

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

## АСТРОФИЗИКА

ТОМ 13

НОЯБРЬ, 1977

ВЫПУСК 4

### РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ТУМАННОСТИ АНДРОМЕДЫ НА ЧАСТОТЕ 102.5 МГц

Ю. В. ВОЛОДИН, Р. Д. ДАГКЕСАМАНСКИИ

Поступила 11 мая 1977

Пересмотрена 30 сентября 1977

Проведены наблюдения туманности Андромеды (M 31) на антенне БСА ФИАН (рабочая частота  $f = 102.5$  МГц). Описана методика наблюдения и обработки. Намечены угловые размеры, плотности потоков и спектральные индексы отдельно дисковой составляющей и гало. Получены оценки излучательной способности единицы объема  $\lambda$  диске и гало M 31. Найденные значения физических параметров сопоставляются с значениями соответствующих величин в нашей Галактике.

1. **Введение.** Радионизлучение туманности Андромеды (M 31) было зарегистрировано уже более 25 лет назад [1]. За прошедшее с тех пор время были выполнены многочисленные исследования этого объекта на различных частотах радиодиапазона. Сейчас уже, по-видимому, можно считать надежно установленным (см., например, [2, 3]), что:

1. В центре галактики M 31 нет мощного радиисточника, подобного радиисточнику Sgr A, расположенному в ядре нашей Галактики: мощность излучения такого компактного радиисточника (размером не более 10 пс) по крайней мере в 20 раз ниже светимости Sgr A.

2. На волнах дециметрового диапазона легко выделяется радионизлучение области диска ( $2.5^\circ \times 0.5^\circ$ ), в значительной степени коррелирующее с оптическим излучением рукавов и с распределением нейтрального водорода.

3. Лишь незначительная часть ( $\approx 5\%$ ) общего числа радиисточников, обнаруженных в радиусе  $2'$  около центра галактики M 31 (см. обзор ЮСЗ [2]), может быть отнесена к числу объектов, принадлежащих самой галактике и представляющих собой мощные комплексы ионизированного

водорода или остатки вспышек сверхновых; основная же часть радиоисточников из обзора 5С3 представляет собой более удаленные внегалактические объекты.

4. Радиоизлучение М 31 в линии нейтрального водорода ( $\lambda = 21$  см) прослеживается вплоть до расстояний в 25–30 клс от центра туманности.

В то же время до сих пор дискутируется вопрос о наличии в радиоизлучении туманности Андромеды протяженной квазисферической компоненты (т. е. «гало»). Хотя авторы пионерской работы [1] Браун и Хазард, а затем Лардж и др. в своих исследованиях, выполненных на частотах 159 и 408  $M\mu$  [4, 5] отмечали наличие такой компоненты, Вилебински [6], анализируя изофоты, полученные в работе [7] с более высоким разрешением и лучшей калибровкой, пришел к выводу, что на частоте 408  $M\mu$  плотность потока квазисферической компоненты диаметром  $\approx 4^\circ$  не превосходит ошибок измерений ( $S_{\text{гало}} = (8 \pm 8) \cdot 10^{-26}$   $вт/м^2\mu$ ).

Вопрос о том, существует ли заметное радиогало вокруг туманности Андромеды, представляется особенно важным, поскольку эта галактика по своим размерам и структуре весьма близка к нашей собственной и наличие гало у нее считается одним из наиболее веских аргументов в пользу существования подобного образования в нашей Галактике. С другой стороны, этот вопрос является несомненно одним из наиболее сложных вопросов наблюдательной радиоастрономии. Принципиальная трудность здесь состоит в том, что компоненту низкой поверхностной яркости необходимо обнаружить на фоне сравнимого или даже более яркого фонового излучения нашей Галактики при наличии существенных флуктуаций последнего (галактическая широта М 31 составляет  $-22^\circ$ ). Тем не менее, учитывая, что антенна БСА ФИАН, работающая на сравнительно низкой частоте ( $f = 102.5 M\mu$ ), обладает неплохим угловым разрешением и большой эффективной площадью, можно было надеяться, что наблюдения, проведенные на ней, позволят дать ответ на поставленный вопрос.

