

Р. А. САРКИСЯН

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА НАЛОЖЕНИЯ СНИМКОВ К ГАЛАКТИКЕ NGC 5195

1. *Введение.* Измерение и изучение очень слабых частей протяженных объектов (галактик, туманностей) является важной задачей современной наблюдательной астрономии. Наблюдения, проведенные в последние годы, показывают, в частности, что есть физическая связь между отдельными внегалактическими объектами. Иногда такая связь осуществляется мощным спиральным рукавом между галактиками. Возможно, такая физическая связь есть во многих двойных и кратных галактиках, но она не обнаруживается, потому что, когда расстояние между компонентами становится слишком большим, то связывающие перемычки и волокна между галактиками становятся либо очень тонкими, либо слишком слабыми и перестают быть видны на пластинке среди шумов [1—4].

При фотографических наблюдениях использование всей оптической информации, регистрируемой данным телескопом, встречает трудности, связанные с наличием шумов (фон ночного неба, искусственное освещение, неоднородность чувствительной поверхности фотоприемников). Некоторые из этих трудностей могут быть преодолены путем улучшения и развития методики информационной обработки астронегативов на ЭВМ [5]. Это дает возможность выявить многие слабые объекты и слабые части уже известных протяженных источников. В настоящей работе измерены и изучены весьма слабые области, находящиеся на периферии галактики NGC 5195, входящей в знаменитую систему М 51 (NGC 5194+NGC 5195). На основе суперпозиции десяти снимков получены изофоты для фотографических изображений. Кроме того, выдвинуты аргументы в пользу того, что рукав связывает два компонента М 51 между собой.

2. *Методика наблюдений и измерений.* Наблюдения М 51 проведены на 40" телескопе системы Шмидта БАО на фотопластинках Кодак ОаII без фильтра. Для выявления обладающих низкой поверхностной яркостью периферических частей галактики NGC 5195 (спутника М 51) было решено использовать метод суперпозиции снимков. С этой целью взято одиннадцать снимков с экспозицией 17 мин каждый.

Фотометрические работы проводились на Бюраканском автоматическом микрофотометре. Измерения почернений производились сплошным образом с диафрагмой размером $0,04 \times 0,04$ мм² и интервалом 0,04 мм. Это

осуществлялось автоматическим смещением столика микрофотометра посредством двух взаимно-перпендикулярных движений, обеспечивающих точность смещения около 5 мк.

Исследуемый участок был разделен на шесть зон, каждая размером $1,28 \times 1,28$ мм². Площадь каждой такой зоны можно покрыть 1024 квадратами размером $0,04 \times 0,04$ мм². Таким образом, на каждом снимке было измерено 6144 значения почернений, сплошным образом покрывающих весь участок (рис. 1).

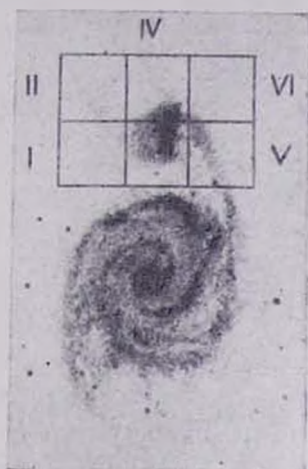


Рис. 1. Снимок M51, полученный на 40" телескопе системы Шмидта БАО, на фотопластинках Кодак ОаII без фильтра с экспозициями 17 мин.

Обрабатываемый участок показан сплошной линией.

По возможности одинаковая установка различных снимков одного и того же поля на столике микрофотометра осуществлялась с помощью выбранных звезд вокруг измеряемых участков. При этом точность совмещения разных снимков не превышала 20 мк. Иными словами, сетки последовательных положений вырезаемой диафрагмы площадок несколько расходились. Поэтому возникла необходимость поправки, которая рассмотрена ниже.

3. *Ход обработки на ЭВМ.* После сканирования участки изображений представляются дискретно в виде матриц с $(N \times N)$ значениями. Последовательность обработки полученных данных на ЭВМ представлена на рис. 2.

Первоначально производилась нормировка матриц (реализаций). Элементы нормированной матрицы определяются по формуле:

$$J_{mk} = \frac{i_{mk}}{\sqrt{\sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N i_{mk}^2}} \quad (1)$$

где i_{mk} — почернение mk ячейки (квадрат размером $0,04 \times 0,04$ мм²).

