

## Photometric study of the galaxies M 32 and M 110, close satellites of the large galaxy M 31 in Andromeda

**Tsvetan B. Georgiev**

*New Bulgarian University, BG-1618 Sofia, Bulgaria*

*Institute of Astronomy, BG-1784 Sofia, Bulgaria*

### Abstract

On the base of BVRI CCD photometry isophote maps and photometrical section across the central parts of the galaxies are build. Photometrical evidences that M 32 is in front and M 110 is behind the disk of M 31 are derived. Comet-like shapes of the faint peripheries of both satellite galaxies, giving evidences about their interactions with the disk of M 31 are revealed. It seems M 32 overcomes the central part of the M 31 disk, but M 110 leaves the peripheral part of the M 31 disk.

*Key words: galaxies – local group; galaxies – M 31, M 32 and M 110*

## Фотометрично изследване на галактиките М 32 и М 110, близки спътници на голямата галактика М 31 в Андромеда

**Цветан Б. Георгиев**

*Нов български университет, департамент „Природни науки“*

*Институт по астрономия, БАН*

### РЕЗЮМЕ

На базата на CCD фотометрия в системата BVRI са построени изофотни карти и фотометрични разрези на централните части на галактиките. Получени са фотометрични свидетелства, че М 32 е пред, а М 110 – зад диска на М 31. Изявени са кометовидни форми на перифериите на дата спътника, свидетелстващи за взаимодействието им с диска на М 31. Изглежда М 32 връхлита централната част на диска на М 31, а М 110 напуска периферната област на диска.

### Увод

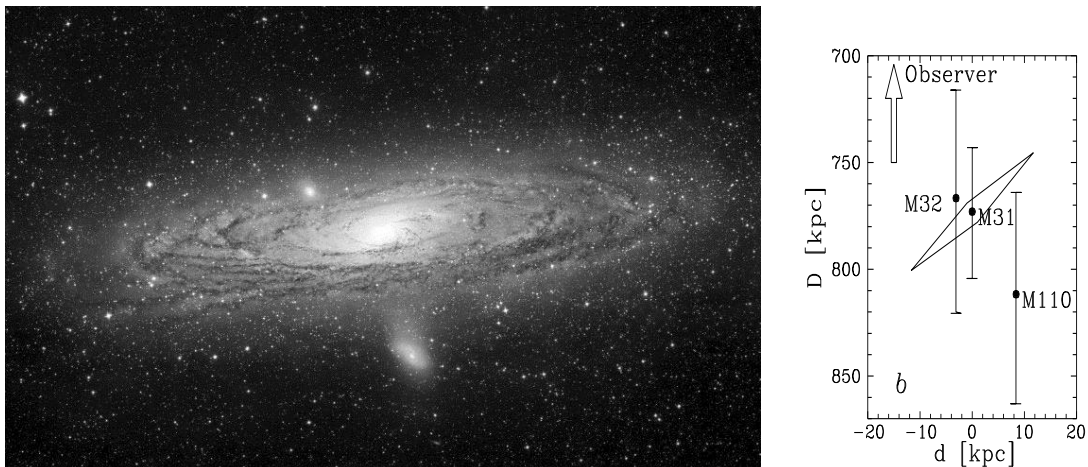
Фигура 1, в ляво, представя най-близката голяма спирална галактика, М 31, видима на фона на съвездието Андромеда и наричана също Андромеда. Виждат се и двата ѝ спътника – малките елиптични галактики М 32 и М 110 (NGC 20). Впечатляващите тъмни ивици в диска на М31 са поглъщащи светлината газово-прахови структури. Съвременните представи за строежа и еволюцията на галактиките, както и за скалата на разстоянията във Вселената се базират до голяма степен върху знанията за тези три галактики. Галактиките М 32 и М 110 са изследвани многократно по отношение на тяхната морфология и тяхното взаимодействие с диска на М 31 (вж. напр. Choi et al. [2002], Dierickx et al. [2014] и цитираната там литература).

Трите галактики са близки помежду си, но поради ограничената точност на методите за определяне на разстояния до галактиките, взаимното им разположение е неуточнено. Все пак се приема, че М 32 е пред, а М 110 зад диска на М 31. В такъв случай светлината от М 110, минаваща през периферията на диска на М 31 би следвало да търпи селективно поглъщане, увеличаващо се към центъра на М 31. Градиентът на селективното поглъщане към центъра на М 31 би могъл да се детектира като отслабване и почервяване на изображението на М 110 в направление към на центъра на М 31.

