

Contemporary concept of the Galaxy structure:

1. General picture

Tsvetan B. Georgiev^{1,3}, Orlin Stanchev², José Concejo³

¹ New Bulgarian University, BG-1618 Sofia

² Department of Astronomy, University of Sofia, BG-1164 Sofia

³ Institute of Astronomy and NAO, BG-1784 Sofia
tsgeorg@astro.bas.bg

(Submitted on 15.11.2012; Accepted on 19.12.2012.)

Abstract. The general structure of our Galaxy - the Milky Way - is presented for Bulgarian readers. The main components of the Galaxy - central black hole, bulge/bar, halo, disk and spiral structure are regarded briefly. Some unsolved problems are pointed out.

Key words: galaxies: Milky Way

Съвременна представа относно строежа на Галактиката:

1. Обща картина

Цветан Б. Георгиев, Орлин Станчев, Хосе Консехо

Общата структура на Нашата галактика - Млечния път - е представена за български читатели. Разгледани са накратко основните компоненти на Галактиката - централна черна дупка, балдж/бар, хало, диск и спирална структура. Изтъкнати са някои нерешени проблеми.

Увод

Веществото във Вселената, което излъчва или поглъща електромагнитно лъчение, представлява около 90 % звезди и около 10% газ и прах. Неговият характерен химически състав е 78% водород, 21% хелий и 1% други елементи. В астрономията всички елементи след хелия се смятат за “тежки”, а обилието на тежките елементи се нарича “металичност”.

Изглежда звездите са най-просто устроените обекти в неживата природа, като еволюцията на отделната звезда зависи основно от нейната начална маса. През XX век са изследвани хиляди звезди и се смята, че, в общи линии, произходът, строежът и еволюцията на тези обекти са ясни. Обаче, еволюцията на звездите продължава от десетки милиони до десетки милиарди години и убедеността на астрономите, че те разбират тази еволюция, изглежда понякога прекалена. Но нека, по аналогия, да поискаме да разберем строежа и еволюцията на дърветата в една гора, които живеят стотици години. Дали ще трябва да наблюдаваме толкова дълго време? Не, стига да разбираме от дървета. Така е и при звездите, където еволюционните фази обикновено са ясни, а крайните фази на звездната еволюция - бели джуджета, неутронни звезди и черни дупки - са били мислени преди да бъдат открити наблюдателно.

Съвсем не е така при галактиките. Големите спирални галактики са кандидатите за най-сложните образувания в неживата природа. При тяхното изучаване астрономите, колкото и да разбират от галактики, са силно затруднени. Множество особености на произхода, строежа и еволюцията на галактиките продължават да са нерешени научни проблеми.

Все още не е достатъчно проучен и разбран процесът на звездообразуването в галактиките - едно от най-грандиозните природни явления, които съвременната наука може да наблюдава и изучава. Не е ясна, също така, природата и еволюцията на тъмната материя в галактиките, която е около около 20 пъти повече от светещата. Затова детайлното изучаване на Нашата галактика - Млечния път (МП, Фиг.1) е особено важно не само за астрономията, но и за цялата наука.



Фиг. 1. В ляво: Южната част на нощното лятно небе над 2-м телескоп на НАО-Рожен. Системата от светли петна в средната и горната лява част на кадъра е централната част на МП, видима през галактични газово-прашни облаци. Поради въртенето на небосвода и дългата експозиция на кадъра изображенията на звездите са разтеглени. В дясно: Лятният МП над НАО-Рожен между съзвездията Стрелец (долу) и Касиопея (горе). В горната дясна част на кадъра се вижда и случайно снет болид (ярък метеор). Изсветляването на хоризонта се дължи на подсветка от Пампорово и Смолян (долу, откъм юг), както и от Асеновгред и Пловдив (горе, откъм север). Дъговидността на МП се дължи на преобразуването на небесната полусфера върху равнината на изображението. (Снимки: П. Маркишки)

В тази статия са представени основните факти и зависимости около строежа и еволюцията на МП като цяло, както и на неговите основни компоненти. Съвременните резултати относно строежа и еволюцията на диска на МП са описани по-подробно в следващата статия (Paper 2). Има множество факти, зависимости и съображения относно МП и диска на МП, които няма как да бъдат обхванати в две кратки статии. Обаче, тази проблематика е отразена обширно в учебници, монографии и научни публикации (вж.напр. Binney & Merrifield 1998, Karttunen et al. 2003, Schneider 2006 и цитираната по-нататък литература, както и в Интернет).

1. Строеж на Млечния път и на спиралните галактики

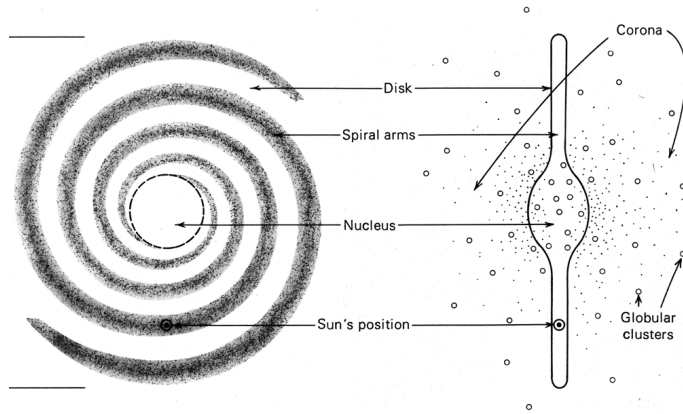
Гледана анфас (откъм полюса или откъм оста на въртене) нашата Галактика, МП, би трябвало да прилича на гигантската спирална галактика М 101, видима анфас (Фиг.2, в ляво). Гледана в профил (откъм равнината на диска) Нашата галактика би трябвало да е подобна на друга гигантска галактика, NGC 891, видима в профил (Фиг.2, в средата). Обаче, в сравнение с тези галактики нашата Галактика е около два пъти по-малка.