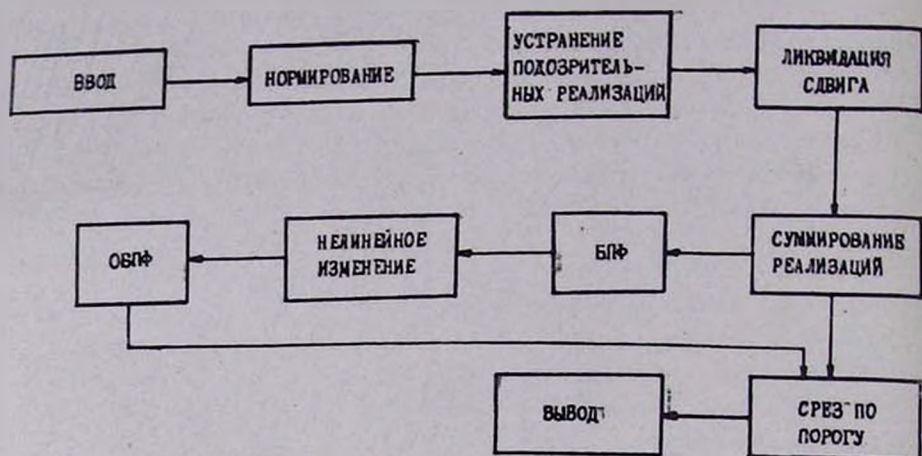


Рис. 2. Блок-схема обработки.

Коэффициенты корреляции между рассматриваемыми реализациями вычислялись по формуле:

$$R_i = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J_{mk} J_{mk} - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J_{mk} \right) \left(\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J'_{mk} \right)}{\sqrt{\left[\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J_{km}^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J_{km} \right)^2 \right] \left[\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N (J'_{km})^2 - \frac{1}{N^2} \left(\sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^N J'_{mk} \right)^2 \right]}} \quad (2)$$

($i = 1, 2, \dots, 11$)

где J'_{mk} — элемент сравниваемой матрицы, а J_{mk} — эталонной.

По заданному уровню значимости R_i производилось исключение подозрительных реализаций. В нашем случае из одиннадцати снимков был исключен один. Как уже отмечалось, во время регистрации одного и того же участка на разных снимках возможны случайные смещения в интервале нескольких шагов, а также внутри одного шага.

Из десяти снимков выбирался один как эталон, а остальные сравнивались с ним. Вычисление автокорреляционной функции показало, что не существует сдвигов, превосходящих величину шага. Автокорреляционная функция вычислялась по формуле [6]:

$$A = S_s \cdot S_s^* \quad (3)$$

где S — Фурье-преобразование реализации, S^* — комплексно сопряженное S :

$$S(\omega_k, \omega_j) = \frac{1}{N} \sum_{m=1}^N \sum_{n=1}^N J(X_m, Y_n) e^{-i \frac{2\pi}{N} (X_m \omega_k + Y_n \omega_j)} \quad (4)$$

Принимая, что интенсивность в одной ячейке изменяется линейно, была осуществлена коррекция значений почернений по горизонтальному и вертикальному смещениям на основании значений сдвигов, определяемых по формулам [6]:

$$X = \frac{\sum_{k=1}^n \left[\left(\sum_{m=1}^n J_{mk+1} - \sum_{m=1}^n J_{mk} \right) \left(\sum_{m=1}^n J'_{mk} - q \sum_{m=1}^n J_{mk} \right) \right]}{q \sum_{k=1}^n \left(\sum_{m=1}^n J_{mk+1} - \sum_{m=1}^n J_{mk} \right)^2}, \quad (5)$$

$$Y = \frac{\sum_{m=1}^n \left[\left(\sum_{k=1}^n J_{mk+1} - \sum_{k=1}^n J_{mk} \right) \left(\sum_{k=1}^n J'_{mk} - \sum_{k=1}^n J_{mk} \right) \right]}{\sum_{m=1}^n \left(\sum_{k=1}^n J_{mk+1} - \sum_{k=1}^n J_{mk} \right)^2}. \quad (6)$$

Предварительно обработанные вышеописанными способами изображения суммировались. При суперпозиции десяти снимков компоненты белого шума, объединяющие в себе различные помехи (свечение ночного неба и другие помехи, вызывающие вуаль), складываются по закону случайных ошибок и отношение сигнал — шум улучшается в $\sqrt{10}$ раз.

