, $(86 \pm 6)\%$, and control, $(83 \pm 6)\%$, sample show morphological evidence of non-axisymmetric perturbations of the potential;
- the fueling of Seyfert nuclei does not appear directly related to the large-scale morphology and local environment of their host galaxies.

In the framework of our results we have started a study of the circumnuclear regions of a sample of Seyfert galaxies using HST archival images. As first results of this research, we revealed a nuclear bar and ring in Mrk 352 and nuclear dust lanes in Mrk 590.