

УДК 523.164.4

О СПЕКТРЕ НЕТЕПЛООВОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ГАЛАКТИКИ. НАБЛЮДЕНИЯ НА ЧАСТОТАХ 200 и 375 МГц

П. П. Беляев, А. Ф. Тарасов, Ю. В. Токарев, М. А. Юрищев

Приведены результаты измерений эффективной температуры распределенного космического радиоизлучения на частотах 200 и 375 МГц вдоль склонений $\delta = -10^\circ, 0^\circ, 15^\circ 30', 27^\circ, 35^\circ$ и $50^\circ 30'$ с угловым разрешением $7^\circ \times 7^\circ$. Определен спектр космического радиоизлучения в точках пересечения указанных кругов $\delta = \text{const}$ с плоскостью Галактики. В рамках метода T — T -диаграмм [1] исследованы вариации дифференциального спектра космического радиофона на высоких и промежуточных галактических широтах ($b > 10^\circ$). Предложен вариант анализа T — T -диаграмм для участков небосвода, где спектральный индекс галактического радиоизлучения $\beta_{\text{гал}}$ зависит от направления наблюдения. Построена карта $\beta_{\text{гал}}$ в области $12^{\text{h}} < \alpha < 21^{\text{h}}, -10^\circ < \delta < 50^\circ 30'$.

С целью дальнейшего изучения особенностей угловых вариаций радиоспектра Галактики в НИРФИ в 1977—79 гг. были проведены измерения интенсивности космического радиоизлучения на частотах 200 и 375 МГц вдоль склонений $\delta = -10^\circ, 0^\circ, 15^\circ 30', 27^\circ, 35^\circ$ и $50^\circ 30'$ с шириной луча приемных антенн $7^\circ \times 7^\circ$. Ранее подобные исследования на близких частотах 151,5 и 408 МГц были выполнены в [2] для $\delta = 16^\circ, 35^\circ$ и 52° с угловым разрешением $10^\circ \times 17^\circ$. В отличие от [2] антенные температуры для разных δ приведены в настоящем эксперименте к единому нулевому уровню и определены яркостные температуры космического радиоизлучения для области главного луча антенны на обеих рабочих частотах, что существенно увеличило возможности спектрального анализа экспериментальных данных. Измерения спектра радиофона для кругов склонений $\delta = -10^\circ$ и 0° , проходящих через интересные в астрофизическом плане области вблизи центра Галактики и Петли IV, в рассматриваемом диапазоне частот проводятся впервые. Относительно высокое угловое разрешение приемных антенн позволяет с большей уверенностью, чем в [2], судить о характере угловых вариаций радиоспектра вблизи нерегулярных особенностей радиоконтинуума. Результаты работы представляют интерес и в свете сравнения с данными спектральных измерений в других частотных диапазонах [1—10] с целью определения вида частотной зависимости крупномасштабных вариаций спектра нетеплового галактического радиоизлучения для областей в рассматриваемых экспериментах области $\delta \approx 15^\circ \div 50^\circ$.

Антенные системы. Наблюдения были выполнены на двух полноповоротных параболических радиотелескопах с диаметрами раскрытия 8 м (частота $\nu = 375$ МГц) и 15 м ($\nu = 200$ МГц). Зеркала радиотелескопов имели одинаковое фокальное отношение 0,36, конструкция и геометрические размеры облучателей также отвечали условию идентичности приемных антенн на вышеуказанных частотах.

Измерения диаграммы направленности антенн в пределах $\pm 30^\circ$ от электрической оси были выполнены по Солнцу. Для оценки эффектив-

* Измерения интенсивности космического радиоизлучения на частоте 240 МГц для $\delta = 35^\circ$ и 52° были выполнены также в [3].

ной площади антенн использовались наблюдения дискретного радиоисточника Кассиопея-А. На обеих рабочих частотах ширина главного луча антенны на уровне 0,5 по мощности была равна $7,0^\circ \pm 0,2^\circ$ и $7,1^\circ \pm 0,2^\circ$ в *E*- и *H*-плоскостях соответственно; коэффициент рассеяния по боковым лепесткам k_v (вне области с размером 8° от электрической оси) составил $(27 \pm 4)\%$.

Эксперименты с радиопередатчиками, установленными в волновой зоне радиотелескопов, показали, что дальние боковые лепестки диаграммы направленности обеих антенн распределены в верхнем полупространстве квазиизотропно.

Коэффициенты рассеяния в нижнее полупространство $k_{нв}$ оценивались путем определения вклада теплового радиоизлучения Земли в антенную температуру $T_{ав}$. С этой целью были выполнены абсолютные измерения эффективных температур небосвода $T_{дипв}$ на частотах 200 и 375 МГц, с помощью идентичных полуволновых вибраторов, расположенных на высоте $\lambda/4$ над металлическими экранами. Измеренные значения $T_{дипв}$ сравнивались затем со значениями $T_{ав}$, усредненными по расчетной диаграмме направленности рассматриваемых дипольных антенн. Было установлено, что при ориентации радиотелескопов в зенит экспериментальным значениям $T_{ав}$ отвечают коэффициенты рассеяния $k_{н200} = (8 \pm 3)\%$ и $k_{н375} = (7 \pm 1)\%$. Исследовалась также зависимость $k_{нв}$ от зенитного угла z радиотелескопа методом сопровождения заданной области небосвода при суточном вращении Земли [11]. На обеих рабочих частотах при изменении z от 0 до 70° коэффициенты рассеяния увеличивались на $(4 \pm 1)\%$.

