

## НАО „Рожен“ и изследване на галактики – 30 плодотворни години

Георги Петров

Изследването на галактиките и системите от галактики е традиционно за Института по Астрономия с НАО на БАН и Катедрата по астрономия на СУ. Използува се основно двуметровият телескоп на НАО-Рожен и целият комплекс от прилежаща към него апаратура – CCD камера с UBVR<sub>I</sub> филтри, спектрограф UAGS с комплект решетки, осигуряващи обратни дисперсии 50, 100 и 200 Å/мм и фокален редуктор **FoReRo** с възможност за използване на гризма. Разбира се, за голяма част от задачите се ползват и двата 60-см телескопи – в Белоградчик и в НАО и Шмидт-телескопа в НАО. Става дума за широкомащабно фотометрично, спектроскопично и спектрофотометрично изследване на емисионни галактики, галактики с активни ядра, квазари и звездни купове и асоциации в близките галактики. Използва се възможността комплексът от уникална научна апаратура да се използва по единна методика, което очевидно дава възможност да се получат вътрешно съгласувани наблюдателни данни за изследваните обекти.

Обект на изследването в извънгалактичната астрономия е Вселената и подструктурите ѝ – галактики и системи от галактики. Изучават се химическият състав и физическите процеси в галактиките и системите от галактики.

Провеждат се систематични изследвания по фотометрия и повърхностна фотометрия на нормални и активни галактики и галактики в празнини (Voids).

Изучават се профилите на дисковете на галактиките, процесите на звездообразуване и структурата на нашата и близките галактики.

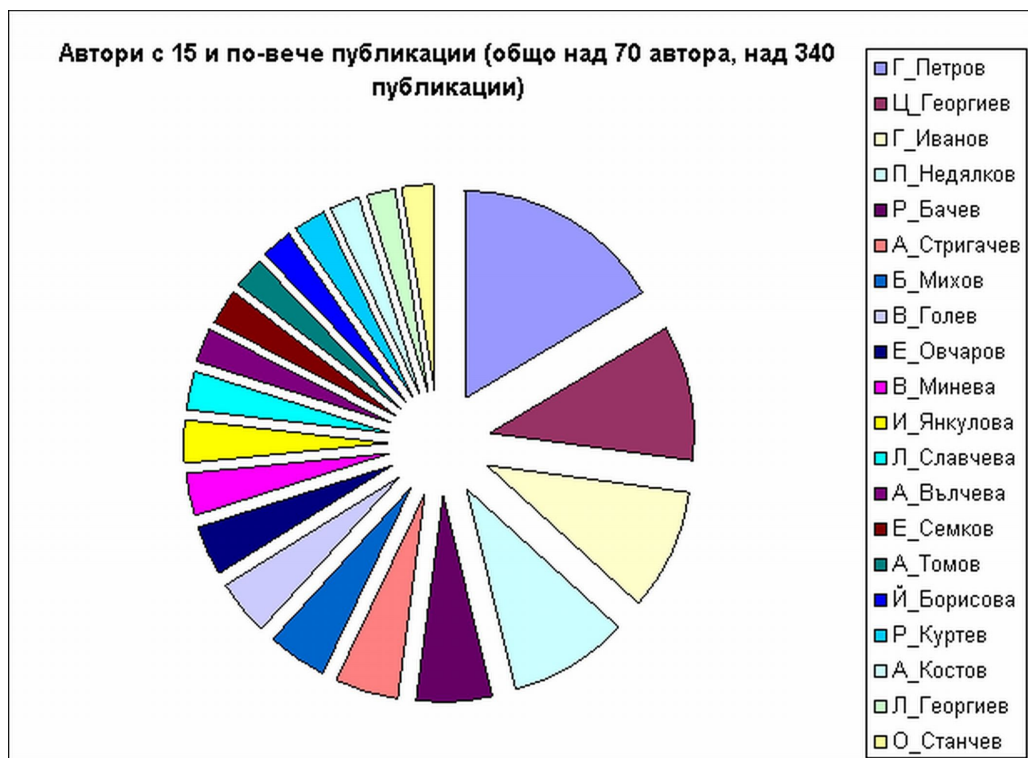
Изследват се звездни купове и асоциации в близките галактики. Търсят се свръхнови, нови и променливи звезди в галактиките Андромеда, М33, М51, М81 и др.

Изследват се системи - двойки, групи, купове и свръхкупове от галактики, празнини и други елементи на крупномащабната структура на Вселената.

Изминалите 30 години от пускането на Националната астрономична обсерватория в редовна експлоатация естествено изместиха центъра на тежестта на извънгалактичните изследвания към наблюдателната астрофизика. В този сравнително пълен обзор ще се спрем на достиженията на българската астрономия в областта главно на наблюдателната извънгалактична астрономия – т.с. работи в по-голямата си част основани или косвено свързани с Националната астрономична обсерватория. Няма да разглеждаме работите по изучаване на физическите условия в ранната Вселена или теоретичните работи по крупномащабна структура на Вселената. Те ще бъдат основа за друг обзор.

През изминалите години в България наистина беше създадена сериозна школа по извънгалактична астрономия – защитени за 16 дипломни работи (Мима Томова — 1981, Димитър Димитров — 1996, Радостина Ташева — 1984, Люба Славчева — 1996, Калинка Величкова - 1988, Мариела Пешева — 1997, Ваня Заманова — 1990, Росица Иванова — 1997, Евилина Мичева - 1991, Екатерина Георгиева - 1998, Ивайло Петров — 1994, Венцислав Димитров — 2000, Румен Бачев — 1994, Нина Колева — 2003, Олег Василев — 1995, Мина Колева – 2004, Бранко Такиев — 1996, Николай Каравасилев - 2010), обучавани са 15 докторанти и са защитени 15 докторски дисертации (Румен Бачев, Боряна Ефремова, Валери Голев, Мина Колева, Бойко Михов, Евгени Овчаров, Петър Песев, Георги Петров, Васил Попов, Люба Славчева, Александър Томов, Златан Цветанов, Иван Вълчанов, Антония Вълчева, Иванка Янкулова).