За получаване на съвременни точни данни, подходящи за евентуално решаване на проблема, авторът и негови колеги проведоха фотометрични наблюдения в Националната астрономическа обсерватория „Рожен“ и съответна числена обработка на изображения. Спътниците М32 и М110 бяха изследвани в стандартните фотометрични диапазони В (син), V (визуален), R (червен) и I (инфрачервен). Размерите на кадрите, определени от наличната астрономическа камера, са  $18' \times 27'$ . Камерата е доста по-чувствителна в червената област на спектъра, отколкото в синята, затова типичните единични експозиции в четирите фотометрични области са съответно 20 мин, 10 мин, 5 мин и 5 мин [Georgiev et al., 2015; Georgiev, 2015].

### 1. Фотометрични свидетелства, че М 32 пред, а М 110 – зад диска на М 31: Профилите на спътниците са различно повлияни от селективно потлъщане на светлината

Фигура 1, в дясно, представлява схема на разположението на трите галактики според съвременните оценки на разстоянията до тях. Така, хипотетично, М 32 е пред, а М 110 – зад диска на Андромеда, но според средните стойности и средно-квадратичните отклонения на разстоянията тези хипотези не удовлетворяват дори 95 % критерий на Стюдънт. Удобно графично представяне на простите статистически тестове, използвано тук, е публикувано неотдавна [Georgiev, 2014]].

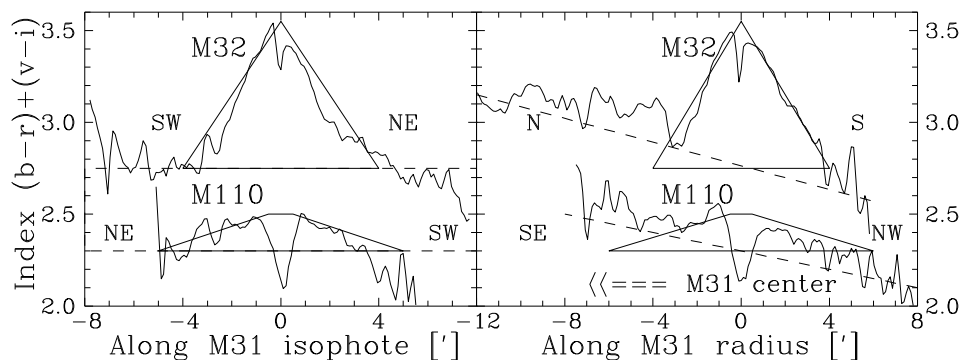


Фиг.1. В ляво: Галактиката Андромеда (М 31) и спътниците М 32 (малко нагоре и вляво от центъра на М 31) и М1 10 (надолу от центъра на М 31). Направлението „север“ е към десния долен ъгъл на кадъра, а „изток“ е към долния десет. Размерите на кадъра са  $3^\circ \times 2^\circ$  ([http://www.californiaindianeducation.org/science\\_lab/andromeda\\_galaxy.html](http://www.californiaindianeducation.org/science_lab/andromeda_galaxy.html)). В дясно:

Схема на разположението на трите галактики, проектирани върху равнина менаваща през лъча на зрението към М 31 и малката ос на изображението на М 31. Вертикалните отсечки показват средно-квадратичните отклонения на съвременните оценки на разстоянията до трите галактики [Geortgiev et al. 2015].

Дълбоките фотометрични кадри бяха използвани за построяване на фотометрични разрези през центровете на спътниците на М 31 в две направления. Първото направление, използвано за сравнение, е допирателно към изофотната елипса на М 31, съответна на центъра на спътника. По това направление следва да се наблюдават приблизително еднакви яркости и цветови индекси от двете страни на спътника, а формите на профилите на спътниците следва да са приблизително центросиметрични. Второто направление е дефинирано от центъра на спътника и центъра на М 31. Ако спътникът е зад диска на М 31 следва да се наблюдава асиметрия на двете крила на профила му. Крилото към центъра на М 31 следва да е по-слабо и по-червено.