Радиометры, тепловые эталоны. На частоте 375 МГц регистрирующее устройство представляло собой радиометр модуляционного типа с приемником прямого усиления. Полоса пропускания составила 3,8 МГц, чувствительность при постоянной времени 4 с — 0,6 К. Подавление интерференционной нестабильности осуществлялось двумя циркуляторами (до и после модулятора) с прямыми потерями не более 0,4 дБ и с развязками ≥ 28 дБ. Абсолютные калибровки антенных температур производились по двум температурным точкам. Первая задавалась нагрузкой, охлаждаемой жидким азотом, вторая — той же нагрузкой с последовательно подключенным аттенуатором, помещенным в термостат.

На частоте 200 МГц использовался аналогичный радиометр с полосой пропускания 2 МГц. Чувствительность его при постоянной времени 4 с составила 0,8 К. Для калибровки $T_{а200}$ в диапазоне 80 ÷ 300 К использовались две нагрузки, имеющие соответственно температуру жидкого азота и окружающей среды. При входных сигналах выше 300 С калибровка производилась по генератору шума на диоде 2Д2С.

На обеих рабочих частотах степень согласования антенн и тепловых эталонов в полосе приема радиометров поддерживалась на уровне КСВ $\leq 1,06$; паразитная модуляция не превышала флуктуационной чувствительности радиометров.

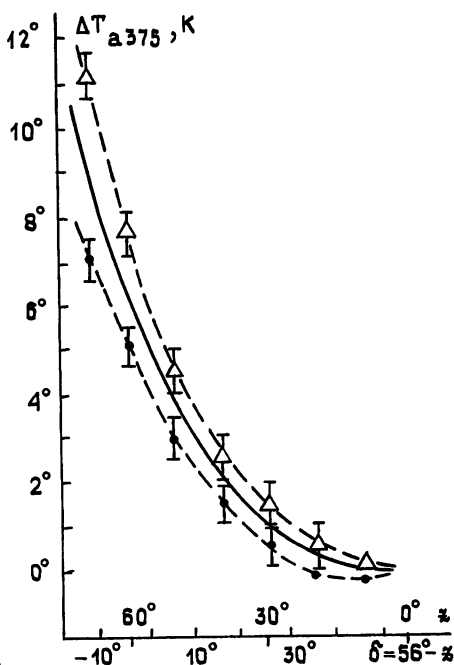
Методика наблюдений и обработки данных. Оба пункта наблюдений находились на географической широте $\varphi = 56^\circ$. В процессе измерений антенны были ориентированы на юг; за время одного сеанса прописывалась часть малого круга небесной сферы с $\delta = 56^\circ - z$, где z — зенитный угол оси антенны. Абсолютные калибровки $T_{ав}$ производились через 20 мин. Для контроля постоянства условий наблюдения периодически раз в два часа измерялся уровень радиоизлучения области Полярной звезды. Чтобы исключить влияние Солнца, работы производились в ночное время.

Как показали предварительные эксперименты, величина T_{av} для заданного направления наблюдения с экваториальными координатами (α, δ) , вообще говоря, меняется от сеанса к сеансу. Эти изменения обусловлены, в основном, непостоянством электрических свойств и температуры поверхности Земли. Временные вариации $T_{av}(\alpha, \delta)$ по абсолютной величине сравнимы на обеих частотах, но проявляются сильнее для $\nu = 375$ МГц, где яркостная температура небосвода меньше. С учетом этого мы использовали несколько различную методику обработки данных на разных частотах.

На частоте 375 МГц наблюдения были выполнены в феврале—апреле до таяния снежного покрова и в июне—июле 1979 г., причем для $\delta = -10^\circ, 0^\circ$ и $15^\circ 30'$ все измерения были завершены в «зимний» период. Температурные кривые $T_{a375}(\alpha)$ для $\delta = \text{const}$, полученные в разных сеансах, совмещались между собой сдвигом по оси температур. Записи, для которых уровень T_{a375} (Полярная) менялся за сеанс более чем на 3 К, считались плохими и не обрабатывались. Относительное расхождение совмещенных кривых $T_{a375}(\alpha)$, включенных в обработку, не превышало $\pm 0,5$ К для $\alpha = 05 \div 17^h$ и ± 1 К для участков, примыкающих к галактическому плану ($\alpha = 17 - 21^h$). Исключение составили области $13^h \leq \alpha \leq 16^h$ для $\delta = 15^\circ 30'$ и 27° вблизи Северного галактического выступа, где суточная повторяемость была $\pm 1,5$ К. Усреднение данных производилось по 3÷5 сеансам.

Рис. 1. Изменение вклада теплового радионизлучения Земли в T_{a375} при наклонах зеркала радиотелескопа:

$\Delta\Delta$ —данные измерений, область $\alpha = 05^h, \delta = 56^\circ$ на восходе; \dots —данные измерений, область $\alpha = 17^h, \delta = 56^\circ$ на заходе; — — значения ΔT_{a375} , использовавшиеся при нахождении нулевого уровня отсчета T_{a375} ; I — ошибки измерений.



Чтобы привести значения T_{a375} для разных δ к единому нулевому уровню, была выполнена программа привязки. В течение одного сеанса поочередно наблюдались небольшие участки ($\Delta\alpha \approx 20^m$) вдоль каждого из исследуемых кругов склонения. Измеренные уровни антенной температуры использовались в качестве опорных при отсчетах абсолютных значений T_{a375} для усредненных температурных кривых. С целью исключения возможных ошибок наблюдения по программе привязки проводились в марте 1979 г. во время кульминации холодных областей небосвода с малыми градиентами радиояркости ($\alpha = 09 \div 12^h$). Далее, из усредненных значений $T_{a375}(\alpha, \delta)$ были вычтены приращения антенной температуры $\Delta T_{a375}(z = 56^\circ - \delta)$, возникающие при наклонах зеркала радиотелескопа (см. рис. 1). Таким образом, вклад теплового радионизлучения Земли в результирующие значения антенных температур $T_{a375}(\alpha, \delta)$ одинаков для всех направлений наблюдения (α, δ) ; он отвечает ориентации антенны в зенит и состоянию подстилающей поверхности Земли во время сеансов привязки.