За разглеждания период са публикувани над 340 научни статии с общо около 70 български автора, голяма част от тях в престижни международни издания. Илюстрация на публикационната активност е представена на **фиг.1**. Представени са 20 автори с 15 и по-вече публикации за разглеждания период. Пълният списък на публикациите може да бъде намерен на WEB-страницата на отдел „Галактики“ на ИА с НАО – <http://www.astro.bas.bg/galaxies/>.



Титулната WEB-страница на отдела е показана на **фиг.2**. Както се вижда, основните направления в изследванията са: електрофотометрия на двойни и тройни галактики, морфология, спектрални и спектрофотометрични изследвания, детайлно изучаване на близки галактики, спирална структура на галактиките, квазари и активни галактики, гравитационни лещи, галактики в празнини и купове от галактики.

На **фиг.2** е показана част от приемната наблюдателна апаратура – касети за плаки, ССД-камери, спектрограф УАГС и камерата с външен фокус към този спектрограф.



По-долу са представени резултатите от по-вече от 30-годишните изследвания на българските астрономи в областта на извънгактичната астрономия.

## **1. Астрофизика на газовите мъглявини**

Определено е съдържанието на някои йони ( $\text{He}^+$ ;  $\text{O}^+$ ;  $\text{N}^+$ ;  $\text{S}^+$  и др.) в 50 дифузни мъглявини в нашата Галактика и в 45 дифузни мъглявини в близките галактики. Физическите условия и химическия състав са определени и за 114 ядрени III области, в това число в 14 аракеянови галактики, 31 галактики на Маркарян и 40 близки NGC галактики.

## **2. Кинематика и динамика на звездни системи**

Изследвани са кривите на въртене и са определени параметрите на газовата съставляща и масите на галактиките NGC 1084, 5879, 6503, 7339, 7537. Определени са масите и моментите на въртене на 47 Seyfert X-ray галактики, 84 Маркарянови и 13 нормални галактики. Определени са и зависимостите “Относителен момент – маса” и “Абсолютна звездна величина – максимална скорост на въртене” за 160 активни галактики.

## **3. Електрофотометрия на двойни и тройни галактики**

Проведена е U, B, V фотометрия за около 200 двойни и тройни галактики. Оценено е поведението им върху двуцветната диаграма. Определени са повърхностните яркости и диаметрите за 75 двойни и 15 тройни системи.

## **4. Изследване на звездни комплекси и асоциации в близките галактики**

Изследват се звездни комплекси и асоциации в *галактиката M33*. Изследвано е разпределението на червените свръхгиганти в галактиката. Проведена е B и V\_фотометрия на около 3500 и U\_фотометрия за 2500 млади звезди. Определена е възрастта на различните звездни населения. По данните за 65000 звезди е съставен каталог на сините и червените свръхгиганти. Предложен е каталог на 481x OB асоциации с над 3500 сини звезди с висока светимост. Показано е, че около 200 III области съществуват к OB асоциациите в M33. Проведена е UVB\_фотометрия на 105 ярки звезди и U\_фотометрия на 36 от тях. По 54 асоциации са определени позиционният ъгъл и наклонът на галактиката. Установена е активност в ядрото на галактиката, дължаща се на засилено звездообразуване.

Проведена е U\_фотометрия за 1500 млади звезди в *галактиката IC 1613*. Определена е възрастта на различните звездни населения. Търсени са звездни купове в галактиката.

Съставен е каталог на 180 звездни асоциации в *галактиката M81*. Провеждана е тесноивична фотометрия на галактики от групата на M81 за търсене на остатъци от свръхнови. Такива не са намерени, но са каталогизирани много обекти, вероятни III области. Доказано е съществуването на обширна емисионна газова структура в околоядрената област на галактиката M81, която в линията [OIII] има несиметрична морфология.

Каталогизирани са най-ярките сини и червени звезди в *галактиката M31* – Андромеда. Установено е наличието на градиент на повърхностната яркост по спиралния ръкав S4 и са локализирани няколко OB\_асоциации. Разпределението им по спиралния ръкав може да се опише с очакваното за спирална вълна на плътността. Намерени са 210 реални O\_асоциации, повечето от които са локализирани в звездни комплекси. Проведена е UVBI-фотометрия на 521 звезди в спиралния ръкав S5. Повежда се мониторинг за търсене на нови в галактиката M31. Докладвана е фотометрия и астрометрия за 4 новооткрити нови. Проведена е BVRI фотометрия на около 100 ярки обекта в ядрената област на M31. Определяне на свойствата на диска, началната функция на масите и екстинкцията в галактиката. Изследване на източници на меко рентгеново лъчение в M31. Изследвано е разпределението на ярките звезди и III областите. Определено е отношението газ/прах и са получени оценки за оптичката плътност на диска на галактиката M31 в Андромеда .

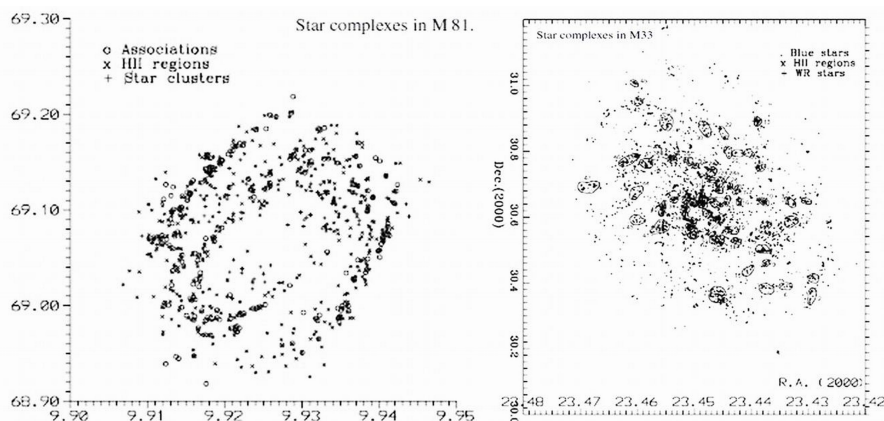
Получен е наклонът на началната функция на масите и кривата на екстинкцията за *Големия Магеланов Облак*.