Фигура 2 показва фотометричните разрези в „светлината“ на цветовия индекс  $(b-r) + (v-i)$ . Тук  $b$ ,  $v$ ,  $r$  и  $i$  са яркостите, калибрирани във фотометричната система BVRI. Яркостите са комбинирани така, че (i) да се използват всички кадри и (ii) да се постигне максимално чувствителен към почервяване цветови индекс. По-високите стойности на индекса съответстват на „по-червено“ светене от обекта, което пък свидетелства за по-високо селективно поглъщане по лъча на зрението.



Фиг.2. Цветови профили през центровете на М 32 и М1 10. *В ляво*: По допирателната към елиптичната изофота на М 31. Фонът е приблизително постоянен и профилите са приблизително симетрични. *В дясно*: По направлението към центъра на М 31 фонът почервява, профилът на М 32 е пак симетричен, но профилът на М 110 е деформиран и почервява към М 31. Профилите потвърждават предполагаемото взаимно разположение на трите галактики, дадено схематично на фиг.1, в дясно [Geortgiev et al. 2015].

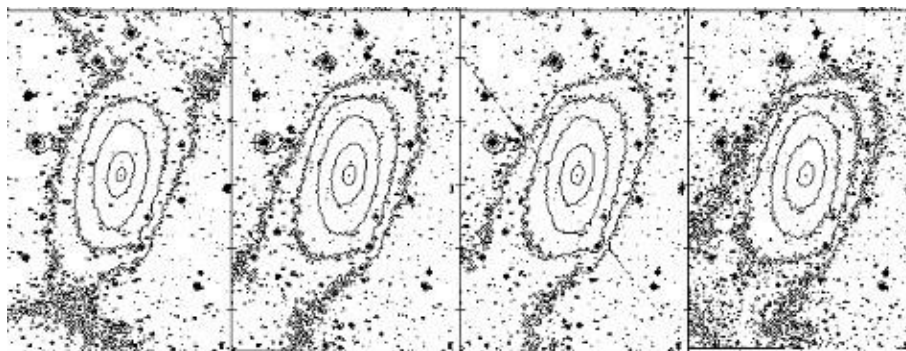
На фиг.2 правите линии представят хода на средния цветови индекс в околността на спътника. Очаквано той е постоянен по първото направление (в ляво) и почервяващ по второто, към центъра на М 31 (в дясно). Триъгълниците (горе) и трапеците (долу) съответстват на характерната форма на фотометричните профили на двата спътника, с пренебрегване на факта, че техните ядра са по-сини от околността си. Изводът за разположението на спътниците идва от сравнението на техните профили към центъра на

М 31 (за отстояния от  $-4'$  до  $-1'$ ) и в обратно направление (за отстояния от  $1'$  до  $4'$ ). При М 32 профилът към М31 отвътре (отляво) е несъществено по син, но при М 110 отвътре (от ляво) е съществено по-червен. Така фотометричните разрези потвърждават взаимното разположение на трите галактики, дадено на фиг. 1, в дясно. В статията на Georgiev et al. [2015] този резултат е илюстриран и чрез цветни карти чрез други цветови индекси.

## 2. Фотометрични свидетелства, че спътниците взаимодействат с диска на М 31: Перифериите на спътниците имат кометовидни форми

Централните ярки части на галактиките М 32 и М 110 имат приблизително централно-симетрично разпределение на яркостта, но слабите им периферни части, видими на съвременната дълбока снимка, представена на фиг.1, вляво, са озадачаващи. Изглежда тези малки елиптични галактики имат кометовидни периферии, които могат да се интерпретират като видими прояви на взаимодействие с диска на М 31. Нашите дълбоки кадри позволяват да се направят фотометрични изводи и в тази насока.

Фигура 3 показва калибрирани изофотни карти М 110 [Georgiev et al. 2015]. Трябва да се отбележи, че поради качествата на конкретната цифрова камера най-левият кадър (в сини лъчи) има изкуствено повишена чувствителност в североизточния и югозападния ъгъл, изразена в деформацията на най-долното изофотно ниво. Диагоналната линия през третия кадър се дължи на преминаване на изкуствен спътник през полето на кадъра.