На частоте 200 МГц наблюдения продолжались с декабря 1977 г. по июнь 1978 г. Суточная повторяемость записей для большинства областей небосвода, в том числе и в направлении Полярной звезды, была в пределах ± 3 К, несколько возрастая для участков вблизи галактического плана. Обработка производилась простым усреднением значений T_{a200} по 3÷4 сеансам. Как и на частоте 375 МГц, антенные температуры были приведены к нулевому уровню, отвечающему ориентации антенны в зенит.

Ошибки измерений антенной температуры. Случайные ошибки измерений антенной температуры проявляются в статистическом разбросе обработанных записей относительно среднего уровня T_{av} (см. предыдущий раздел).

Основной вклад в систематическую ошибку T_{av} вносит процедура калибровок антенной температуры по тепловым эталонам. Поскольку точность определения эквивалентной температуры эталонов на разных уровнях была неодинаковой, систематическая ошибка T_{av} зависит от величины измеряемого сигнала. Значения среднеквадратичных ошибок измерений T_{av} приведены в табл. 1.

Таблица 1

Среднеквадратичные ошибки измерений антенных температур на частотах 200 и 375 МГц -

Частота, МГц	Антенная температура, К	Случайная ошибка, К	Систематическая ошибка, К	Суммарная ошибка, К
200	100	2	1,8	2,7
	300	2	1,1	2,3
	600	2,5	6,1	6,6
	900	3	12	12,3
375	40	0,3	0,9	1
	80	0,3	0,5	0,6
	130	0,5	0,9	1,2
	220	0,75	2,5	2,6

Эффективная температура космического радиоизлучения. Измеренную в настоящем эксперименте антенную температуру можно представить в виде

$$T_{av} = (1 - k_v) T_v + k_{bv} T_{bv} + T_{0v}, \quad (1)$$

где T_v и T_{bv} — средние значения яркостной температуры космического радиоизлучения соответственно для областей главного луча и боковых лепестков диаграммы направленности антенны, T_{0v} — вклад в T_{av} теплового радиоизлучения Земли и атмосферы, $k_{bv} = k_v - k_{bv}$ — коэффициент рассеяния по боковым лепесткам в верхнем полупространстве.

При исследовании спектра космического радиоизлучения наибольший интерес представляет, очевидно, величина T_v . Для ее вычисления необходимо оценить фигурирующие в (1) эффективные температуры T_{bv} и T_{0v} .

По методике эксперимента на каждой из рабочих частот температура $T_{0v} = \text{conts}(\alpha, \delta)$ и определяется условиями наблюдений в сеансах привязки. Эквивалентная температура поверхности Земли в этот период составила (265 ± 5) К. Как показано в [13], яркостная температура атмосферы в зените не превышает 0,6 К на частоте 200 МГц и равна $(0,7 \pm 0,6)$ К на частоте 375 МГц. В результате при коэффициентах рассеяния $k_{R200} = (8 \pm 3) \%$, $k_{R375} = (7 \pm 1) \%$ находим, что $T_{0200} = (21,8 \pm 8)$ К и $T_{0375} = (19,3 \pm 3)$ К.