Проведена е CCD - фотометрия на ярки звезди в 10 близки галактики и в *ирегулярното*

## джудже Но IX.

Подробно са изследвани и галактиките IC 10, IC 1613, NGC 4236, NGC 4429. Изучено е взаимодействието между звездите и газа в неправилните галактики и влиянието на масивните звезди върху междузвездната среда.

Установено е наличието на богато население на въглеродни звезди в галактиката-джудже WLM (Wolf-Lundmark-Melotte). Проведена е Js,Ks – фотометрия на над 550 звезди в галактиката WLM. Определено е отношението на броя на звездите, богати на въглерод към тези, богати на кислород, мащабната дължина на диска, отношението газ/прах и “истинския” модул на разстоянието за галактиката WLM.

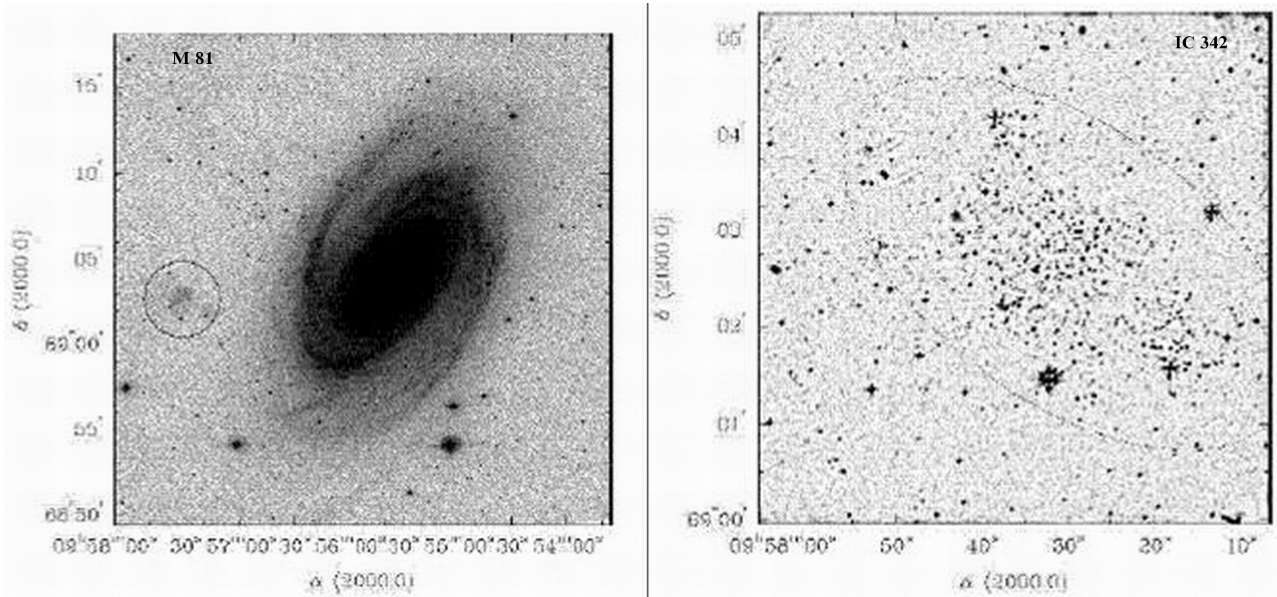


На **фиг.3** е показано разпределението на звездните комплекти и областите HII в галактиките M33 и M81 по данни на Г. Иванов и съавтори.

### 5. Повърхностна фотометрия на близки галактики

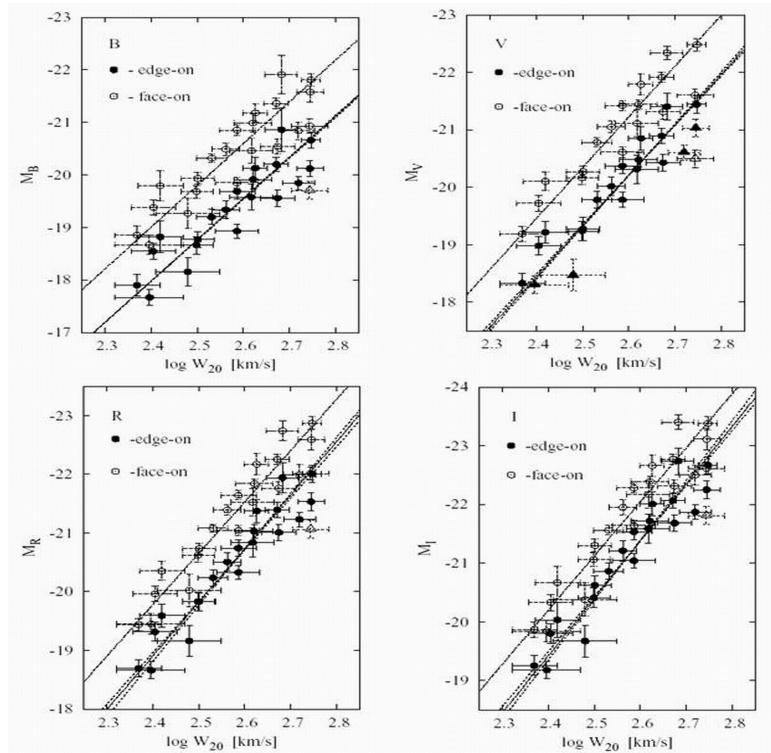
По микрофотометрия на плаки от Шмид-телескопа и 2 м телескоп на НАО са определени асиметрията на яркостните профили на спиралните ръкави на галактиката M 31, представена е едромасщабна многоцветна фотометрия и свидетелства за двуръкавна спирална структура. Проведена е повърхностна фотометрия на други близки галактики. Изявени са слабосветеци образувания сред галактиките от групата M81. При галактиката M 51 е построена функция на светимостта на кандидатите за звездни асоциации и чрез сравнение с тази на M 33 е оценен модула на разстоянието до M 51. Изследванията на профилите на спирални галактики видими “на ребро” показват, че 2/3 от наблюдаемите профили на големите оси на галактиките са силно изпъкнали. Установено е, че радиалният яркостен профил е приблизително експоненциално намаляващ само при късните спирали и при неправилните дискови системи. Към по-ранните спирали дисковият профил става все по-изпъкнал.