2. *Антенна и методика наблюдений.* Антенна БСА ФИАН, подробное описание которой можно найти в работе [8], представляет собой антенную решетку, состоящую более чем из 16 тыс. вибраторов. Заполненная прямоугольная апертура радиотелескопа, вытянутая с севера на юг, при наблюдении области туманности Андромеды имеет размеры  $372 \times 187$  м и эффективную площадь  $\approx 2 \times 10^4$  м<sup>2</sup>. Рабочая длина волны  $\lambda = 2.93$  м ( $f = 102.5 M\mu$ ). Ширина диаграммы направленности радиотелескопа по уровню половинной мощности составляет 49 угловых минут по прямому восхождению и 24 угловые минуты по склонению. Все измерения производились в меридиане места. В ходе наблюдений были получены 18 сканов исследуемой области, отстоящие один от другого по склонению на  $27'$ . Ка-

лировка усиления каждой записи производилась по одному или нескольким дискретным источникам, расположенным на близких склонениях. Достигнутая таким образом точность привязки отдельных записей по усилению составляет около 15%.

Проведение нулевого уровня в каждой из записей производилось в предположении, что аппаратные дрейфы нуля в течение 1.5 часа могут быть представлены линейной зависимостью и что плавный градиент фона отсутствует. То, что первое предположение близко к истине, видно из рис. 1, где на одном графике приведены несколько записей одного из таких сканов, полученные в разные дни. Справедливость второго предположения, к сожалению, проверить практически невозможно. Этот факт следует иметь в виду при анализе приводимых ниже изотот. Однако, поскольку исследование фонового радионизлучения и его плавных изменений не являлось целью настоящей работы, а размеры радионизлучающей области туманности Андромеды заметно меньше размеров исследовавшейся площадки в целом, то можно надеяться, что этот недостаток процедуры незначительно скажется на следующих ниже выводах.

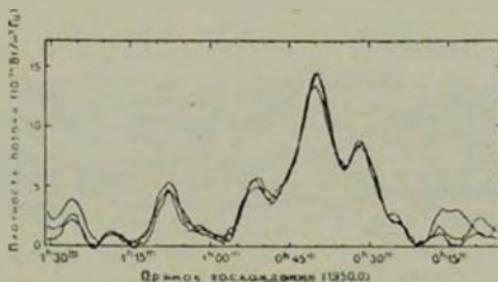


Рис. 1. Пример записей одного и того же скана ( $\delta_{1950.0} = 41^{\circ}22'$ ) в различные дни (25.07.76; 5.08.76 и 6.08.76).

Усредненные по нескольким записям 18 сканов послужили исходным материалом для построения изотот исследуемой области. При этом, с использованием интерполяционного полинома Котельникова по ним предварительно были построены «сканы» для промежуточных склонений и тем самым получен набор сканов исследуемой области с интервалом  $9'$  по склонению. Поскольку исходная информация имела лишь с интервалом в  $27'$  по склонению, а диаграмма направленности антенны в этом сечении имеет вид  $\sin^2(ax)/(ax)^2$  с шириной по уровню половинной мощности  $24'$ , то процедура интерполяции соответствовала дополнительному сглаживанию распределения яркости по склонению. Эффективная диаграмма направленности по склонению на окончателных изототах имеет ширину главного лепестка по уровню половинной мощности около  $35'$  и отрицательный боковой лепесток, составляющий 15% от главного.

3. *Анализ изофот.* На основе полученных из наблюдений и путем интерполяции 52-х сканов были построены изофоты исследуемой области. Однако их непосредственная интерпретация несколько осложняется двумя обстоятельствами, а именно:

1) В интересующем нас районе расположено несколько радионисточников, дающих заметный вклад в общий поток радионизлучения:

2) как уже отмечалось, в районе расположения туманности Андромеды ( $\beta^{11}$  —  $22^c$ ) весьма значительны флуктуации фонового радионизлучения Галактики.