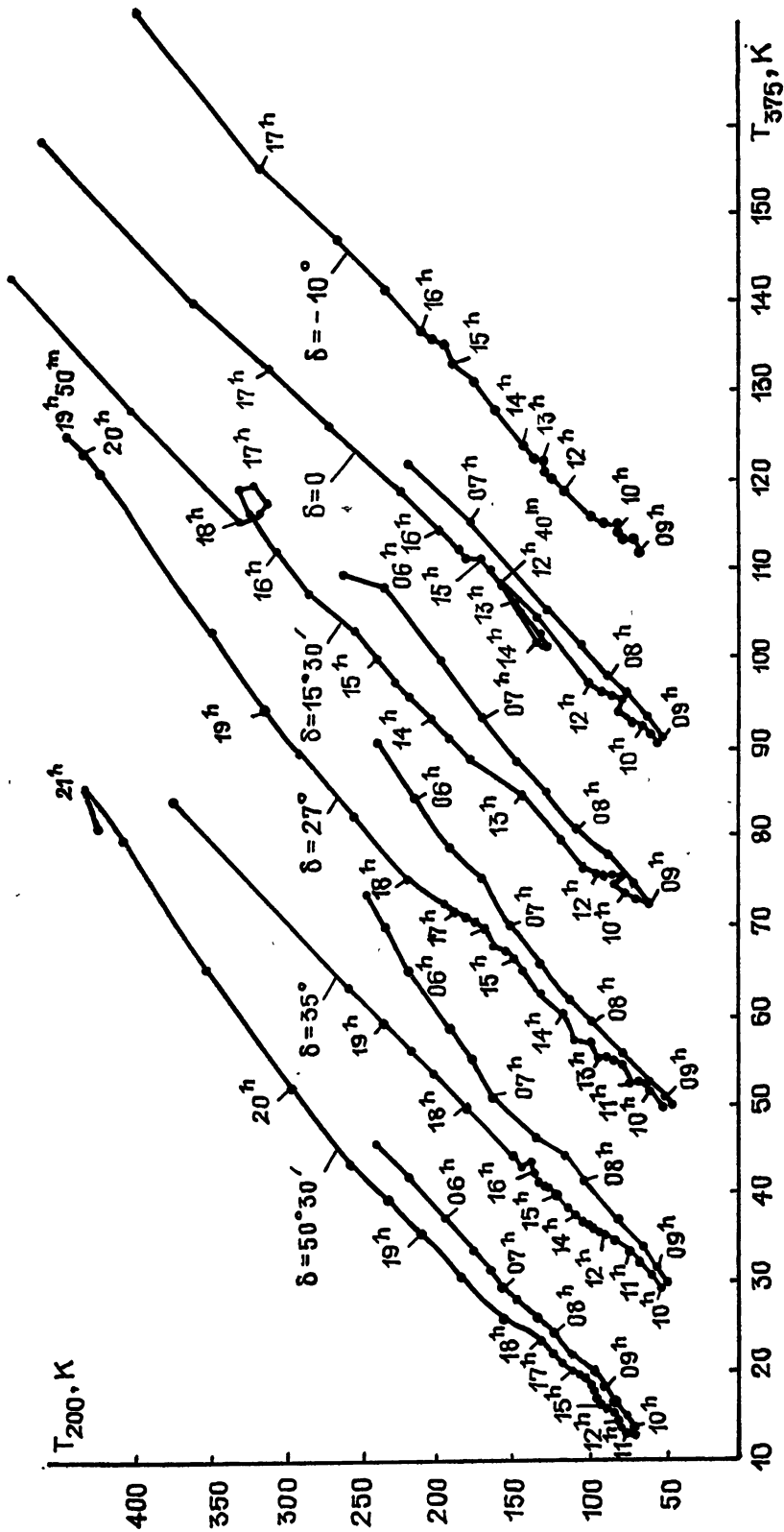


Рис. 2. $T-T$ -диаграммы на частотах 200 и 375 МГц для склонений $\delta = 50^\circ 30'$, 35° , 27° , $15^\circ 30'$, 0° и -10° . Начала отсчетов T_{200} для $\delta = 35^\circ$, 27° , $15^\circ 30'$, 0° и -10° сдвинуты по оси абсцисс соответственно на 20, 40, 60, 80 и 100 К.

Для оценки $T_{\text{вн}}$ мы воспользовались радиоизотопами на частотах 178 МГц [12] и 404 МГц [11]*. Яркостные температуры $T_{178}(\alpha, \delta)$ и $T_{404}(\alpha, \delta)$ были усреднены по области верхнего полупространства пункта наблюдения ($\varphi = 56^\circ$) на заданные моменты звездного времени и затем пересчитаны на частоты 200 и 375 МГц соответственно по степенному закону со спектральным индексом 2,6**.

Полученные таким образом эффективные температуры $T'_{\text{вн}}$ приведены в табл. 2. Они, вообще говоря, отличаются от искомой величины $T_{\text{вн}}$ в (1). Возможные отличия, однако, невелики и в силу идентичности приемных антенн на рабочих частотах несущественны при анализе спектра радиодина**.

Таблица 2

Суточные вариации средних по верхнему полупространству значений T_{200} и T_{375} для $\varphi = 56^\circ$

Звездное время, h	T'_{200} , К	T'_{375} , К	Звездное время, h	T'_{200} , К	T'_{375} , К
04	145	27,5	14	180	35
06	135	26	16	192	37,5
08	140	26,5	18	197	39
10	165	33	20	195	38,5
12	175	34,5	22	185	36

Подставляя найденные значения $T_{\text{вн}}$ и $T_{0\nu}$ в (1), можно найти эффективную температуру космического радиоизлучения для области главного луча T_{ν} . Результаты этих вычислений, отвечающие экспериментальным данным, приведены на рис. 2 в виде зависимостей $T_{200}(\alpha)$ от $T_{375}(\alpha)$ для каждого из исследованных кругов склонений, а также в табл. 3****. Расчеты выполнены для $k_{200} = k_{375} = 0,27$, $k_{200} = k_{375} = 0,2$, $T_{0200} = 21,8$ К, $T_{0375} = 19,3$ К и $T_{\text{вн}} = T'_{\text{вн}}$ из табл. 2. Поскольку в статье обсуждается спектр нетеплового космического радиоизлучения, значения T_{ν} даны за вычетом температуры изотропного реликтового излучения 2,7 К. Нулевой уровень T_{ν} определен с точностью ± 11 К на частоте 200 МГц и ± 4 К на частоте 375 МГц. С учетом сказанного о различии $T_{\text{вн}}$ и $T'_{\text{вн}}$ ошибка относительных значений T_{ν} равна $(1 - k_{\nu})^{-1} \delta T_{\text{ав}} \approx 1,48 \delta T_{\text{ав}}$, где $\delta T_{\text{ав}}$ — среднеквадратичная ошибка измерений антенной температуры (см. табл. 1).

Спектр галактического радиоизлучения. Табл. 3 характеризует радиоспектр космического излучения плоскости Галактики в диапазоне 200—375 МГц по данным настоящей работы. Значения T_{200} , T_{375} и l отвечают точкам пересечения соответствующих кругов склонений с галактическим экватором, l — галактическая долгота. Температурный спектральный индекс космического радиоизлучения β находился из соотношения

$$\beta = \lg(T_{200}/T_{375}) \lg^{-1}(375/200). \quad (2)$$

* В соответствии с выводами [14] мы учли, что нулевой уровень T_{404} в [11] завышен на 4 К.

** Из-за близости рассматриваемых частот ошибки пересчета, связанные с некоторым произволом выбора спектрального индекса, пренебрежимо малы.

*** Учитывая квазиизотропный характер распределения боковых лепестков радиотелескопов РТ-8 и РТ-15 в верхнем полупространстве, естественно ожидать, что $|T_{\text{вн}} - T'_{\text{вн}}| \leq T'_{\text{вн}}$. Как показывают оценки, соответствующая поправка спектрального индекса космического радиодина не превышает $\pm 0,03$.

**** Точки рис. 2 отвечают дискретным значениям α с интервалом 20^m ($\alpha = 05^h$; $05^h 20^m$ и т. д.). В областях небосвода с малыми градиентами радиояркости некоторые направления наблюдения опущены. Из-за недостатка места подробные таблицы $T_{\nu}(\alpha, \delta)$ и таблицы экспериментальных значений $T_{\text{ав}}(\alpha, \delta)$ на каждой из рабочих частот мы здесь не приводим.