На **фиг.4** е представена илюстрация на разделената на звезди галактика-джудже IC 342 по работите на Цв. Георгиев и съавтори.



## 6. Мащабни зависимости и разстояния до галактиките

Показано е, че светимостите и размерите на големите спирални галактики, видими “на ребро”, се разполагат на диаграмите на Тули-Фишер със сравнително малка дисперсия и дават уверена независима оценка на параметъра на Хъбъл. Изследвани са по данни от литературата около 150 галактики “на ребро” и около 110 галактики с различни наклони към лъча на зрение. На *fig.5* е представена илюстрация на горните зависимости по работи на О. Станчев и съавтори. Работи се и по определяне на фундаменталната равнина в пространството на основните параметри (маса, светимост, размер) при спиралните галактики.



## 7. Строеж и еволюция на нормални и активни галактики:

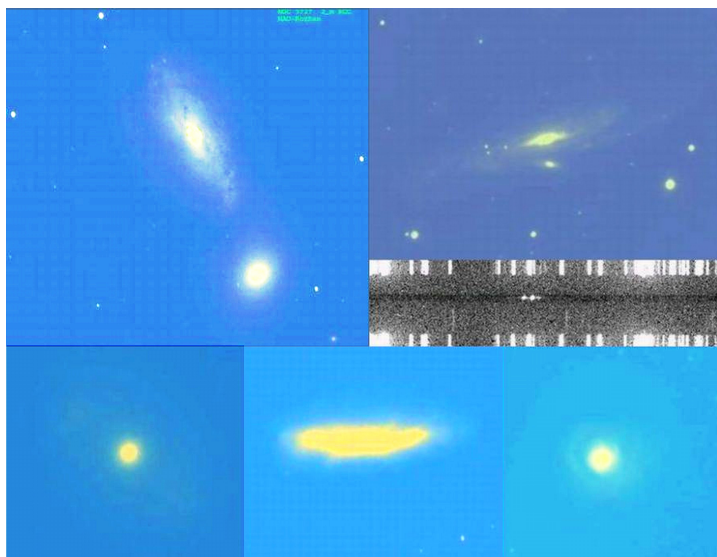
Извършена е детайлна морфологична параметризация на извадка от 35 Сейфертови галактики и на съответна извадка от нормални галактики. Получени са редица фотометрични и геометрични параметри, характеризиращи галактиките, както и параметрите на баровете в

галактиките, имащи такива. Изявени са нови морфологични структури при част от галактиките, като по този начин е уточнена тяхната морфологична класификация. Изследвана е и близката околност на галактиките. Получените резултати свидетелстват, че захванването на Сейфертовите ядра с газ не е в пряка връзка с едромасщабната морфология на галактиките и с наличието на галактика-спътник. Извършена е едномерна структурна декомпозиция на 5 Сейфертовите галактики, като са определени параметрите, характеризиращи разпределението на повърхностната яркост в родителските галактики. Декомпозицията е извършена с помощта на авторски софтуер.

### 8. Активни ядра на галактики

Определени са съдържанието на йоните и химическия състав в ядрата на 36 СГ тип1, 5 радиогалактики с широки линии, 23 СГ тип2 и 16 радиогалактики с тесни линии. Подробно са изследвани физическите условия и химическия състав в ядрата на активните галактики Марк 313, 531, 534, 609, III Zw 103, NGC 7469 и др. Проведена е фотометрия и повърхностна фотометрия на галактиките Арак 564, Марк 335, 506, 509, NGC 1275, 6764, 7469, III Zw 2 и за някои от тях е направена декомпозиция на профилите на емисионните линии. Определени са над 100 НII области в галактиката NGC 6764.

Изследвани са 98 сейфертови и рентгенови галактики и е показано, че при 50 % от тях акрецията на газ върху централна черна дупка е най-вероятен източник на енергия за активните извънгалактични обекти. Оценена е масата на черната дупка и темповете на акреция в светлината на обединения модел. Предложена е и наблюдателна програма за извънгалактични рентгенови източници. **Фиг.6** е илюстрация на изявяването на слаби структури в ядрените и дисковите области на някои сейфертови галактики, както и между галактиката и нейн спътник. Показан е и спектърът на NGC 7469 в областта на линията H $\alpha$ .



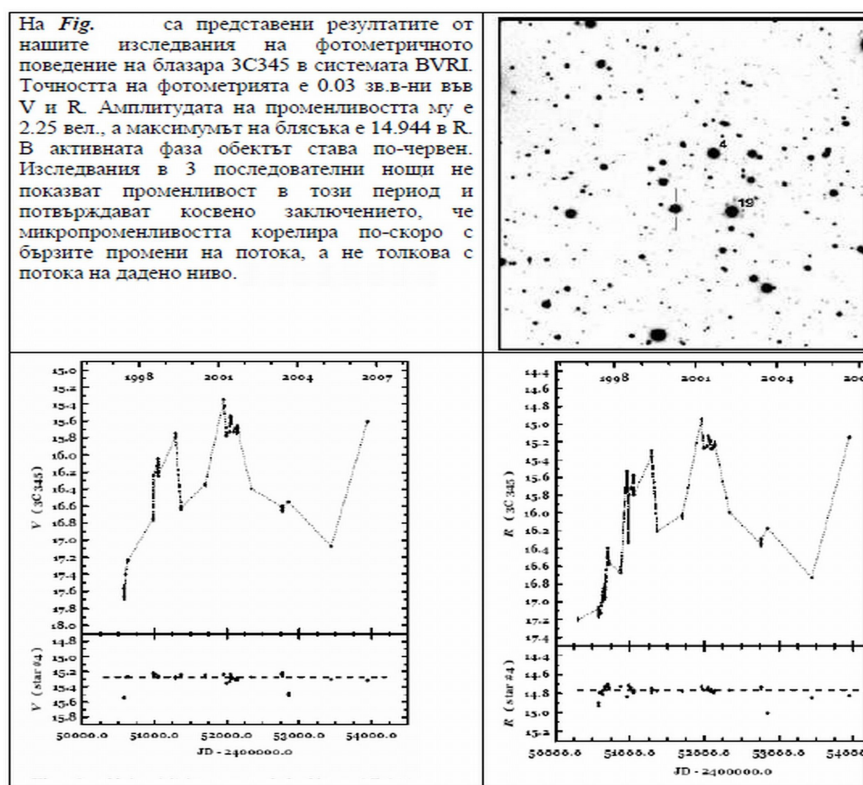
Изследвана е потенциалната възможност близки спътници на активните галактики да са причина за тяхната активност. Построена е извадка от 104 сейфертови галактики и 138 контролни галактики от полето.