С целью освобождения, по возможности, от влияния отдельных радионисточников, заметно превышающих по плотности потока среднеквадратичный уровень флуктуаций, обусловленных эффектом «путаницы» („confusion“), мы провели «чистку» исследуемой области. Эта процедура представляла собой процедуру вычитания из построенных изофот вклада дискретных источников малых угловых размеров. На рис. 2 и 3 представлены радиоизображения и изофоты исследуемой площадки, построенные

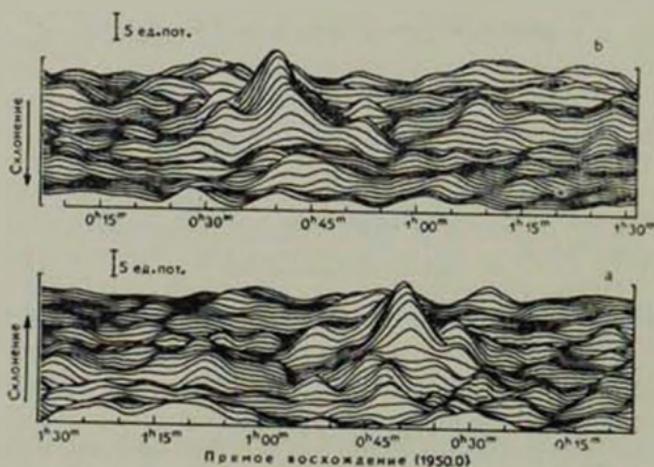


Рис. 2. Радиоизображение исследуемой площадки неба после вычитания вклада радионисточников малых угловых размеров: а) «вид с юга», б) «вид с севера». Масштаб шкалы плотностей потоков изображен в левом верхнем углу каждого рисунка.

после вычитания вклада 28 радионисточников из каталога 4С [9, 10], плотности потоков которых на частоте  $102.5 \text{ МГц}$  оцениваются не ниже 2.0 единиц потока. Помимо этого, в исследуемую область попадают еще 2 радионисточника из каталога 4С, плотность потока которых на частоте  $102.5 \text{ МГц}$  оказывается ниже 1.5 ед. потока. Влияние этих и более слабых, как прави-

ло, неразрешенных радиочастотных источников в значительной степени было учтено уже ранее при определении нулевого уровня в отдельных сканах.

На рис. 2а представлен «вид» на исследуемую площадку со стороны малых склонений (или «вид с юга»), в то время как рис. 2б позволяет нам рассмотреть площадку с противоположной стороны.

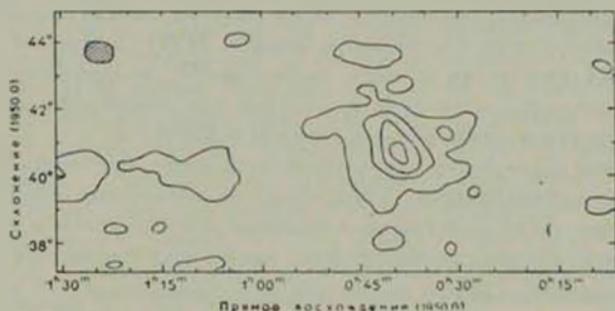


Рис. 3. Изофоты исследуемой площадки после вычитания вклада радиочастотных источников малых угловых размеров. Интервал антенной температуры между соседними контурами  $\Delta T_a = 100^\circ\text{K}$ . В левом верхнем углу представлен размер эффективной диаграммы направленности по уровню половинной мощности (заштрихованная площадка).

На рис. 3 изображены изофоты исследуемой области. Уровни антенной температуры представлены через  $100^\circ\text{K}$ . Шаг по изофотам в  $100^\circ\text{K}$  соответствует приросту антенной температуры при прохождении точечного источника в 4 ед. потока (1 ед. потока =  $10^{-26}$  вт/м<sup>2</sup> цз) через максимум диаграммы направленности радиотелескопа. Следует отметить еще раз, что указанные значения антенной температуры представляют собой лишь превышение последней над некоторым значением фоновой температуры, общей для данной области. Размер диаграммы направленности по уровню половинной мощности  $49' \times 35'$  указан в левом верхнем углу рис. 3 (заштрихованная площадка).