В направлениях № 1, 2 основной вклад в T_v дает локальный радиорукав, в направлениях № 4, 5 — центральный радиодиск Галактики, направление № 3 лежит в «просвете» между рукавами Ориона и Стрельца. Как следует из наблюдений диффузного H_α -излучения, в интервале $30^\circ \leq l \leq 70^\circ$ мера эмиссии межзвездного ионизованного газа с электронной температурой ~ 6000 К не превышает $50 \text{ см}^{-6} \cdot \text{пс}$ [15]. Влияние ионизованного газа на результаты настоящих наблюдений при этом пренебрежимо мало: соответствующая поправка β для направлений № 3÷5 составляет менее 0,02. В интервале $70^\circ \leq l \leq 90^\circ$ интенсивность H_α -эмиссии и, следовательно, тепловое излучение межзвездных HII -областей становится более заметным, и здесь необходимо более подробный анализ данных наблюдений.

Таблица 3

Спектр космического радиоизлучения плоскости Галактики
в диапазоне 200—375 МГц

№	δ	l	T_{200} , К	T_{375} , К	β
1	$50^\circ 30'$	93°	421	80,5	$2,63 \pm 0,12$
2	35°	74°	591	113	$2,63 \pm 0,08$
3	27°	64°	443	84,5	$2,63 \pm 0,1$
4	$15^\circ 30'$	51°	680	140	$2,51 \pm 0,07$
5	0°	33°	1150	253	$2,41 \pm 0,05$

Подобным образом можно определить спектр радиоизлучения и для других направлений наблюдения. Однако из-за близости рабочих частот и относительно большой неопределенности оценки нулевого уровня T_v (в первую очередь, на частоте 375 МГц) ошибка β с уменьшением радиояркости возрастает. В этих условиях для анализа радиоспектра в области высоких и промежуточных галактических широт более эффективной становится так называемая методика $T-T$ -диаграмм [1], основанная на использовании относительных значений T_v .

На рис. 3 представлена $T-T$ -диаграмма для совокупности экспериментальных данных, полученных в настоящей работе. Плотная группировка точек в «холодных» областях небосвода подтверждает, что привязка разных разрезов $\delta = \text{const}$ произведена достаточно корректно. Обращает на себя внимание характерное изменение среднего наклона в зависимости от радиояркости и довольно широкий разброс точек диаграммы в диапазоне $20 \text{ К} \leq T_{375} \leq 50 \text{ К}$.

$T-T$ -диаграммы для отдельных кругов склонений существенно отличаются друг от друга. Однако, несмотря на индивидуальные особенности, все они обладают рядом общих черт (см. рис. 2). Каждая из диаграмм состоит из двух ветвей*, причем раздвоение начинается в области минимальных температур. Зависимость $T_{200}(T_{375})$ на нижней ветви ($\alpha \leq 10^h$) близка к линейной, в то время как на верхней ветви ($\alpha > 10^h$) крутизна диаграммы зависит от T_v . В табл. 4 приведены тангенсы углов наклона прямых n , аппроксимирующих отдельные участки $T-T$ -диаграмм для фиксированных δ , а также отвечающие им значения дифференциальных спектральных индексов $\beta_{\text{диф}}$, определяемых соотношением

$$\beta_{\text{диф}} = \lg n \lg^{-1}(375/200). \quad (3)$$

Численные значения n находились по методу наименьших квадратов, погрешности n и $\beta_{\text{диф}}$ зависят от соотношения между ошибками относительных значений и величиной изменения T_v на рассматриваемом участке небосвода.

* Для $\delta = -10^\circ$ наблюдения на частоте 375 МГц при $\alpha < 09^h$ не производились.

Выбор областей в табл. 4 определялся связью их радиоизлучения с особенностями радиофона (локальный радиорукав, выступы радиофона и т. д.) или удобством сравнения с данными других авторов (области I, II; см. [2-4]). В большинстве рассмотренных случаев перепад температур между «холодными» и «горячими» участками в исследуемой области $\Delta T_{375} \geq 20$ К, из-за увеличения ошибки $\beta_{\text{диф}}$ детали радиофона с $\Delta T_{375} < 10$ К отдельно не рассматривались. Также исключались из анализа низкие галактические широты $|b| < 10^\circ$, где может быть заметным тепловое излучение межзвездного ионизованного газа.

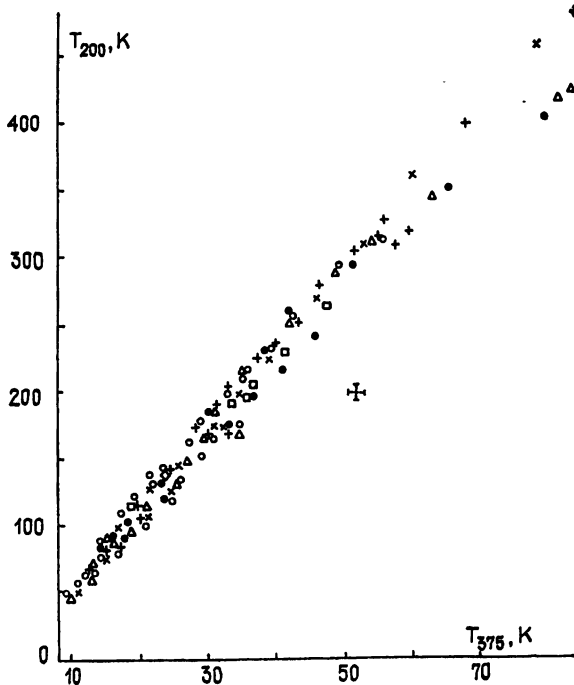


Рис. 3. T — T -диаграмма на частотах 200 и 375 МГц для совокупности экспериментальных данных. Исключены области высокой поляризации радиофона ($T_{\text{п}408} > 1,5$ К, по данным [16]) и низких галактических широт ($b < 10^\circ$).
 \dots — $\delta = 50^\circ 30'$, $\circ \circ \circ$ — $\delta = 35^\circ$, $\Delta \Delta \Delta$ — $\delta = 27^\circ$, $+ + +$ — $\delta = 15^\circ 30'$, $\times \times \times$ — $\delta = 0^\circ$, $\square \square \square$ — $\delta = -10^\circ$,
 $+ -$ — ошибки измерений.