Фиг. 2. В ляво: Галактиката М 101, видима анфас (50-см Шмид-телескоп на НАО-Рожен, сн. Е.Овчаров, А.Вълчева; В средата: Галактиката NGC 891, видима в профил (2-м телескоп на НАО-Рожен, сн. П.Недялков, Ц.Георгиев, Т.Вълчев); В дясно: Панорама на фона на МП, видим от нашата позиция вътре в МП в инфрачервени лъчи (спорад обзор 2MASS: www.ipac.caltech.edu/2mas).

Когато една спирална галактика се наблюдава в профил, тъмната ивица по голямата ос на изображението (Фиг.2, в средата) се дължи на поглъщането на светлината от газ и прах в равнината на диска на галактиката. Светенето на звездния фон на МП в близката инфрачервена област на спектъра (във фотометрична система JHK, с дължини на вълните 1.2, 1.6 и 2.2 мик) е показано на Фиг.2, в дясно. Както се вижда, МП, гледан отвътре, е подобен на галактика видима в профил отвън.

Изображенията на галактиките в тази статия са комбинации от кадри в два или три спектрални диапазона, като цветността е изкуствено усилена. Освен това, за да се виждат слабите периферии на галактиките, ярките централни части са преекспонирани. Все пак, цветовете отразяват качествено основните свойства на звездното население. Синкаво-белите спирални ръкави на галактиките свидетелстват за повишена концентрация на млади и горещи сини зевзди, а червеникавият цвят на централните части на галактиките пък говори за висока концентрация на стари и хладни червени зевзди (Фиг.2,4,5).



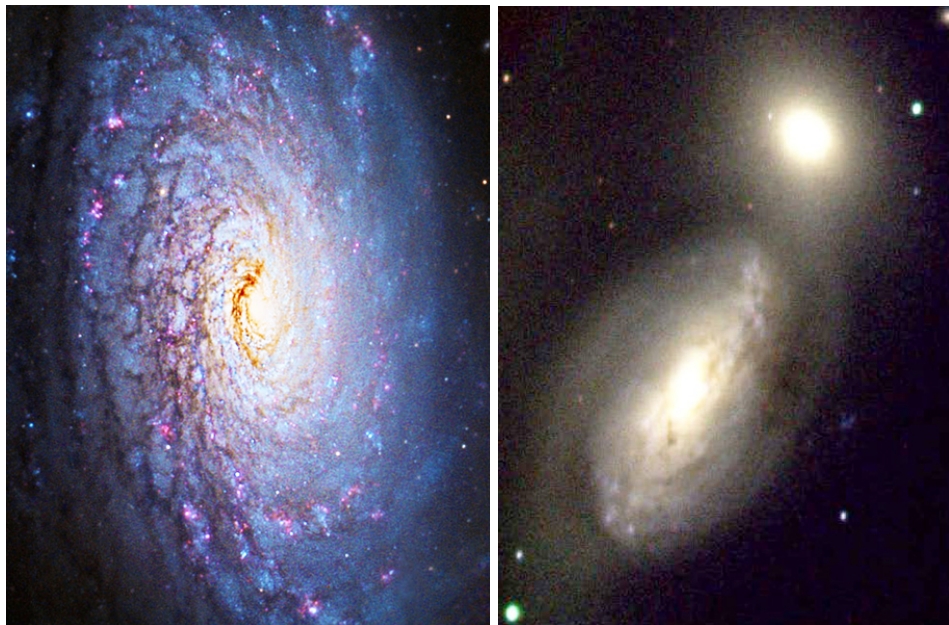
Фиг. 3. Класическа схема на основните компоненти на МП и на големите спирални галактики - диск със спирални ръкави, балдж (ядро) и корона (хало), по Abell (1969).



Фиг. 4. Двете най-близки до МП спирални галактики, снети в еднакъв мащаб, с височина на кадъра: 1.2° . В ляво: Централната част на галактиката М 31, в Андромеда, със спътниците си М 32 (в долната централна част на кадъра) и М 110 (видим частично горе до дясната рамка на кадъра); В дясно: Цялата галактика М 33, в Триъгълник (50-см Шмидт-телескоп на НАО-Рожен, сн.: Е.Овчаров, А.Вълчева).

Още преди средата на XX век е станало ясно, че независимо от морфологията (т.е. от видимата структура), големите галактики имат три фундаментални звездни компоненти: централен сфероиден балдж или бар, диск (подобен на спортния уред “диск”) и сфероидално хало (корона). Често балджът и халото се разглеждат съвместно като сфероидална компонента, понякога под общото име “хало”. Освен това, като специален компонент, се разглежда и спиралната структура в диска, ако я има (Фиг.2,4,5).

След средата на XX век постепенно е станало ясно, че в диска следва да се отличават тънък и дебел компонент, а в халото следва да присъства огромно количество тъмна материя.



Фиг. 5. В ляво: Галактиката М 63 ("Слънчоглед", от купа галактики в Девица) с флокулентна (разпокъсана) спирална структура (2-м телескоп на НАО-Рожен, сн. Д. Чанлиев, П. Маркишки и Е. Иванов); В дясно: Далечната галактика NGC 3227, с бар, активно галактично ядро и спътник (2-м телескоп на НАО-Рожен, сн. Л. Славчева-Михова и Б. Михов).