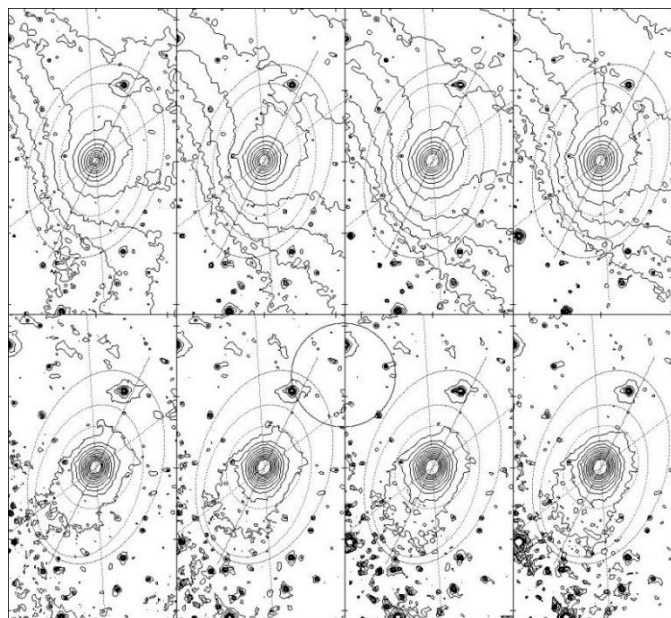
Фиг. 3. Изофотни карти на изображенията на М 110, калибрирани към фотометричната система BVRI (от ляво на дясно), с яркостен интервал 1 звездна величина (2.5 пъти изменение на яркостта). Най-ниските изофотни нива съответстват на 26.0, 25.5, 25.0 и 24.5 звездни величини от квадратна секунда от небето. Север е горе, изток е вляво. Интервалът между рамковите маркери е  $5'$ . Ярката част на изображението на М 110 има слабо „опашка“ надолу, вляво, към диска на М 31 [Georgiev et al. 2015].

Спътникът М 110, представен а фиг.3, е разположен на около  $40'$  северозападно от центъра на М 31. Там, сравнително далече от центъра на М 31, дискът на М 31 има ниска яркост, нисък градиент на яркостта и нисък градиент на цветовия индекс. Освен това, централната част на М 110 е над 2-3 пъти по-малко ярка отколкото централната част на другия спътник, М 32, а размерът на кадъра е недостатъчен за да обхване периферията на М 110. Всички тези обстоятелства затрудняват получаването на точни фотометрични

данни за крайно слабите светлинни потоци. Но и така се вижда, че периферията на М 110 и се характеризира с увеличен позиционен ъгъл, а слабата „опашка“ към диска на М 31 може да се интерпретира като резултат от взаимодействие между двете галактики.

Спътникът М 32 е разположен на около 15' южно от центъра на М 31 и на югозапад от ярката част на диска на М 31. Там дискът на М 31 се характеризира с висока яркост, висок градиент на яркостта и висок градиент на цветовия индекс. Самият спътник пък се характеризира с малки размери и висока повърхностна яркост. Затова изображенията на М 32 бяха обработени допълнително, включително чрез изправяне на околния фон.

Фигура 4 показва различни калибрирани изофотни карти М 32. Вертикалните линии сочат нагоре към центъра на М 31. Слабо наклонените диагонални линии сочат към спътника М 110. Силно наклонените диагонални линии са перпендикулярни към голямата ос на изображението на М 31. Елипсите, чието коментирание тук не е необходимо, са описани в съответната статия [Georgiev, 2015].



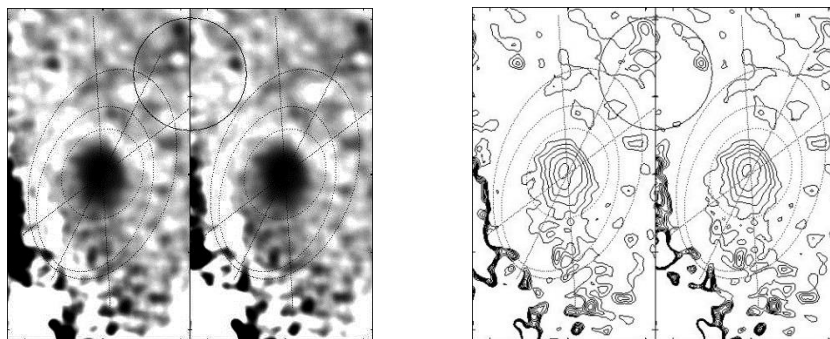
Фиг.4. *Горе:* Изофотни карти на изображенията на М 32 с яркостни нива както на фиг.3, но с размер на кадрите 12'×22'. *Долу:* Изофотни карти на съответните остатъчни изображения, отделени медианно с апертура с диаметър 7.3'. Размерът на апертурата е показан с кръг. Ярката част на М 32 има широка опашка надолу, вляво, по направлението откъм М 110 вавън от М 31 [Georgiev 2015].