При выводе величины $\beta_{\text{диф}}$ необходимо, вообще говоря, учитывать поляризацию распределенного космического радиоизлучения. В диапазоне 200÷375 МГц данные о температуре $T_{\text{пв}}$ и позиционном угле $\chi_{\text{в}}$ поляризованной компоненты радиоизлучения для интересующих нас областей небосвода практически отсутствуют, и для количественной оценки указанного эффекта мы воспользовались поляризационными измерениями на частоте 408 МГц [16]. Как правило, $T_{\text{п}408} < 1$ К, хотя в отдельных участках небосвода вблизи СГВ, Петли III и на высоких галактических широтах $T_{\text{п}408}$ достигает 3÷4 К. В соответствии с выводами [17], где производился анализ частотной зависимости деполяризации космического радиоизлучения, можно ожидать, что $T_{\text{п}200} \simeq T_{\text{п}375} \simeq T_{\text{п}408}$. Из-за фарадеевского вращения плоскости поляризации на пути распространения радиоволн, включая ионосферу, позиционные углы χ_{200} и χ_{375} могут отличаться друг от друга (и от χ_{408}), что для линейно-поляризованных антенн приводит к ошибке определения $T_{\text{в}}$. Чтобы исклю-

читать эту неопределенность, направления наблюдения, для которых вектор поляризации упорядочен на угловых размерах $\sim 7^\circ \times 7^\circ$ или $T_{\text{п40в}} \gtrsim 1,5 \text{ К}$, не рассматривались. Для остальных областей небосвода ошибка $\beta_{\text{диф}}$ в табл. 4 из-за эффектов поляризации радиофона не превышает $\pm 0,05$.

Как известно, дифференциальный индекс $\beta_{\text{диф}}$ совпадает со спектральным индексом галактического радиоизлучения $\beta_{\text{гал}}$ при условии независимости последнего от направления наблюдения [1]. Результаты нашего эксперимента (см. табл. 4) свидетельствуют о заметных угловых вариациях радиоспектра Галактики в диапазоне $200 \div 375 \text{ МГц}$. При этом величины $\beta_{\text{диф}}$, формально найденные с помощью T - T -диаграмм, можно использовать в качестве оценки $\beta_{\text{гал}}$ лишь для отдельных участков небосвода, где $\beta_{\text{гал}} = \text{const}(\alpha, \delta)$.

Рассмотрим теперь несколько иную методику анализа спектра галактического радиоизлучения, пригодную при любом характере зависимости $\beta_{\text{гал}}$ от небесных координат. Пусть (α, δ) и (α_0, δ_0) есть направления наблюдения с одинаковой эффективной температурой $T_{375}(\alpha, \delta)$. При наличии угловых вариаций $\beta_{\text{гал}}$ разность $\Delta T_{200} = T_{200}(\alpha, \delta) - T_{200}(\alpha_0, \delta_0)$, вообще говоря, отлична от нуля, причем, как нетрудно показать,

$$\beta_{\text{гал}}(\alpha, \delta) = \beta_{\text{гал}}(\alpha_0, \delta_0) + \lg \left[1 + \frac{\Delta T_{200}}{T_{200}(\alpha, \delta) - T_{\text{мет}200}} \right] \lg^{-1}(375/200), \quad (4)$$

где $T_{\text{мет}200}$ — эффективная температура изотропного метagalактического радиоизлучения на частоте 200 МГц .

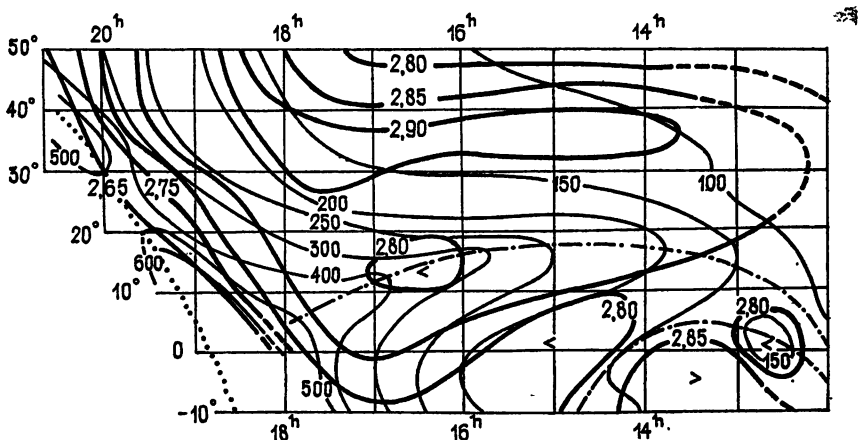


Рис 4 Карта галактического спектрального индекса $\beta_{\text{гал}}$, построенная по данным настоящего эксперимента в предположении $\beta_{\text{гал}} = \text{const}(\alpha, \delta)$ в области антицентра ($07^{\text{h}} \lesssim \alpha \lesssim 10^{\text{h}}, \delta = 15^\circ 30', 27^\circ, 35^\circ$)

\langle, \rangle — области минимумов или, соответственно, максимумов $\beta_{\text{гал}}$, — — линии постоянного $\beta_{\text{гал}}$, - - - - - изофоты T_{200} , - · - · - гребень СГВ, ····· — галактический экватор.