За населението на халото са характерни стари галактични обекти с ниска металичност - хладни звезди и кълбовидни звездни купове. Те се движат около центъра на МП по орбити с произволни ориентации и ексцентрицитети, често с големи скорости (хиляди km/s). Халото съдържа пренебрежимо малко количество газ и прах. В населението на диска освен обектите, характерни за халото, присъстват млади обекти - горещи звезди, разсеяни звездни купове, както и много междוזвезден газ и прах. Обектите в диска имат, средно взето, по-висока металичност от обектите в халото и се движат около центъра на МП по орбити, които са почти

копланарни с диска. В диска на МП, както и в дисковете на големите галактики, се наблюдават спирални структури (Фиг.4,5).

И така, МП е голяма спирална галактика, съдържаща около 200 млрд. звезди. За сравнение, броят на звездите в близката гигантска галактика М 31 (в съзвездията Андромеда) е около два пъти по-голям, а в близката неголяма спирална галактика М 33 (в съзвездията Триъгълник) - около два пъти по-малък (Фиг.4). Тези данни са приблизителни поради трудностите при оценяването на броя на слабо светещите звезди от типове "червени джуджета" и "кафяви джуджета".

Отношенията на светимостите на сфероидалните и дисковите компоненти на галактиките от различни типове са различни. Това касае и отношенията на масите на тези компоненти. В крайните случаи галактиките с добре изразени дискове (независимо от присъствието или отсъствието на спирални структури) се наричат общо дискови, а галактиките с доминиращи сфероидални компоненти (т.е. без видими дискове) се наричат общо елиптични.



Фиг. 6. Южното звездно небе над Интер-американската обсерватория Серо Тололо, Чили, с централната област на МП, в дясно и Магелановите облаци, в ляво(сн: Roger Smith, <http://boojum.as.arizona.edu/>).

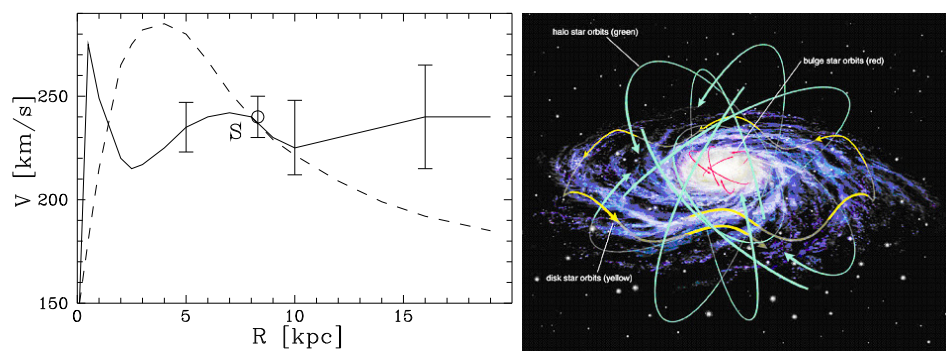
От времето на Едуин Хъбъл (първата половина на XX век) големите галактики с доминиращи дискови компоненти и продължаващо звездообразуване, но без ясно изразени спирални структури, се наричат "ирегулярни". Това са най-вече галактики-джуджета, подобни на галактиките Магеланови облаци, които са спътници на МП (Фиг.6).

Обаче, към средата на XX век са намерени и екстремални джуджета, представляващи единични “огнища” на звездообразуване, подобни по маса и размери на отделни звездни комплекси в големите галактики. Всички изследвани галактики-джуджета, показващи продължаващо или неотдавна “избухнало” звездообразуване, притежават сфероидални компоненти от старо звездно население. Причините за високия темп на звездообразуване в някои галактики-джуджета не се изяснени.

Пак от времето на Хъбъл, галактиките с доминиращи сфероидални компоненти (и фактически без дискове и без явно звездообразуване) се смятат за нормални елиптични галактики. Това са най-често неголеми галактики, подобни на спътниците и M 32 и M 110 на галактиката M 31 (Фиг.4, вляво). Тези обекти са сравнително редки.

Най-малките елиптични галактики, открити след средата на XX век, са известни като сфероидални джуджета. Те са сравними по маси с кълбовидните звездни купове, но са крайно разредени и се изявяват над фона на нощното небе много трудно. Предполага се, че броят на сфероидалните джуджета е сравним с броя на всички други галактики.

В централните части на куповете от галактики се срещат и гигантски елиптични галактики, около десет и повече пъти по масивни от МП. Те се смятат за резултати от сливането на множество галактики, включително и на големи галактики, подобни на МП.



Фиг. 7. В ляво: Зависимост на орбиталната скорост на обектите в диска от разстоянието до центъра на МП (“крива на въртене на МП”). Прекъсната линия - очаквана Кеплерова крива на въртене; Непрекъсната линия - наблюдавана крива на въртене, свидетелстваща, че в периферията на МП присъства огромно количество тъмна материя; Кръгче - място на Слънцето; Вертикални отсечки - стандартни грешки на измерванията. В дясно: Схема на орбити на звезди от МП - в балджа (червени), в халото (зелени) и в диска (жълти).

Орбиталните скорости на дисковите обекти, извън балджа, следва да намаляват с отдалечаване от центъра на галактиката по законите на Кеплер. Обаче, вместо това, обектите в перифериите на дисковете на МП и спиралните галактики показват високи орбитални скорости до края на възможното проследяване на тези скорости по звезди и по газови облаци. За това, след средата на XX век, се смята за установено, че в МП и в другите галактики присъства огромно количество тъмна, несветеща, но гравитираща материя.