Следует отметить, однако, что, как видно из рис. 2 и 3, даже после описанной выше чистки в исследуемой области остается помимо туманности Андромеды еще несколько уярчений, максимальная величина которых заметно превышает средний уровень флуктуаций, обусловленных эффектом «путаницы». Наблюдаемое в области  $\alpha_{1950 0} = 0^\circ 33'$ ;  $\delta_{1950 0} = 41' 10'$  уярчение представляет собой суммарный вклад нескольких близко расположенных радиочастотных источников малых угловых размеров, которые можно найти в каталоге 5СЗ, т. е. представляет собой одну из значительных флуктуаций такого типа. Относительно других уярчений, в большинстве расположенных гораздо дальше от туманности Андромеды, трудно сказать, обусловлены ли они изолированными радиочастотными источниками с «крутыми спектрами» или аналогичными группами.

На рис. 2 и 3 достаточно рельефно выделяется излучение туманности Андромеды. Область, в которой наблюдается заметное превышение яркостной температуры над фоном, имеет диаметр  $4''$ . Средняя величина антенной температуры на контуре, ограничивающем указанную область, составляет  $72^\circ\text{K}$  (напомним, что это не абсолютная величина, а лишь превышение над некоторым общим для всей площадки уровнем). Оценка полной плотности потока, полученная путем интегрирования изофот в пределах указанной области (за вычетом фона в  $72^\circ\text{K}$ ) составляет  $(100 \pm 15)$  единиц потока. Некоторая ее часть несомненно обусловлена излучением более узкой дисковой составляющей, которая прослеживается на приведенных изофотах, как превышение над уровнем в  $200^\circ\text{K}$ .

Излучение диска легко отделить от остального излучения М 31 и на рис. 4, где изображен разрез «очищенных» от дискретных источников изофот туманности, перпендикулярный большой оси галактики и проходящий через ее центр. Плотность потока излучения диска на частоте  $102.5 \text{ МГц}$  оказывается равной  $(24 \pm 5)$  ед. потока, а угловой размер —  $2.3'' \times (\approx 0.6)$ . Верхняя оценка размера дисковой составляющей в направлении, перпендикулярном большой оси М 31, получена исходя из того, что в этом направлении ширина области излучения диска на изофотах очень близка к ширине эффективной диаграммы направленности.

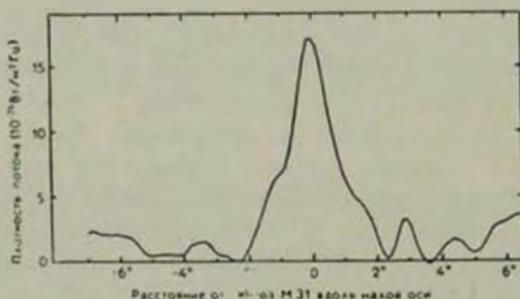


Рис. 4. Разрез изофот, представленных на рис. 3, перпендикулярный большой оси туманности и проходящий через ее центр.

Учитывая общий характер изофот и распределение фонового радиоизлучения в исследуемой области, можно заключить, что излучение небольшого шпура (о наличии которого говорится, например, в работе [6]) судя по всему незначительно, если только он вообще имеет место.

4. *Обсуждение.* Таким образом, анализ изофот, проведенный в предыдущем разделе, показал, что радиоизлучение туманности Андромеды на частоте  $102.5 \text{ МГц}$  можно разделить на излучение диска размером  $2.3'' \times (\approx 0.6)$  с плотностью потока  $S_d(102.5) = 24$  ед. потока и излу-

чение гало, диаметр которого составляет  $4^\circ$ , а плотность потока  $S_r(102.5) = 76$  ед. потока.