Из (4) видно, что разность $\beta_{\text{гал}}$ между двумя направлениями наблюдения с одинаковой температурой T_{375} полностью определяется значениями ΔT_{200} и $T_{200}(\alpha, \delta)$. Отсюда следует, что если спектральный индекс $\beta_{\text{гал}}$ известен хотя бы для одной точки T - T -диаграммы, по оси ординат которой отложены абсолютные значения T , на частоте 200 МГц , то его величину можно определить для произвольного направления наблюдения (α, δ) . Для этого через опорную точку с известным $\beta_{\text{гал}}^0$ проводится прямая с тангенсом угла наклона $n_0 = = (375/200) \beta_{\text{гал}}^0$. На ней отыскивается точка (α_0, δ_0) , для которой

Дифференциальный спектр космического радионизлучения в диапазоне 200—375 Мгц
для склонений $\delta = 50^{\circ}30'$, 35° , 27° , $15^{\circ}30'$, 0° и -10°

δ	α (h, m)	l, b , угл. град	Область	$n \pm \Delta n$	$\nu_{\text{эфф}} \pm \Delta \nu$	Примечание
$50^{\circ}30'$	06.00—09.40	(163; 13) \div (167; 47)	I, Петля III II Петля III	5,25	2,63	Исключающая $\alpha =$ $= 06^{\text{h}} 40^{\text{m}}$ и $07^{\text{h}} 00^{\text{m}}$
	10.00—17.00	(166; 50) \div (77; 38)		5,7	0,76	
	17.20—19.40	(76; 36) \div (83; 135)		6,3	0,2	
35°	06.40—09.40	(183; 13) \div (190; 50)	I	5,3	2,65	
	10.00—16.00	(190; 53) \div (66; 50)	II	7,05	3,1	
27°	06.40—09.20	(187; 10) \div (201; 44)	I СГВ	5,2	2,62	Исключающая $\alpha =$ $= 14^{\text{h}} 20^{\text{m}} \div 15^{\text{h}} 40^{\text{m}}$
	10.00—18.40	(204; 53) \div (57; 14)		6,2	0,2	
$15^{\circ}30'$	07.00—09.40	(200; 10) \div (218; 44)	I СГВ	5,2	2,62	Исключающая $\alpha =$ $= 13^{\text{h}} 00^{\text{m}} \div 15^{\text{h}} 00^{\text{m}}$
	10.00—16.00	(221; 48) \div (27; 44)		6,15	0,18	
0°	07.20—09.40	(216; 06) \div (237; 37)	Петля IV	5	2,56	
	12.00—15.20	(278; 60) \div (102; 44)		4,87	0,3	
	15.40—17.20	(06; 41) \div (22; 21)		6,2	0,25	
-10°	11.00—16.00	(264; 44) \div (001; 30)	СГВ, Петля IV	5,5	2,65	
	16.00—17.00	(001; 30) \div (010; 19)		6,05	0,35	

$T_{375} = T_{375}(\alpha_0, \delta_0)$, и определяется величина $T_{200}(\alpha_0, \delta_0)$. Подставив $T_{200}(\alpha_0, \delta_0)$ в (4) и замечая, что $\beta_{\text{гал}}(\alpha_0, \delta_0) = \beta_{\text{гал}}^0$, без труда находим $\beta_{\text{гал}}(\alpha, \delta)$.

Пользуясь этой методикой, мы обработали T — T -диаграммы рис. 2 для участков с $\alpha \geq 12^{\text{h}}$. Принималось, что $\beta_{\text{гал}} = \beta_{\text{диф}} = \text{const}$ в области $07^{\text{h}} \leq \alpha \leq 10^{\text{h}}00^{\text{m}}$ для $\delta = 15^{\circ}30', 27^{\circ}, 35^{\circ}$. Это предположение хорошо согласуется с результатами исследований спектра космического радифона в районе антицентра Галактики в широком диапазоне частот с различным угловым разрешением [$1-10$]. По данным наших измерений в рассматриваемой области $\beta_{\text{диф}} = 2,63 \pm 0,06$. Поскольку на каждой из рабочих частот эффективные температуры T_v для разных кругов склонения приведены к единому нулевому уровню, значения $\beta_{\text{гал}}$, вычисленные с помощью соотношения (4) и рис. 2 для разных δ , также сопоставимы между собой. Наглядное представление о характере угловых вариаций галактического радиоспектра на частотах 200 и 375 МГц дает карта $\beta_{\text{гал}}(\alpha, \delta)$, построенная по результатам указанных расчетов на рис. 4. Значения $\beta_{\text{гал}}$ приведены для $T_{\text{мет } 200} = 22 \text{ K} [^4]$, $\beta_{\text{диф}}$ (антицентр) = 2,63. Их погрешность зависит от величины T_{200} и меняется от $\pm 0,06$ для $T_{200} = 400 \text{ K}$ до $\pm 0,11$ для $T_{200} = 100 \text{ K}$.

В целом результаты нашего эксперимента свидетельствуют о сложной картине угловых вариаций спектрального индекса нетеплового радиоизлучения Галактики в рассматриваемом диапазоне частот 200 ÷ ÷ 375 МГц. На регулярную картину уменьшения $\beta_{\text{гал}}$ с уменьшением галактической широты накладываются особенности, коррелирующие с местным радиорукавом, «центральный» радиодиск Галактики, СГВ, Птлями III и IV. В частности, обращает на себя внимание уменьшение спектрального индекса $\beta_{\text{гал}}$ вдоль галактического экватора от $2,63 \pm 0,1$ для $l = 64^{\circ}$ до $2,41 \pm 0,05$ для $l = 33^{\circ}$, не связанное с тепловым излучением межзвездного ионизованного газа, а также аномалия высоких значений $\beta_{\text{гал}} = 2,9 \pm 0,1$ на северной периферии СГВ, существование которой отмечено и на более высоких частотах [$10, 18$]. Подробный анализ полученных результатов и сравнение с данными других авторов будут приведены в следующей статье.