С целью выявления границы объектов осуществлялось Фурье-преобразование изображения, причем высокие частоты усиливались, а низкие — подавлялись. В качестве нелинейного преобразования было выбрано извлечение корня квадратного для каждого значения модуля спектра. После преобразования модуля спектра выполнялось обратное преобразование Фурье [7]:

$$J'(X_m, Y_n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N S'(\omega_k, \omega_j) e^{i \frac{2\pi}{N} (X_m \omega_k + Y_n \omega_j)}, \quad (7)$$

где

$$S'(\omega_k, \omega_j) = \sqrt{|S(\omega_k, \omega_j)|} e^{i \varphi(\omega_k, \omega_j)}. \quad (8)$$

Восстановленное изображение (полученное после нелинейной фильтрации), а также изображения, полученные в результате суперпозиции, срезались по 16 порогам, соответствующим различным изофотам:

$$h = \frac{\bar{J}_\phi + 3\sigma - \bar{J}_u}{16}, \quad (9)$$

где $\bar{J}_\phi$ — средний фон, σ — дисперсия фона, $\bar{J}_u$ — среднее почернение центральной части галактики (10×10), h — шаг порога. $J_h = J_\phi + kh$, $h = 0,006$ ($k = 0, 1 \dots 15$).

4. *Результаты.* Результаты обработки выбранного участка М 51 представлены в виде изофот (рис. 3).

Используя данные Б. Е. Маркаряна [8], был выполнен переход от почернений к фотографическим звездным величинам с квадратной секунды дуги для каждой из 16 изофот (табл. 1).

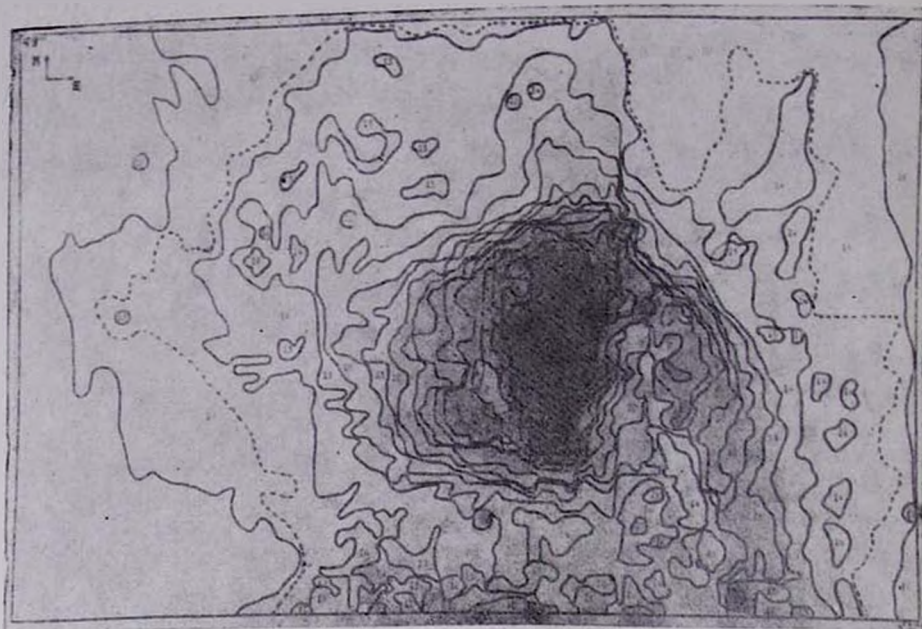


Рис. 3. Изофоты галактики NGC 5195 после обработки.

Таблица 1

N	J_k	$B_k/\square''$	N	J_k	$B_k/\square''$
1	0.050	20.84	9	0.098	22.61
2	0.056	21.06	10	0.104	22.84
3	0.062	21.27	11	0.110	22.99
4	0.068	21.47	12	0.116	23.20
5	0.074	21.73	13	0.122	23.40
6	0.080	22.00	14	0.128	23.75
7	0.086	22.21	15	0.132	24.12
8	0.092	22.40	16	0.138	24.48

Среднеквадратичная ошибка в среднем порядка $\pm 0^m 08$. На основе этих данных была вычислена интегральная звездная величина галактики (NGC 5195) $\approx 10^m 5$ (последняя поправлена за яркость спирального рукава галактики NGC 5194, примыкающей к спутнику).