Изглежда, че концентрацията на тъмната материя в галактиките намалява линейно с отстоянието от центъра, но ситуацията е по-сложна. Съвременните данни показват, зависимостта на орбиталната скорост от разстоянието до центъра, известна като “крива на въртене”, има максимуми и минимуми (Фиг.7, в ляво). При това в своето орбитално движение звездите от диска осцилират отклонявайки се временно над или под равнината на диска на МП. Изглежда те правят това по няколко пъти за един орбитален период, като по този начин оформят дебелината на звездния диск. Така е и при другите галактики (Фиг.7, в дясно).

Кандидатите за гравитираща, но несвеща материя, продължават да са неутриното, хипотетични елементарни частици, които взаимодействат с другите такива само гравитационно, масивни тела в халото на Галактиката (невидими хладни планети, несъстояли се звезди и др.п. тела, наричани още “кирпичи”) и масивни облаци от молекулярен водород, разположени далече от и диска на МП. Природата на съществуващото във Вселената огромно количество тъмна материя, което се проявява само гравитационно, е фундаментален проблем за цялата съвременна наука.

В Местната група от галактики има три спирални галактики (М 31, МП и М 33) и около 40 галактики-джуджета (ирегулярни и сфероидални). Последните се наблюдават трудно на големи разстояния, но се смята, че над 90% от галактиките във Вселената са джуджета. Освен това изглежда, че галактиките-джуджета имат относително повече тъмна материя. Днес е ясно, че големите галактики имат и централни свръх-масивни черни дупки.



Фиг. 8. В ляво: Галактиката М 104 (“Сомбреро“ от купа в Девица), видима почти в профил, с масивен сфероидален компонент, съдържащ над 500 млрд. звезди и хиляди кълбовидни звездни купове, с ясно видим поглъщащ диск и с флокулентна (разпокъсана) спирална структура; В дясно: Галактиката NGC 1300 видима почти анфас, с мощен бар и двуръкавна спирална структура от тип “гранд дизайн“ (снимки от Космическия телескоп “Хъбъл“, <http://hubblesite.org/newscenter/archives>).

Според модела на МП, построен от McMilan (2011), звездната (светещата) маса на МП е $6.43 \pm 0.63 \times 10^{10}$ слънчеви маси, а вириалната маса (цялата гравитираща маса) е $1.26 \pm 0.24 \times 10^{12}$ слънчеви маси, т.е. масата на светещата материя в МП е само 5 % от вириалната маса на МП.

Отстоянието на Слънцето от центъра на МП е 8.29 ± 0.16 кпс (около 24 000 св.г.), а орбиталната му скорост е 239 ± 5 км/с. (1 пс (парсек)

е разстоянието, от което радиусът на земната орбита (150 млн. км) се вижда под ъгъл $1''$; $1 \text{ пс} \approx 3.074 \times 10^{13} \text{ км} \approx 3.27 \text{ св.г.}$; $1 \text{ св.г.} \approx 9.47 \times 10^{12} \text{ км}$). Орбиталният период на Слънцето е около 280 млн. г. Така през времето на своето съществуване, за около 5 млрд. г., Слънцето е направило едва около 18 обиколки около центъра на МП.

Ето повече информация за основните компоненти на МП и спиралните галактики.

2. Централна свърх-масивна черна дупка

В центъра на МП се намира свърх-масивна черва дупка с маса около 2 млн. слънчеви маси (масата на Слънцето е $2 \times 10^{30} \text{ kg}$). Смята се, че тя поглъща по една звезда, подобна на Слънцето, по веднъж на около 5000 г. В близката гигантска галактика М 31 (Фиг.4, в ляво) централната черна дупка е двойна, с обща маса няколко милиона слънчеви маси. В галактиката М 33 (Фиг.4, в дясно), както и в Магелановите облаци (Фиг.6), такива обекти няма.



Фиг. 9. В ляво: Галактиите с активни ядра, дължащи се на свърх-масивни черни дупки, NGC 4151 (в ляво) и Mark 348 (в дясно). Ярките централни части на тези галактики са преекспонирани за да бъдат изявени слабите периферни части. (2-м телескоп на НАО-Рожен, сн. Л. Сл.-Михова, Б. Михов.)

От средата на XX век са известни променливости налъчението от “ядрата” на множество галактики, включително в радио-диапазона и в рентгенови лъчи. По-късно са открити и звездовидни обекти с такива характеристики, които се оказали много ярки ядра на далечни галактики. Тогава съществуването на черни дупки е изглеждало съмнително и не-обикновените променливи обекти били характеризирани съответно като

“активни галактични ядра“ или като “квазари“ (квази-звездни радио-източници). Днес е ясно, че това са прояви на масивни черни дупки. Често процесите в околността на централната черната дупка се наблюдават като ярко звездовидно ядро на галактиката, променливо във всички области на спектъра. По другите си параметри галактиките с активни ядра изглеждат съвсем обикновени (Фиг.9).

Ядрото на гигантската галактика М 104 (Фиг.8, в ляво), се отличава с висока и променлива рентгенова светимост, както и с изключително високи скорости на звездите в него. Съчетанието на тези крайно необичайни факти дава основание да се смята, че в центъра на М 104 има свръх-масивна черна дупка с маса около 1 млрд. слънчеви маси.

В галактиките има заподозрени и нецентрални черни дупки, с маси до няколко десетки слънчеви маси, които се смятат за крайни фази от еволюцията на най-масивните звезди. Обаче, свръх-масивните черни дупки в центровете на галактиките се смятат за първични, формирани в началния етап на еволюцията на Вселената. Централната свръх-масивна черна дупка в МП не е забележително “активна“ и нейното съществуване е било установено едва към края на XX век.