Как уже отмечалось во введении, в работе [6] была получена оценка плотности потока гало на частоте  $408 \text{ МГц}$ ,  $S_{\text{гало}}(408) = (8 \pm 8) \times 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ Гц}$ . Однако, хотя в работе [6] был выполнен тщательный анализ, по-видимому, лучших из существующих на сегодня изотоп исследуемой области, на наш взгляд, в ней допущена одна неточность. Так, в [6] указано, что общее превышение излучения над фоновым в площадке диаметром  $4^\circ$  вокруг М 31 составляет около 35 ед. потока. При этом в фоновое излучение вошло и излучение сравнительно слабых радионисточников, плотность потока которых меньше или сравнима с флуктуациями, обусловленными эффектом «путаницы» для 100-метрового радиотелескопа. В дальнейшем, учитывая вклад дискретных источников радиоизлучения в общее излучение площадки диаметром  $4^\circ$ , Вилебински вычитает суммарное излучение всех радионисточников из указанной области (25 ед. потока), обнаруженных в обзоре 5С3 [2] по наблюдениям на одномильном радиотелескопе Маллардской радиоастрономической обсерватории, вплоть до предельной плотности потока  $S_{100} = 12 \times 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ Гц}$ , что существенно ниже среднего значения флуктуаций эффекта «путаницы», наблюдаемых при работе на 100-метровом радиотелескопе. Тем самым вклад подавляющего большинства радионисточников вычитался из общего излучения площадки дважды.

По нашим оценкам соответствующий вклад радионисточников, плотность потока которых заметно превышает средний уровень флуктуаций, обусловленных эффектом «путаницы» при наблюдениях на 100-метровом радиотелескопе, составляет 9 ед. потока. Вычитая это значение, а также вклад дисковой компоненты ( $\approx 10$  ед. потока) из суммарного излучения площадки диаметром  $4^\circ$ , получим оценку плотности потока гало М 31 на частоте  $408 \text{ МГц}$  —  $S_{\text{гало}}(408) = (16 \pm 8) \times 10^{-26} \text{ вт/м}^2 \text{ Гц}$ .

Теперь уже не составляет труда найти спектральные индексы излучения гало и диска, а также неострые другие параметры радиоизлучения туманности Андромеды, которые приведены в табл. 1. При этом расстояние до М 31 принималось равным 690 клс, а при определении излучательной способности диска предполагалось, что полная толщина его равна 1 клс.

Найденные значения параметров радиоизлучения туманности Андромеды интересно сравнить с соответствующими значениями, определенными для нашей Галактики. К сожалению, пока еще не существует единого мнения о том, каковы относительные вклады диска и гало в общее фоновое излучение нашей Галактики, и здесь мы ограничимся результатами анализа фонового излучения, выполненного лишь в одной из последних работ [11], посвященных этому вопросу.

Таблица 1

НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ М 31

Физический параметр	Компонента	
	диск	гало
Угловой размер (общая протяженность)	$2.3 < (\approx 0.6)$	диаметр 4
Линейный размер, клс	28	50
Плотность потока в $10^{-26}$ ат/м <sup>2</sup> ц		
S (102.5 Мц)	$24 \pm 5$	$76 \pm 15$
S (408 Мц)	$9.5 \pm 1.0$	$16 \pm 8$
Спектральный индекс $\alpha$ (100–400 Мц)	$0.6 \pm 0.3$	$1.1 \pm 0.5$
Излучательная способность, (К клс)		
$\epsilon$ (102.5 Мц)	70	1.5
$\epsilon$ (408 Мц)	1.7	0.02

Излучательные способности единицы объема диска и гало нашей Галактики, представленные на рис. 4 работы [11], оказываются в среднем на порядок выше соответствующих величин, найденных для туманности Андромеды и приведенных в табл. 1. Этот факт свидетельствует о более высокой плотности космических лучей и (или) энергии магнитного поля в нашей Галактике. При этом определенный в работе [11] линейный размер дисковой компоненты радиоизлучения нашей Галактики (25 клс) практически совпадает с размером радиоблужающего диска туманности Андромеды (28 клс) и следовательно полная светимость диска нашей Галактики почти на порядок выше светимости диска М 31 по крайней мере в диапазоне 100–400 Мц. В то же время диаметр гало Галактики (25 клс) вдвое меньше диаметра гало М 31, и это приводит к тому, что светимости этих компонент радиоизлучения отличаются лишь вдвое.