В заключение авторы приносят глубокую благодарность С. А. Волохову и Н. М. Прыткову за помощь в разработке аппаратуры, А. Н. Маресову, подготовившему к наблюдениям радиотелескоп РТ-8, Ф. А. Амосову и В. А. Мельникову, принявшим участие в наблюдениях, Т. С. Токаревой за обработку данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Turtle A. J., Pugh J. F., Kenderdine S., Pauliny-Toth I. K.—Month. Not. R. A. S., 1962, 124, p. 297.
2. Sironi G.—Month. Not. R. A. S., 1974, 166, p. 345.
3. Виняйкин Е. Н.—Астрон. журн., 1978, 55, № 2, с. 307.
4. Bridle A. H.—Month. Not. R. A. S., 1967, 136, p. 219.
5. Жук И. Н. Изв. вузов — Радиофизика, 1973, 16, № 5, с. 754.
6. Беляев П. П., Гетманцев Г. Г., Зиничев В. А., Рахлин А. В., Тарасов А. Ф., Токарев Ю. В. — Изв. вузов — Радиофизика, 1976, 19, № 1, с. 12.
7. Беляев П. П., Гетманцев Г. Г., Тарасов А. Ф., Токарев Ю. В.—Астрон. журн., 1976, 53, № 2, с. 273
8. Purton C. R.—Month. Not. R. A. S., 1966, 133, p. 463
9. Howell T. F.—Astroph. Lett, 1970, 6, p. 45.
10. Webster A. S.—Month. Not. R. A. S., 1974, 166, p. 355.
11. Pauliny-Toth I. K., Shakeshaft J. R.—Month. Not. R. A. S., 1962, 124, p. 61.
12. Turtle A. J., Baldwin J. E.—Month. Not. R. A. S., 1962, 124, p. 459.
13. Howell T. F., Shakeshaft J. R.—J. Atm. Terr. Phys., 1967, 29, p. 1559.
14. Price R. M.—Austral. J Phys., 1970, 23, p. 227.
15. Reynolds R. J., Scherb F., Roesler F. L.—Astroph. J., 1973, 185, p. 869.
16. Brown W. N., Spoelstra T. A.—Astron. Astroph. Suppl., 1976, 26, p. 129.

17. Wilkinson A, Smith F. G. — Month. Not. R. A. S., 1974, 167, p. 593.
18. Berkhuysen E. N.—Astron. Astroph, 1971, 14, p. 359.

Научно-исследовательский
радиофизический институт

Поступила в редакцию
28 октября 1982 г.

THE SPECTRUM OF NONTHERMAL RADIATION OF THE GALAXY OBSERVATIONS AT 200 AND 375 MHz

P. P. Belyaev, A. F. Tarasov, Yu. V. Tokarev, M. A. Yurishchev

Measurement results are given for the effective temperature of distributed cosmic radiation at 200 and 375 MHz along declinations $\delta = -10^\circ, 0^\circ, 15^\circ 30', 27^\circ, 35^\circ$ and $50^\circ 30'$ with the angular resolution of $7^\circ \times 7^\circ$. The spectrum of the cosmic radiation has been defined at points where the given circles $\delta = \text{const}$ cross the Galaxy plane. In the frames of the method of T - T -diagrams [1] variations of the differential spectrum is investigation of the cosmic background at high and intermediate galactic latitudes ($b > 10^\circ$). A variant of the analysis is suggested of T - T -diagrams for regions of the sky, where the spectral index of the galactic radiation $\beta_{\text{г.л}}$ depends on the direction of observation. A map has been built of $\beta_{\text{г.л}}$ in the region $12^{\text{h}} < \alpha < 21^{\text{h}}, -10^\circ < \delta < 50^\circ 30'$.

ИНФОРМАЦИЯ О НОВЫХ КНИГАХ

Гинзбург В. Л., Цытович В. Н. Переходное излучение и переходное рассеяние (некоторые вопросы теории). — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 25 л.

В книге с общезначимых позиций обсуждаются процессы излучения частиц при их переходе из одной среды в другую и при изменении свойств сред во времени (переходное излучение). В случае периодических сред переходное излучение приобретает ряд специфических свойств и называется переходным рассеянием. В книге обсуждаются не только общие представления о переходном излучении, переходном рассеянии и переходном тормозном излучении, но и различные конкретные приложения, относящиеся к физике плазмы, астрофизике и т. д.

Книга предназначена для научных работников, интересующихся вопросами теоретической физики, физики плазмы, астрофизики и т. д., а также студентов старших курсов и аспирантов.

Басс Ф. Г., Бочков В. С., Гуревич Ю. Г. Электроны и фононы в полупроводниках. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984.—20 л.

Книга является первой в мировой литературе работой, в которой с единых позиций излагается поведение электронов и фононов в температурных и электрических полях в полупроводниках конечных размеров с учетом их произвольного разогрева и взаимного увлечения.

В книге дана общая кинетическая теория нелинейных гальвано- и термомагнитных явлений, на основе которой найдены выражения для различных эффектов в образцах конечных размеров.

Книга предназначена для научных работников, инженеров и студентов старших курсов, специализирующихся в области физики полупроводников и полупроводниковой электроники, физики тонких пленок и др.

Заславский Г. М. Стохастичность динамических систем. — М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1984. — 18 л.

В книге дано систематическое описание явления стохастичности. Стохастичность (или хаос) возникает в нелинейных динамических системах при определенных условиях, и ее появление не обусловлено действием каких-либо случайных сил. Интерес к явлению стохастичности вызван его связью с проблемами устойчивости динамических систем, турбулентностью, а также приложениями в различных областях физики.

Книга для научных работников, студентов старших курсов и аспирантов, физиков и математиков. Для всех, кто интересуется проблемами статистической физики и теории динамических систем.