3. Централен звезден балдж или бар

Централната част на всяка масивна спирална галактика има висока яркост и червеникав цвят, които се дължат на висока концентрация на стари червени звезди. Ако тази част на галактиката има вид на сфероид, тя се нарича балдж, а ако е елипсовидна, тя се нарича бар. Галактиките с ясно изразен бар, като например NGC 1300 (Фиг.8, в дясно), са рядкост. Според класическата интерпретация на строежа на галактиките, балджовете на спиралните галактики са централните и най-концентрирани части на сфероидалните системи на тези галактики, а самите сфероидални системи са всъщност аналози на елиптичните галактики.

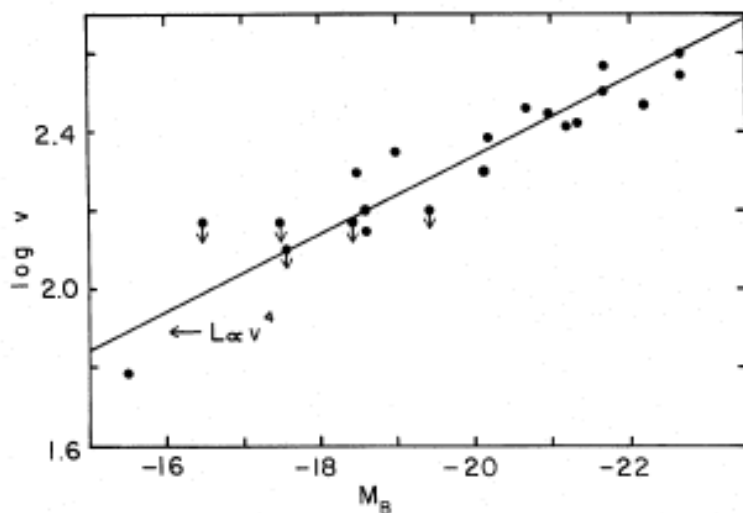
При големите галактики балджът или барът имат характерен размер 5-10 крс (15-30 хил. св.г.), но без ясно изразени граници. Звездната плътност на балджа или бара намалява приблизително експоненциално с разстоянието от центъра и преминава постепенно в хало. Металичността на звездното население на балджа е малко по-висока от тази на халото.

Според морфологичната класификация на галактиките, предложена от Хъбъл (1925) и допълнена от Жерар дьо Вокулъор (1957), за последователността от морфологични типове Sa, Sb, Sc, Sd, Sm (т.е. от ранни към късни типове спирални галактики), изявеността на балджовете (или баровете) намалява, а на дисковете се увеличава. При последния морфологичен тип, съответен на Магелановите облаци, има само намек за бар или балдж. В повечето случаи, както при галактиките М 31 и МП, баровете не са ясно изразени. В централните части на много галактики съществуват мини-барове и вътрешни пръстени, които, обаче, са извън темата на тази статия.

Поради високата си яркост елиптичните галактики, както и балджовете на спиралните галактики, са наблюдавани на космологични разстояния, а проблемът с разстоянията е най-тежкият в извънгалактичната

астрономия. За щастие, има независещи от разстоянието параметри (измерими признаци) на сфероидалните звездни системи, които корелират с масите, а следователно и със светимостите на галактиките. Такива са повърхностната яркост и цветовият индекс на балджа (B-V), измерими чрез фотометрия, както и дисперсията на скоростите на звездите в балджа (или елиптичната галактика) σ , измерима чрез спектрофотометрия. Тези параметри отразяват фактите, съответно, че колкото по-масивна е галактиката, толкова по-ярък и по-богат на стари червени звезди е нейният балдж и толкова по-високи са орбиталните скорости на звездите в балджа.

Най-важната от тези корелации е последната, известна като “зависимост на Фейбър-Джаксън” (Faber & Jackson 1976, Фиг.10, вляво). Тя позволява да се оцени истинската светимост на галактиката по наблюдаемата дисперсия на скоростите на сфероидалната звездна система. След това разстоянието се определя чрез разликата между истинската и наблюдаемата звездна величина на галактиката. Точността на този метод не е висока, около 20 % от разстоянието, но когато той бъде приложен за множество галактики, например за членове на куп от галактики, колективното разстояние се получава със задоволителна точност.



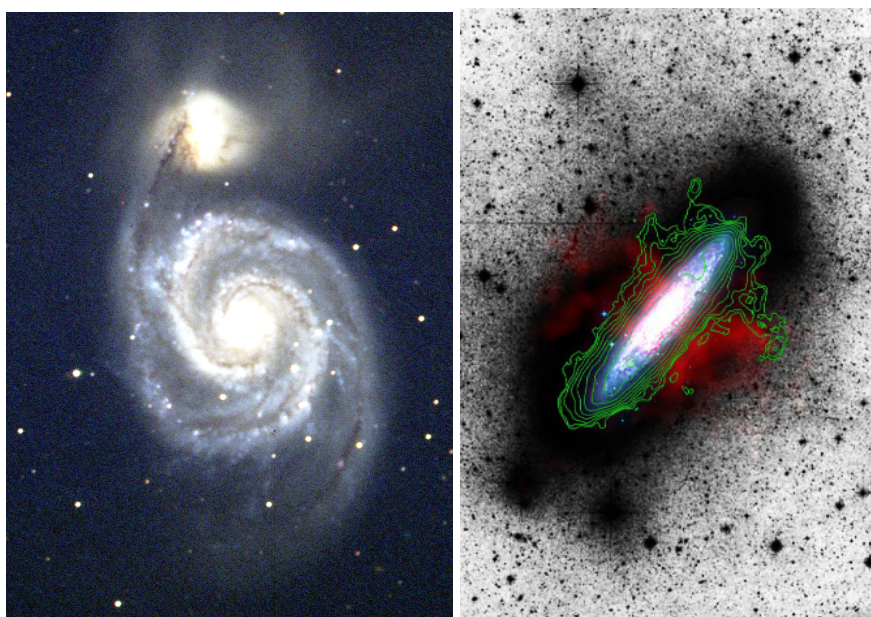
Фиг. 10. Зависимост на Фейбър-Джаксън: Корелация между светимостта на галактиката, изразена в абсолютни звездни величини и логаритъма от дисперсията на звездните скорости, изразени в km/s (Faber & Jackson 1976).