Оптическата променливост на избрани активни галактични ядра (квазари) се изследва повече от 10 години, основно на 60см телескоп на АО Белоградчик. Докато на дълговременни скали всички обекти показват някаква променливост, на кратковременни скали (в рамките на няколко часа) такива промени като правило не се наблюдават при т. нар. радио-слаби обекти.

Най-детайлно е изследвана оптическата променливост на Марк 279, където е вероятното съществуване на различни режими на работа на акреционния диск, необходими за обяснението на цветовете изменения на този обект. На базата на данни от литературата е показано, че съществува закъснение на кривите на блясъка в различни цветове. То е близко

до очакваното, ако измененията в оптиката се дължат на променливо високоенергетично лъчение от центъра, което се поглъща и преизлъчва от по-външните части на акреционния диск.

Систематично се провежда фотометричен мониторинг на избрани квазари и блазари - участие в Международната програма за мониторинг на блазари - WEBT, имаща за цел получаването на криви на блясъка на блазари с добро покритие по време. Изследват се основно т. нар. блазари – подклас активни галактични ядра, отличаващи се със силна променливост в целия диапазон на електромагнитния спектър. На **фиг.7** са представени кривите на блясъка на блазара 3с345 в цветовете V и R.



Изследват се характеристиките на променливостта на радио-тихи активни галактични ядра в различни времеви скали – от променливост в рамките на една нощ до променливост в рамките на години.

На базата на архивни спектри от космическия телескоп Хъбъл е анализиран профила на ултравиолетовата линия CIV 1549 за ок. 150 обекта. Показано е, че измененията на профила (основно изместване към синята област) до голяма степен се обуславят от изменението на темпа на акреция. Определени са собствени вектори за над 200 обекта. Показано е, че вероятно основният собствен вектор е свързан най-вече с темпа на акреция, т.е. темпът на акреция основно обуславя различията в наблюдаемите характеристики на квазарите.

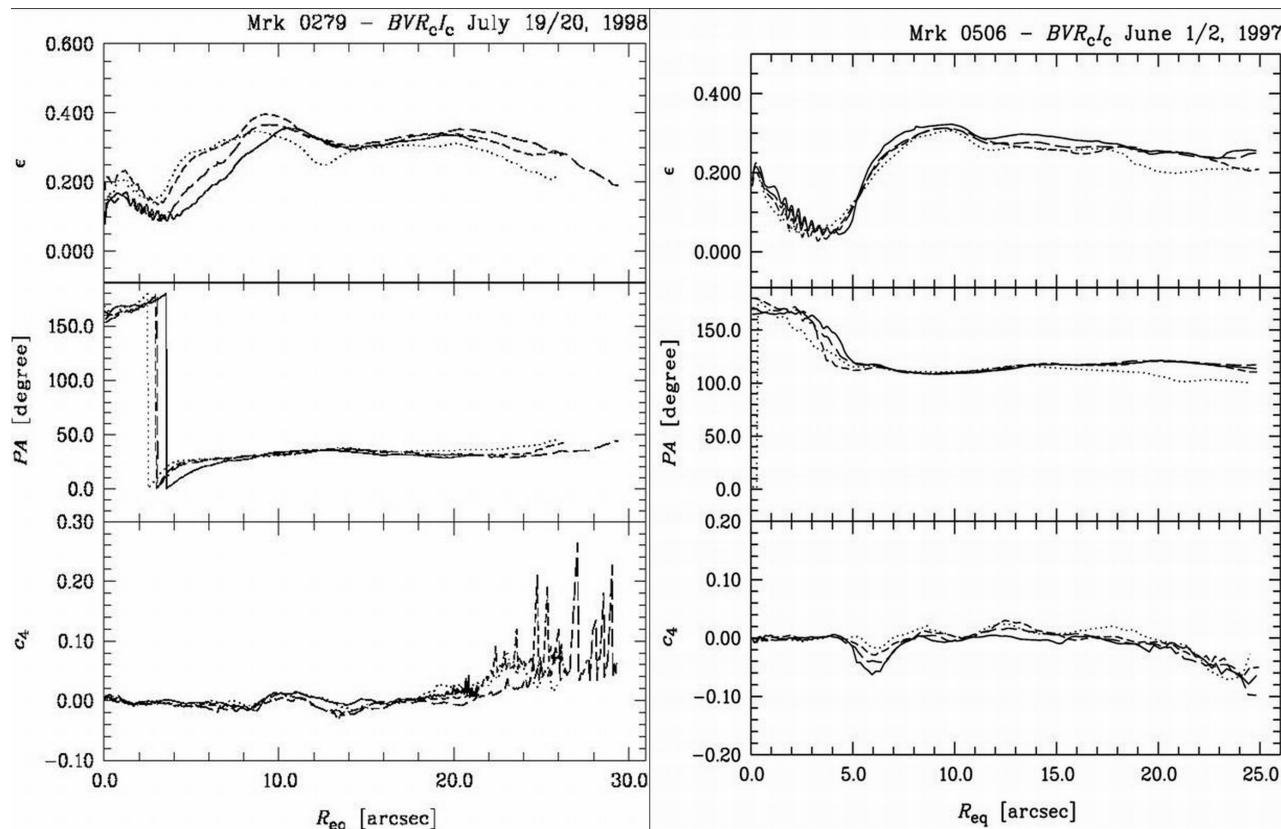
По наблюдения от обсерваториите Рожен и Скинакас - Гърция, са получени и анализирани спектри на ярки, но не добре изследвани квазари, за които са определени масите на централните им черни дупки и темповете на акреция.