Это значение на $0^m 25$ ярче, чем в [8], но примерно совпадает с данными Е. Холмберга [9]. Измерения, лежащие в основе [9], охватывают далекие периферийные области спутника—галактики NGC 5195.

Из рис. 3 видно, что первые шесть изофот замыкаются вокруг центра галактики. Следующие изофоты (7, 8, 9, 10) прерываются в области, примыкающей к спутнику со стороны спирального рукава. 11-я и 12-я изофоты, непрерывно замыкаясь вокруг центра спутника, указывают на почти

эллиптическое распределение яркости. 13-я изофота имеет выпуклость в северо-западной части (со средними размерами $45'' \times 45''$ и интегральной яркостью $\approx 15^m 8$), а в юго-восточной части входит в пределы галактики NGC 5194. 14-я изофота имеет выпуклость в северо-восточной части (со средними размерами $35'' \times 35''$ и интегральной яркостью $\approx 16^m 2$). В юго-западной части видна выпуклость (со средними размерами $12'' \times 35''$ и интегральной яркостью $\approx 16^m 9$), которая как будто входит в галактику NGC 5194. 11-я, 12-я и 13-я изофоты, проходящие на рис. 3 с правой стороны рукава, непрерывно продолжаются и за спутником, образуя выпуклость (со средними размерами $47'' \times 59''$ и интегральной яркостью $\approx 15^m 2$).

Из рис. 3 можно сделать вывод, что поглощающее вещество занимает довольно большие области не только между галактиками, но также в разных участках галактики NGC 5195. В частности, в области, примыкающей к спутнику вдоль рукава спиральной галактики, наблюдается протяженный участок с пониженной яркостью (со средними размерами $12'' \times 1' 45''$ и интегральной яркостью $\approx 16^m 3$). В юго-западной части (изофота 8) имеется участок пониженной яркости (со средними размерами $94'' \times 19''$ и интегральной яркостью $\approx 16^m 4$).

Максимальный размер участка, где сигнал больше среднего фона на 3σ , в западно-восточном направлении составляет $\approx 5'$, а в северо-южном — $\approx 4'$. После нелинейной фильтрации этот размер можно определить по прерывистой линии (рис. 3), что дает максимальный размер по направлению запад—восток $\approx 5' 30''$.

Разные авторы относят NGC 5195 к разным типам. По классификации Сендейджа [10], это иррегулярная галактика типа M 82. По форме распределения яркости Барбидж и Барбидж [11] считают ее карликом SO. По другим данным [12], эта галактика не относится к вышеупомянутым классам. Б. Е. Маркарян [8] считает, что NGC 5195 — пекулярная эллиптическая галактика.

Если через ядро галактики NGC 5195 провести горизонтальную и вертикальную оси симметрии и учесть, что изофоты 11 и 12 указывают на почти эллиптическое распределение яркости, то показатель сжатия галактики получится

$\frac{a-b}{a} 10 \approx 6$. При этом рукав примыкает к спутнику до 13-ой изофоты (восточная часть).

Представляется важным выяснить, чем обусловлена наблюдаемая картина: наличием физической связи между рукавом и спутником или же эффектом проектирования. Для этой цели выбирались два симметрично расположенных участка спутника размерами $34'' \times 34''$: I в юго-восточной части (спутник+рукав) и II в юго-западной части (спутник). Соответственно, обозначим через B_1^I и B_1^{II} среднюю поверхностную яркость этих участков в лучах λ . Обозначим через B_λ среднюю поверхностную яркость рукава в I участке. Рассмотрим следующие три возможных случая:

- а) спутник находится перед рукавом.
- б) спутник находится за рукавом.
- в) рукав расположен в плоскости симметрии спутника.

Из рис. 3 очевидно, что поглощающая материя, связанная с рукавом, тянется до центральной части спутника. Этот факт исключает случай а).

Рассматривая случай б), можно написать:

$$B_{\lambda}^I = q_{\lambda} B_{\lambda}^{II} + B_{\lambda}, \quad (10)$$

где $q_{\lambda} = e^{-\tau_{\lambda}}$ — коэффициент, выражающий относительное уменьшение поверхностной яркости из-за поглощения, а τ_{λ} — оптическая толщина.