Според съвременните данни масите на балджовете корелират с масите на съдържащите се в тях свръх-масивни черни дупки. Обаче, още по-съвременните данни говорят неочаквано друго - балджът или барът може да се разглеждат и като образувания на диска (вж. II част на тази работа).

4. Сфероидално звездно хало

Нашата галактика, както и другите такива, притежава хало. То е едромасабна звездна компонента с форма на сфероид (ротационен елипсоид), с диаметър около 30 крс (около 100 000 св.г.). Халото може да се разглежда като пространствено продължение на балджа. В него преобладават стари, ниско-металични звезди. С отдалечаване от центъра звездната концентрация намалява експоненциално, а металичността на звездното население намалява не много, но забележимо.

Най-периферните области на галактиките имат много ниска звездна концентрация и съответно много ниска повърхностна яркост. Затова те са практически ненаблюдаеми над фона на нощното небе. Обаче, съвременните телескопи позволяват да се наблюдават и класифицират фотометрично отделни звезди от халата на близките галактики. При това такива звезди са откриват на ъглови разстояния няколко пъти по-големи от приетите “стандартни” радиуси на галактиките. Значи, звездните хала на галактиките следва да се смятат за няколко пъти по-големи в сравнение с досега приеманите размери.



Фиг. 11. Изявяване на обширни слабо светещи хала около спирални галактики. В ляво - при галактиката М 51, в Ловджийски кучета (2-м телескоп на НАО-Рожен, сн. Е.Овчаров, А.Вълчева). В дясно - при галактиката NGC 253 от близката група в Скулптор, където видимата на обикновените изображения ярка част от галактиката е показана в синьо и бяло, халото е показано в черно, неутралният водород - в зелено, а рентгеновото светене - в червено (1.22-м Шмид-телескоп на Англо-Австралийска обсерватория, сн. Дейвид Малин; вж. още <http://www.aao.gov.au/images/>).

Понякога халата са сравнително ярки. Така е при двойната галактика М 51 (“Водовъртеж”), където, обаче, повишената яркост на околността се смята за резултат от звездно население, “разпиляно” при взаимодействието на двете галактики (Фиг. 11, в ляво). Слабо светене на галактично хало е изявено в редки случаи чрез особено дълбоки фотографии (Фиг. 11, в дясно). А може би в такива случаи се наблюдава продължението на дебелия галактичен диск далече от централната ярка част на галактиката? За сега това не е ясно (вж. Статия 2).

В сфероидалната компонента на МП се намират около 150 кълбовидни звездни купа, като всеки от тях съдържа от няколко стотици хиляди до няколко милиона звезди. Предполага се, че във и зад балджа на МП може да има още няколко такива обекти, невидими от позицията на Слънцето в диска. В спиралните галактики броят на старите звездни купове е от няколко, при най-малките галактики, до няколко хиляди, при гигантските галактики, като напр. М 104 (Фиг. 8, в ляво). Някои съвременни изследвания сочат, че кълбовидните купове са именно фундаменталните, първични звездни аграгати в галактиките, а населението на халата се състои от звезди, които са се “изпарили” от кълбовидните купове.

5. Диск от газ, прах и млади звезди

Балджът или барът на всяка голяма спирална галактика, подобна на МП, изпъква съществено над фона на нощното небе и може да се наблюдава на пределни космологични разстояния. Следващият по забележителност компонент на такава галактика е дискът. Изучаването на звездния диск и спиралната структура на МП е силно затруднено от положението на Слънчевата система на само около 100 pc от равнината на диска, сред газово-прашната компонента на диска. На Фиг. 1 и Фиг. 6 се вижда как изглежда областта около центъра на МП, видима в направлението към съзвездие Стрелец и частично закрыта от газово-прашни облаци. Характерният диаметър на диска на МП е около 30 kpc (100 000 св.г.), а характерната дебелина - около 0.3 kpc (1000 св.г.).

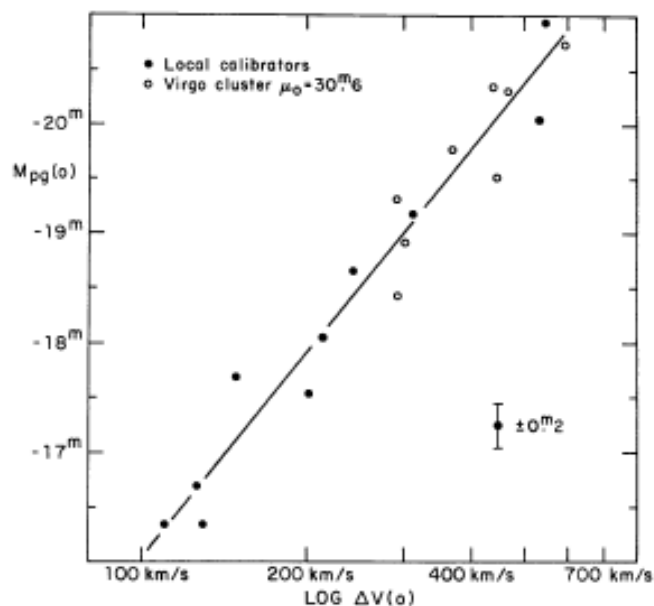
Неголемите “неправилни” галактики, подобни на Магелановите облаци, също имат звездни дискове. При тях липсва спирална структура, но се наблюдава активно звездообразуване. Тези галактики-джуджета са над десет пъти по-многобройни от средните и големите спирални галактики. Елиптичните галактики - гигантски, нормални и джуджета - нямат забележими звездни дискове.