Потвърдено е наличието на околядрена емисионна област в галактиката Марк 620. Проведена е тесноивична фотометрия на галактиката NGC 3516. Потвърдена е Z-образната структура на излъчващия газ в обширната област на емисионните линии (EELR). Потвърдено е наличието на област на коронална емисия по наличието на линията на [FeVII]. Проведено е изследване на сейффертовата галактика от тип 2 - NGC 2273 с помощта на интерферометър на Фабри-Перо.

Проведено е спектрофотометрично изследване на галактиката Марк 817. Не е потвърдено наличието на слаб мост между галактиката Марк 1040 и нейния спътник LEDA 212995.

Определени са масите на черните дупки в извадка от SDSS квазари.

На **фиг.8** са представени резултати от повърхностната фотометрия на 2 сейфертови галактики по данни на Л. Славчева- Михова и съавтори.



### 9. HSBG – спектрофотометрия, функция на светимост

Направено е пълно спектрофотометрично изследване на галактиките Арак 144 и Арак 583. Определена е пространствената плътност и е построена диаграма на Хъбъл за 247 аракеянови галактики. Последната е сравнена с тази за 156 сейфертови галактики и е установена пълна аналогия в хода на двете зависимости. Построена е функцията на светимост за 284 аракеянови галактики с известни лъчеви скорости.

Проведено е спектроскопично изследване на 22 аракеянови галактики и морфологично такова за галактиките Арак 26, 27, 28, 31, 32, 79 и 144. Определени са лъчевите скорости на 12 аракеянови галактики.

Предложен е списък с нови 47 галактики с висока повърхностна яркост в системата на Нилсън. Намерени са 93 обекта с висока повърхностна яркост сред нормалните галактики с определени червени отмествания в Center for Astrophysics.

### 10. Химически състав на мъглявини и галактики с емисионни линии

Определени са съдържанието на някои йони и химическия състав на 49 галактики с емисионни линии. Подробно са изследвани галактиките NGC 3690 + IC 694 (Марк 171 а,б), NGC 5929, 5879, Марк 558 и др. Определени са физическите условия и химическия състав на 31 галактики от списъка на двойни галактики на Караченцев.

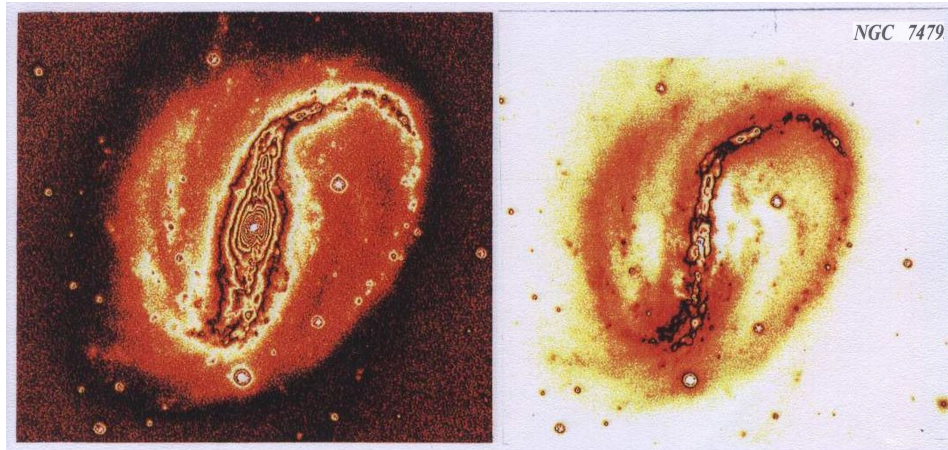
### 11. Звездообразуване и IR параметри

Изследван е темпът на звездообразуване в 182 галактики с висока повърхностна яркост (ГВПЯ). Установено е, че той е 10-30 пъти по-висок от този за нормалните галактики. Температурата на праха е около 50 градуса. Изследвано е звездообразуването за 640



маркарянови галактики по данни на IRAS. Показано е, че по своите ИЧ характеристики (температура на звездообразуване и др.) Маркаряновите галактики и ГВПЯ са по-близко до активните, отколкото до нормалните галактики. Наличието на бар при «неактивните» маркарянови галактики не води до по-висока активност в инфрачервената област. Звездообразуването при двойните галактики на Караченцев е по-ниско и е сравнимо с това на ярките спирални галактики от купа Дева (които могат да се разглеждат като стандарт).

На **фиг.9** са показани областите на звездообразуване в галактиката NGC 7479.