На фиг.4, в горната редица, са представени калибрирани изофотни карти на М 32. Там, както при М 110, на фиг.3, периферията на М 32, се характеризира с увеличен позиционен ъгъл. В този случай широката и ярка „опашка“ е насочена към диска на М 31. Отново следва да се предположи, че се наблюдават свидетелства за взаимодействие между двете галактики..

На фиг.4, в долната редица, са представени изофотни карти на остатъчните изображения на М 32. (Остатъчно изображение се нарича изображението, което е разлика

между оригиналното изображение и изгладеното по някакъв начин оригинално изображение.) В този случай остатъчните изображения са изявени над околния „изправен“ фон чрез медианна филтрация с диаметър на апертурата  $7.3''$ . Остатъчните изображения показват, че М 32 има широка опашка, по-червена от околността си и насочена навън от диска на М 31. Повече информация за морфологията на тази опашка дават цветовите индекси [Georgiev, 2015]

Фигура 5 показва черно-бели и изофотни карти на остатъчни изображения, отделени както в случая на фиг.4, но с използване на цветовите индекси (b-i) и (b-v)+(v-i). Тези карти изявяват сърпообразно образувание около ярката част на М 31, имащо малко по-син цвят от околността и опаша надолу (на юг), имаща малко по-червен цвят от околността.



Фиг.5. Остатъчни изображения на М 32 в светлината на цветовите индекси (b-i) и (b-v)+(v-i), отделени чрез медианна филтрация с апертура  $7.3''$ . (Апертурата е показана с кръгове.) В ляво: Черно-бели карти, където черното и бялото съответстват на по-червена и по-синя яркост; В дясно: Съответните изофотни карти. Според двата вида карти изображението на М 32 почеренява плавно към центъра и има опашка, насочена на юг. [Georgiev, 2015].

### Заклучение

Проведеното фотометрично изследване потвърждава предположението, че по оценки на разстоянията М 32 е пред, а М 110 – зад диска на М 31. Изявени са и кометовидни форми на перифериите на двата спътника, свидетелстващи за взаимодействие с диска на М 31. При това опашките на кометовидните периферии на двата спътника са ориентирани приблизително на позиционен ъгъл  $28^\circ$ , по направлението, дефинирано от двата спътника.

Според осайта [NED \(NASA/IPAC Extragalactic Database, https://ned.ipac.caltech.edu/](https://ned.ipac.caltech.edu/) лъчевите скорости галактиките М 31, М 32 и М 110, съответни на приближаване към нас, са -300, -200 и -241 км/с. Тогава, ако изтъкнатите опашки се смятат за изоставащи части от галактиките-спътници, следва да се смята, че М 32 връхлита близката до центъра част на диска на М 31 с лъчева скорост около 100 км/с, а М 110 напуска далечната от центъра на М 31 част на диска с лъчева скорост около 60 км/с. Предстои получените изводи да бъдат проверени на по-богат и по-точен наблюдателен материал.

### ЛИТЕРАТУРА

Choi P. I., Guhathakurta P., Johnston K.V. Tidal Interaction of M32 and NGC 205 with M31: Surface Photometry and Numerical Simulations *Astron. J.*, 124/1, 2002, 310-331.



- 
- Dierickx M., Blecha L., Loeb A. Signatures of the M31-M32 Galactic Collision *Astrophys. J. Let.*, 788, 2014, L 38 (6 pages)
- Georgiev Ts. B.** Graphic presentation of the simplest statistical tests, *Bulg. Astron. J.* 20, 2014, 14-25.
- Georgiev Ts. B.**, Nedialkov P., Ovcharov E., Valcheva A., On the mutual location of the nearby galaxies M31, M32 and M110, *Bulg. Astron. J.*, 23, 2015, 1-10, in print.
- Georgiev Ts. B.**, Revealing a Comet-like Shape of the Faint Periphery of the Nearby Galaxy M 32, *American Institute of Physics Conference Proceedings AIP*, 2015, 1-5, in print