На фиг. 6, в ляво, най-впечатляващият детайл в галактиката М 104 е тъмният пръстен с увеличаваща се към периферията му дебелина, показващ къде има е най-висока концентрация на газ и прах. Този газово-прашен диск изпъква толкова ясно, понеже е достатъчно плътен, а и фонът зад него е достатъчно ярък. Преобладаващата част от междוזвездния прах и газ на всяка спирална галактика, както и на М 104, е концентрирана в равнината на звездния диск. Инфрачервената спектроскопия показва, че в газово-прашния пръстен на М 104 продължава мощно активно звездообразуване (Bendo et al. 2006)

По принцип дисковете на спиралните галактики и на МП се характеризират с висока концентрация на газ, прах и млади звезди. Газът съ-

държа по маса около 80 % водород, който пребивава в три състояния - молекулярно, атомарно и йонизирано. Газът присъства най-вече в равнината на диска, където има и значителна фракция на горещи и сравнително високо-металични звёзди, с възрасти до 1-2 млрд. г. Звездите в диска обикалят центъра на МП приблизително съместно, кръгово и копланарно. Така за разлика от халото, където звездните орбити и скорости са хаотични, дискът се върти диференциално, в смисъл, че скоростите на звездите намаляват системно с отдалечаване от центъра.

При спиралните галактики от късни типове, напр. М 33 и М 101, дискът се проследява до центъра на галактиката и може да се оприличи по форма на спортния уред "диск". При по-ранните спирални галактики, включително МП, М 31 и М 104, дискът е по-скоро пръстеновиден. Дупката в центъра на диска, където доминира балджът, е с диаметър до няколко крс.



Фиг. 12. Зависимост на Тули-Фишер: Корелация между ширината на радио-линията HI, изразена в km/s и светимостта на галактиката, изразена в абсолютни звездни величини (Tully & Fisher, 1977).

Дискът също има наблюдаеми и независещи от разстоянието параметри, които корелират с масата, а следователно и със светимостта на галактиката. Такива са амплитудата на кривата на въртене на диска, измерима чрез спектро-фотометрия и ширината на спектралната линия HI на неутралния водород, измерима чрез радио-наблюдения с дължина на вълната 21 cm. Тези корелации са известни като "зависимости на Тули-Фишер" и позволяват оценяване на разстоянието с точност около 15 % от разстоянието до галактиката (Tully & Fisher, 1977; Фиг.12)

6. Спирална структура

Индивидуалните разстояния до звездите могат да бъдат определени в редки случаи. Затова изучаването на спиралната структура на МП от позицията на Слънчевата система вътре в диска е сложна задача. Като индикатори на спирална структура обикновено се използват облаците от йонизиран водород и асоциациите от млади горещи звезди.

Сред съвременните резултати в тази област следва да се изтъкне изменението на интензитета на лъчението от неутралния и йонизиран водород по галактическия екватор в зависимост от галактичната дължина (Steiman-Cameron et al, 2010; Фиг.13, в ляво). Силното радио-излъчване в спектралните линии на [CII] при $158 \mu m$ и на [NII] при $205 \mu m$ индикира местата на HII областите, разположени в вътрешните фронтовете на спиралните ръкави. Така съвременните радио-наблюдения в суб-милиметровия диапазон показват, че МП има четири-ръкавна спирална структура от логаритмичен тип, както е показано на фиг.13, в ляво.

Истинската картина на спиралната структура вероятно не е така правилна и проста. На фиг.13, в дясно, е показан опит за съгласуване на гладки спирални ръкави с други индикатори на спирална структура. Вижда се, че съществува известно съответствие.

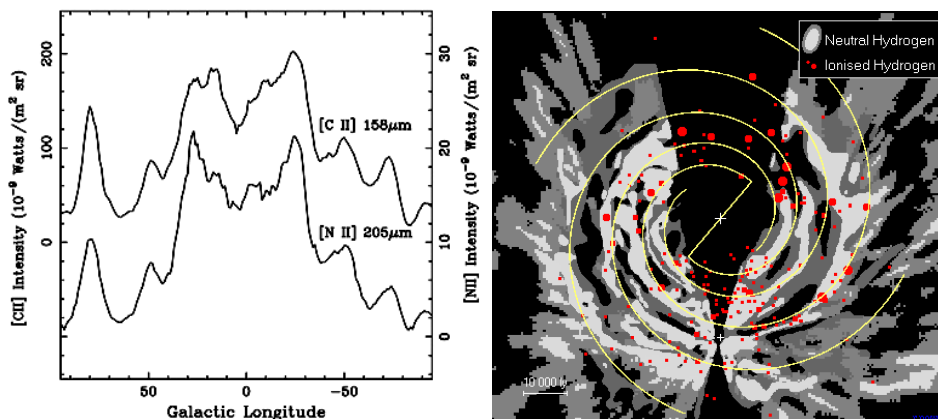
И така, според предполагаемия си външен вид нашата Галактика, МП, се класифицира като средна по параметрите си, голяма спирална галактика, от морфологичен тип SBc. Тук "S" означава, че тя е спирална, "B" - че има с бар в центъра, а "c" - че има средно развити (средно ярки и средно отворени) спирални ръкави. Спиралните галактики от по-ранен тип, "b" или "a", имат по-ярки и по-силно завити спирали. Спиралите от по-късен тип, означавани с "d" имат по-бледи и по-слабо завити спирални ръкави. Типът "m" съответства на Магелановите облаци. При Големия магеланов облак има намек за спирална структура.