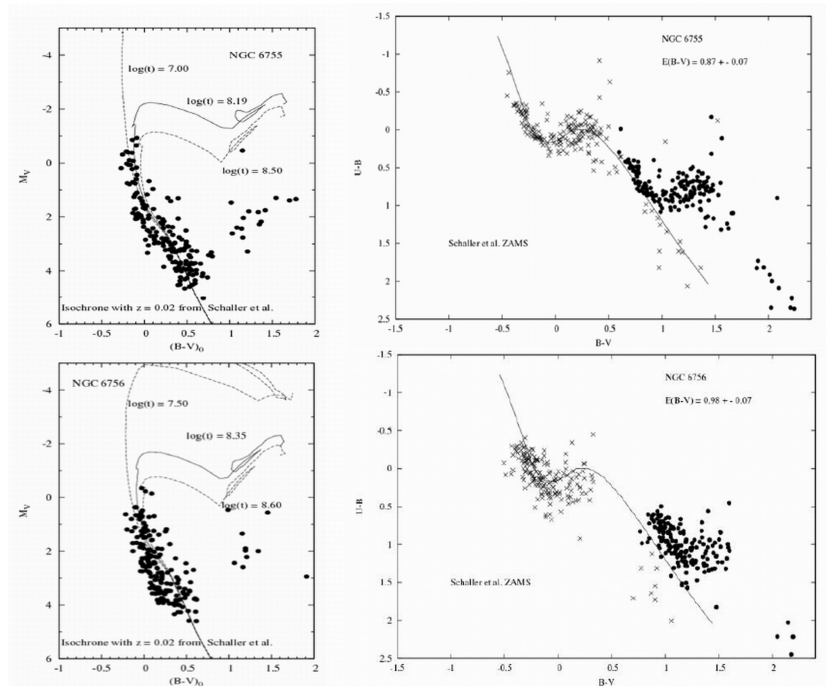


### **12. Разсеяни и сферични звездни купове**

Получени са наблюдателни данни за 30 разсеяни купа – 7 ярки купа, 7 купа в посока на антицентъра за изследване на спиралната структура на Галактиката и 16 вероятни двойни разсеяни купове (8 двойки). Разширена е последователността на стандартните звезди в разсеяния куп NGC 7790 в цвят U и I. Определена е възрастта на куповете King 14, NGC 146, NGC 2383, NGC 2384, Pismis 6 and Pismis 8. Проведена е BV фотометрия и е определена възрастта на вероятния двоен куп NGC 7031/NGC 7086 и UBVRi фотометрия и е определена възрастта на вероятния двоен куп NGC 6755/NGC 6756. На базата на нашите данни двойствеността им не е окончателно потвърдена.

Изследвана е елиптичността и морфологията на сферичните звездни купове в галактиката Андромеда. Проведено е систематично търсене на звездни купове в галактиките NGC 4236.

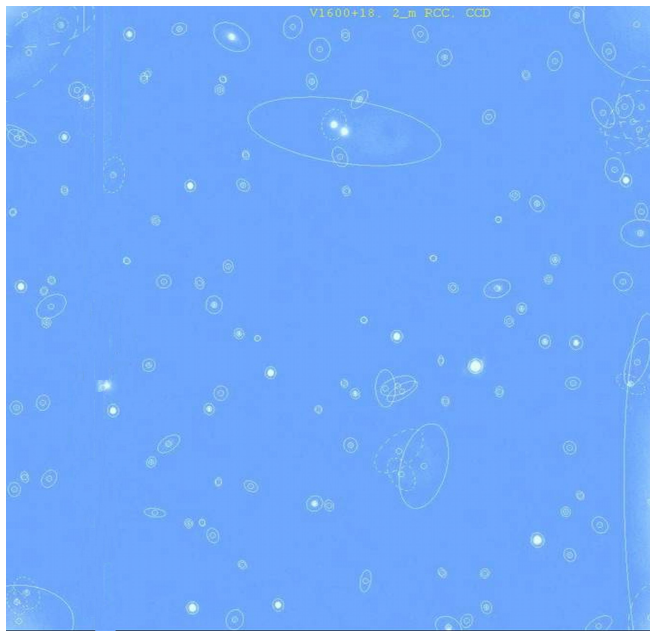
На **фиг.10** са представени резултатите от изследването на вероятния двоен куп NGC 6755/6756 по данни на В. Копчев и съавтори.



Започната е наблюдателна програма по изследване на разсеяни купове в близките галактики и търсене на определен тип звезди в тях. Програмата включва и търсене на променливи звезди в куповете.

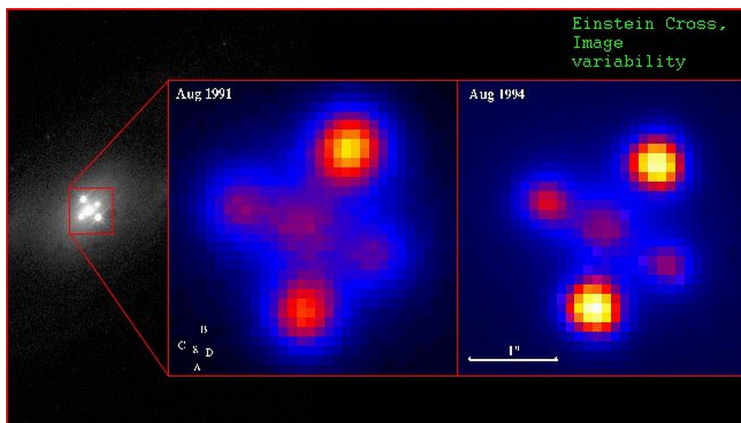
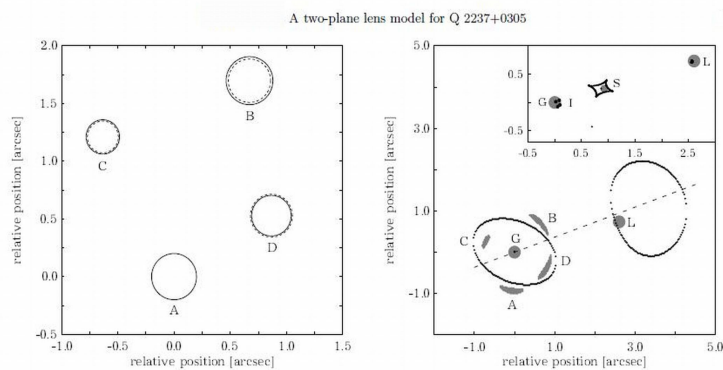
### 13. VOIDS и Крупномащабна структура

На 2-м телескоп на НАО са получени 19 плаки с експозиция 2.5 – 3 часа за изследване на 10 избрани празнини. За сравнение е заснето при същите условия и полето на купа от галактики Abell 1376. Постигната е гранична звездна величина  $B = 23$ . Около 8300 галактики са измерени и класифицирани по диаметри и морфологични признаци - спирални, елиптични... При първоначалната обработка са измерени и каталогизирани около 550 слаби галактики в полето на празнината с център 1042-00, около 150 при 1306+34, общо 2745 слаби галактики в полето на 1306+34, +35, +36, 444 галактики за 1213+35, като за тях е проведена апертурна фотометрия, 2297 галактики за 0049+05 - за над 900 от тях е проведено по-детайлно изследване и над 2290 галактики в празнината в Херкулес 1600+18. Около 1800 от тях са фотометрирани и са определени техните ефективни диаметри, повърхностна яркост, разпределението на яркостта по диска на галактиките и др. **Фиг.11** е илюстрация на селекцията и фотометрирането на слаби галактики в празнината в Херкулес по данни на Г.Петров. Проведен е клъстер-анализ на празнините 0049+05 и 1600+18. Показани са възможности за селектиране на галактики с ниска повърхностна яркост.