В случае в) имеем:

$$B_{\lambda}^I = \frac{1}{2} B_{\lambda}^{II} + \frac{1}{2} q_{\lambda} B_{\lambda}^{II} + B_{\lambda}. \quad (11)$$

Из в) следует:

$$\frac{B_{\lambda}^I - B_{\lambda}}{B_{\lambda}^{II}} \geq \frac{1}{2}$$

отсюда

$$B_{\lambda}^I \geq \frac{1}{2} B_{\lambda}^{II} + B_{\lambda}. \quad (12)$$

Физический смысл (12) заключается в том, что если рукав и спутник находятся в одной плоскости, то суммарная яркость должна быть всегда больше, чем яркость рукава плюс половина яркости спутника (потому что в этом случае рукав поглощает свет, идущий только от одной половины спутника).

Используя данные [8] и наши, было проверено неравенство (12) для фотографических и визуальных лучей (табл. 2).

Таблица 2

B_{λ}^I	$\frac{1}{2} B_{\lambda}^{II} + B_{\lambda}$
P_g 0.231	0.207
P_v 0.461	0.368

Из вычислений следует, что неравенство (12) имеет место не только в среднем, но и для ряда участков. Оно (12) усиливается, когда участок II берется в области с собственным поглощающим веществом спутника.

Таким образом, реальным представляется случай в). Вместе с этим, принимая во внимание, что на периферии галактики NGC 5195 выявлено несколько слабых перемишек (изофоты 13, 14), некоторые из которых тянутся к спиральной галактике NGC 5194, можно сделать вывод, что рукав

расположен в плоскости симметрии спутника и связывает оба компонента М 51 между собой.

В заключение автор выражает благодарность академику В. А. Амбарцумяну за помощь и ценные указания в процессе работы. Автор благодарен также научным сотрудникам ВЦ АН Арм. ССР за оказанную помощь в работе.

Ռ. Հ. ՍԱՐԳՍՅԱՆ

ՎԵՐԱԴՐՄԱՆ ՄԵԹՈԴԻ ԿՐԱՌՈՒՄԸ NGC 5195 ԳԱԼԱԿՏԻԿԱՅԻ
ՊԱՏԿԵՐՆԵՐԻ ՀԱՄԱՐ

Ա մ լ ի ո լ ի ու մ

Բերված են 40" Շմիդտի սխտեմի աստղադիտակով ստացված NGC 5195 Գալակտիկայի պատկերների վերարտադրման արդյունքները ներկայացված են իզոֆոտոների տեսքով, Պատկերների մշակումը կատարվել է «Հրազդան-3» էլեկտրոնային հաշվիչ մեքենայի վրա, Արդյունքները ներկայացված են իզոֆոտոների տեսքով, Բերված են փաստարկներ ի օգուտ այն բանի, որ NGC 5194 գալակտիկայի թևը կապում է 51-ի երկու բաղադրիչները միմյանց հետ:

R. A. SARKISSIAN

THE APPLICATION OF THE SUPERPOSITION METHOD OF NEGATIVES TO THE GALAXY NGC 5195

S u m m a r y

The results of superposition of ten negatives obtained with the 40" Schmidt camera for the galaxy NGC 5195 are presented. The processing was made by computer "Hrazdan-3". The results are represented by isophots. The argumentes are presented in favour of the fact, that the arm of the galaxy NGC 5194 is connecting both components of M 51 together.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В. А. Амбарцумян, Проблемы эволюции Вселенной, Ереван, Изд. АН АрмССР, 1968.
2. H. Arp, J. Kormendy, Ap. J., 178, L101, 1972.
3. Г. Арп, Э. Е. Хачикян, Астрофизика, 10, 173, 1974.
4. В. Г. Христич, Астрономический циркуляр, № 684, 1972.
5. Р. А. Саркисян, Сообщ. БАО, наст. вып.
6. А. Пупулс, Теория систем и преобразование в оптике, М., 1971.
7. R. A. Sarkissian, V. S. Khitrova, Fourth International Codata Conference.
8. Б. Е. Марксян, Сообщ. БАО, 25, 15, 1958.
9. E. Holmberg, Medd. Lund Obs., Ser. II, № 136, 1958.
10. R. A. Sandage, The Hubble Atlas of Galaxies, Carnegie Institution of Washington, p. 26, 1961.
11. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, Ap. J., 140, 1445, 1964.
12. L. Wellachew, S. T. Cottesman, Astron. and Astrophys., 24, 59, 1973.