Что касается спектров излучения отдельных компонент, то как видно из рис. 4 работы [11], спектральный индекс гало Галактики в диапазоне 100–400 Мц ( $\alpha_r = 0.9$ ) оказывается заметно больше спектрального индекса ее дисковой составляющей ( $\alpha_d = 0.4$ ). Приведенные в табл. 1 настоящей работы значения спектральных индексов указывают на то, что и в туманности Андромеды, по-видимому, имеет место аналогичная ситуация.

5. **Заключение.** Таким образом, наблюдения области туманности Андромеды, проведенные на антенне БСА ФИАН на частоте 102.5 Мц, показали, что 3/4 общего потока радиоизлучения туманности на этой частоте исходит от квазисферического гало. Сравнительно небольшая плотность

потока ( $S_{102} = 76$  ед. потока) и значительная угловая протяженность гало (диаметр порядка  $4^\circ$ ), а также крутой спектр его радиоизлучения ( $\alpha = 1.1$ ) чрезвычайно затрудняют выделение этой компоненты на общем фоне радиоизлучения нашей Галактики, особенно на сравнительно высоких частотах.

Сопоставление полученных по данным наблюдений параметров радиоизлучения туманности Андромеды с соответствующими данными о радиоизлучении нашей Галактики приводит к выводу, что Галактика является значительно более мощным и, главное, более ярким радиоисточником, чем туманность Андромеды, несмотря на то, что в оптическом диапазоне светимость последней втрое выше светимости Галактики. И хотя возможные в будущем уточнения существующих наблюдательных данных или коррекция предложенной в [11] модели радиоизлучения нашей Галактики могут подправить некоторые из приведенных выше количественных оценок, они едва ли качественно изменят этот вывод.

Авторы выражают глубокую благодарность академику В. Л. Гинзбургу и В. А. Догелю за проявленный интерес к работе и ценные замечания. Авторы признательны Л. Н. Алексеевой, А. С. Александрову, С. М. Кутузову, А. Г. Солину и П. Д. Цыганкову за помощь в проведении наблюдений.

Физический институт  
АН СССР

## THE ANDROMEDA NEBULA RADIO EMISSION AT 102.5 MHz

YU. V. VOLODIN, R. D. DAGKESAMANSKII

The observations of the Andromeda Nebula (M 31) have been made at 102.5 MHz with the large phased array of the Lebedev Physical Institute of the Academy of Sciences (USSR). The observation technique and the reduction of observations are described. Angular sizes, flux densities, spectral indices and emissivity of disk and halo-type components of M 31 are estimated. These values are compared with the corresponding physical parameters of our Galaxy.

## ЛИТЕРАТУРА

1. H. R. Brown, *C. Hazard*, M. N., 111, 357, 1951.
2. G. G. Pooley, M. N., 144, 101, 1969.
3. D. T. Emerson, M. N., 169, 607, 1975.
4. H. R. Brown, *C. Hazard*, M. N., 119, 297, 1959.
5. M. I. Large, D. S. Mathewson, C. G. T. Haslam, *Nature*, 183, 1250, 1959.
6. R. Wielebinski, *Astron. Astrophys.*, 48, 155, 1976.
7. C. G. T. Haslam, W. E. Wilson, D. A. Graham, G. C. Hunt, *Astron. Astrophys. Suppl. ser.*, 13, 359, 1974.
8. В. В. Виткевич, А. А. Глушас, Ю. П. Илясов, С. М. Кутузов, А. Д. Кульмин, М. М. Тяптин, Н. А. Алексеев, В. Д. Бунин, Г. Ф. Новоженков, Г. А. Павлов, Н. С. Солюмин, Препринт ФИАН № 78, 1976.
9. J. D. H. Pilkington, P. F. Scott, *Mem. R. A. S.*, 69, 183, 1965.
10. J. F. R. Gower, P. F. Scott, D. Wills, *Mem. R. A. S.*, 71, 49, 1967.
11. A. Webster, M. N., 171, 243, 1975.