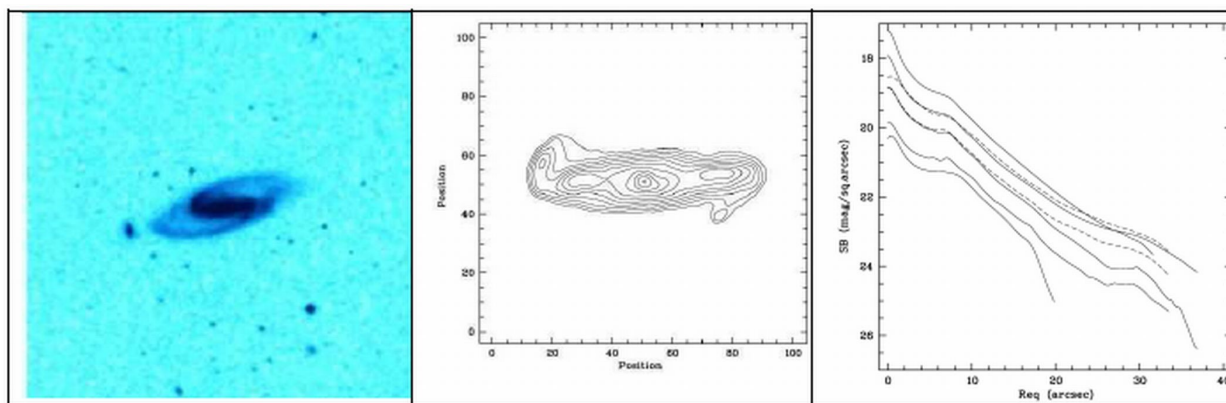
#### 14. Гравитационни лещи

Изследвано е разпределението на масата в галактиката-леща в системата 2237+0305. Получени са параметрите, характеризиращи разпределението на масата в галактиката-леща: централна дисперсия на скоростите, маса и отношение маса-светимост за централните ѝ части. Изследвано е влиянието на евентуална втора леща, като са получени параметрите, характеризиращи нейното разпределение на масата. Получена е оценка за времето на закъснение в системата 0957+561 и е изследвано възможното усилване на блясъка на квазара HS 1946+7658, причинено от гравитационна леща. Построен е модел на т.н. „кръст на Айнщайн“ - квазара 12237+0305. На **фиг.12** е представена илюстрация от изследването на гравитационни лещи по работата на Б. Михов и съавтори.



### 15. BOX / PEANUT галактики

Получени са (U), (B), V, R, I ССД-кадри за 30 галактики - с BOX/PEANUT характеристики и контролна извадка, за които са определени повърхностната яркост и разпределението на яркостта по диска на галактиките. Подробно е изследвана галактиката NGC 5610. Показано е, че галактиката, имаща среден наклон към лъча на зрение, е с т. нар. box/peanut форма на бълджа. Това е особено важно, тъй като галактиките със среден наклон към лъча на зрение са от особена важност при изследването на този тип бълджове. На **фиг.13** е представена илюстрация от изследването на галактиката по данни на Г.Петров и съавтори.



### 16. ГРИД и виртуална обсерватория

Описана е идеологията на изграждане на Българска виртуална обсерватория. Представено е кратко описание на наличните над 900 ССД кадри за 30 разсеяни купа в нашата Галактика, стотици ССД кадри с квазари – гравитационни лещи, над 500 (U,B),V,R,I ССД кадри за BOX/PEANUT галактики, над 1800 FITS-файла с над 6000 слаби галактики в избрани празнини, около 700 спектъра, в т.ч. 27 спектъра на 9 планетарни мъглявини, над 100 спектъра на активни галактики и над 300 спектъра на галактики с висока повърхностна яркост. Данните са в процес на подготовка за достъп без ограничение на сървърите на Института. Направени са и първите стъпки в посока на ползването на ГРИД за астрофизични модели. В процес на подготовка са 2 книги – справочни пособия за използването на ГРИД и БГВО в средата на операционна система ЛИНУКС. WEB\_страницата на Виртуалната обсерватория по галактики, поддържана от Г. Петров, има адрес <http://www.astro.bas.bg/galaxies/>.

### 17. Развойна, апаратурна дейност и други

Описана е конструкцията и калибровката на фотографична камера за 60-см телескопи. Описана е приемната апаратура на 60-см телескоп – електрофотометър и калибровката на данните към стандартната U, B, V система.

Методите на астрофизиката са приложени за контролиране на температурния режим при електронно-лъчевото заваряване.

Представена е калибровката на CCD ST-8 камера за 60-см телескоп в Белоградчик - както на самата камера (шумове, температурни зависимости, линейност и пр.), така и на цялостната BVRCIC фотометричната система чрез фотометрия на стандартни полета.

За различни задачи е изготвян софтуер под MS Windows, предназначен основно за различни видове статистически анализи на криви на блясъка, част от който е достъпен за свободно ползване. Изготвена е и се ползва и програма за апертурна фотометрия на изображения (FITS Imager), вкл. и на патрули, където програмата сама намира и центрира апертурата върху звездите от интерес.

Тестван и оптимизиран е адаптивен филтър при повърхностната фотометрия на галактики. Показана е възможността за спектрални наблюдения на галактики с 2-м телескоп на НАО със спектрограф УАГС и ССД камера.

Разработена и усвоена е методика за обработка на наблюдения, получени с интерферометър на Фабри-Перо.

Това е почти пълната картина на извънгалактичните изследвания в България, които са в пряка връзка с развитието на Националната астрономична обсерватория “Рожен”. Отново подчертавам, че в този обзор не присъстват теоретичните разработки по крупномащабна структура на Вселената (Калинков и съавтори) и по физически условия в ранната Вселена (Кирилова и съавтори).

Авторът е благодарен на всичките си колеги за разбирането и съдействието.

Институт по астрономия с НАО  
бул. “Цариградско шосе” № 74  
1784 – София, България