Спиралните ръкави в големите дискови галактики са логаритмични по форма и изоставащи (завиващи се) по тип. В множество изследвания те се разглеждат като резултат от действието на спирална вълна на плътността (СВП) в равнината на диска. Последната, която при МП изглежда е четири-ръкавна, се върти твърдотелно, т.е. с не зависеща от разстоянието ъглова скорост. Обаче, населението на диска се върти диференциално, с линейна скорост, която намалява с разстоянието от центъра на МП.

Следователно, недалеч от центъра междузвездната среда от диска изпреварва СВП, втичайки се с висока скорост във вътрешната, вдлъбната страна на спиралния ръкав. Така там, теоретично, се създават условия за свръхзвукови акустични вълни, които предизвикват сгъстяване на междузвездната среда и предпоставят условия за звездообразуване. Това, изглежда, се наблюдава при някои галактики. Наличието на повишена концентрация на млади горещи звезди във вътрешните части на спирални ръкави при галактиката М 31 е установено за първи път по фотографии с 2-м телескоп на НАО Рожен (Efremov et al. 1987).

Обратно, далеч от центъра междузвездната среда от диска изостава спрямо СВП, втичайки се с висока скорост във външната, изпъкнала страна на спиралния ръкав. Там, теоретично, също следва да има условия за звездообразуване. Обаче, такова отсъства или е съвсем слабо. Обясне-

нието е, че междувездната среда там е недостатъчно плътна. Фактически, след радиуса на коротация, там където местните орбитални скорости на обектите от диска и на СВП приблизително съвпадат, спиралните ръкави бързо избледняват и свършват.



Фиг. 13. В ляво: Ход на интензитета на спектралните линии [CII] 158 мик и [NII] 205 мик по галактична дължина (по Steiman-Cameron et al, 2010); В дясно: Схема на съответната четири-ръкавна спирална структура на МП, наложена върху карта на концентрацията на неутрاليا водород (полутонове) и областите йонизиран водород (червени кръгчета). Кръстчето в средата на долната част на картината показва мястото на Слънцето. (<http://www.atlasoftheuniverse.com/milkyway.html>)

Предполага се, че при евентуално преминаване на Слънчевата система през газово-прашни облаци, съгъстени от СВП, на Земята би настъпвал продължителен студен период, застрашаващ съществуването на живота. Обаче, Слънчевата система се оказва разположена крайно благоприятно в зоната на коротация и между два спирални ръкави. Все пак, преминавания през спирални ръкави, може би, са се състояли, но поради малката разлика между скоростите на Слънчевата система и СВП, те може да са били продължителни и “спокойни”. А може би напротив? Няма достатъчно данни.

Днес спиралните структури на галактиките се онагледяват многоцветно и впечатляващо, както на илюстрациите в тази статия. Обаче фотометрията показва, че добре изявените, ярки спирални ръкави, в лъчението на които доминират млади горещи звезди, изпъкват над околността си с повишена яркост до около 20 % в ултравиолетови лъчи (около 380 nm) и до около 5% в инфрачервени лъчи (около 800 nm). С други думи, спиралните структури не са толкова фундаментални образувания, колкото изглеждат.

Ярките и сравнително правилни спирални ръкави, както при М 51 (Фиг.11, в ляво) наричани “гранд дизайн” са рядкост. Често се наблюдават големи неправилни и не особено ярки сегменти от спирални ръкави, както при М 101, М 31 и М 33 (Фиг.2, в ляво, Фиг.4). Те все още могат да бъдат асоциирани с фрагменти от СПВ. Обаче нерядко се наблюдават и

съвсем разпокъсани, флокулентни (т.е. “парцаливи“) спирални структури, както при М 63 (Фиг.5, в ляво). В тези случаи се подозира, че множеството дългообразни сегменти се дължат на локални звездообразувания, причинени, например, от избухвания на свръхнови звезди и последващо разтягане на получените звездни облаци под действието на диференциалното въртене на диска.

Пълното обяснение на спиралните структури при галактиките продължава да бъде сериозно предизвикателство пред науката.

Благодарности

Авторите изказват голяма благодарност за цветните снимки от Националната астрономическа обсерватория на вр. Рожен, подготвени най-вече от Пенчо Маркишки, Бойко Михов и Евгени Овчаров.

Литература

- Abell G., 1969, *Exploration of the Universe*, 2nd edition, Holt, Rinehart and Winson, New York
- Bendo G.J., Buckalew L.A., Dale D.A., et al 2006 . *Astrophys. J.* 645, 134
- Binney J., Merrifield M., 1998, *Galactic Astronomy*, Princeton Serries in Astrophysics
- Concejo J., Stanchev O., Georgiev Ts., 2012, *Bulg. Astron. J. S. S.*, V.1 (in print)
- www.astro.bas.bg/AIJ; Paper 2
- Efremov Iu.V., Ivanov G.R., Nikolov N.S., 1987, *Astrophys. Sp. Sci.* 135, 119
- Faber S.M., Jackson R.E., 1976, *Astrophys. J.* 204, 668
- Karttunen H., Kroger P., Oja H., Poutanen M., Donner K.J., 2003, *Fundamental Astronomy*, 4th edition, Springer
- McMillan P.J., 2011 *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 418, 1565
- Steiman-Cameron T.Y., Wolfire M., Hollenbach D., 2010, *Astrophys. J.* 722, 1450
- Schneider P., 2006, *Extragalactic Astronomy and Cosmology*, Springer
- Tully R.B., Fisher J.R., 1977, *Astron. Astrophys.* 54, 661