

УДК: 524.64—77

НЕТЕПЛОВОЕ РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЦЕНТРА ГАЛАКТИКИ

Ч. Н. СЕИТНЕПЕСОВ, А. Х. ХАНБЕРДИЕВ

Поступила 11 июня 1984

Принята к печати 3 ноября 1984

Анализируются различные модели активности источника нетеплового радиоизлучения в центре Галактики. Вычислены профили галактического нетеплового радиоизлучения на частотах 85 и 150 МГц на основе трехкомпонентной модели наблюдаемого галактического радиоизлучения «Стационарное ядро—радиодиск—оболочечные объекты». Наблюдаемые профили сравниваются с расчетными. Наблюдаемое угловое распределение нетеплового радиоизлучения Галактики согласуется с моделью стационарного источника космических электронов в галактическом центре. Рассмотрена модель происхождения галактических космических электронов согласно которой, большая часть космических электронов образуется во время периодической активности галактического ядра.

Известно, что ядро нашей Галактики является источником мощного нетеплового радио, инфракрасного, рентгеновского и оптического излучений [1—4]. Однако природа центрального источника неизвестна. В настоящее время рассматриваются три основных типа моделей центральных источников в ядрах активных галактик: 1) Компактное звездное скопление, 2) Сверхмассивное магнитоплазменное тело (магнитоид), 3) Аккрецирующая сверхмассивная черная дыра.

Наблюдательные данные свидетельствуют в пользу единого тела как модели центральных источников в ядрах галактик [5].

Выбор между двумя концепциями единого тела (магнитоид или черная дыра) пока затруднен из-за отсутствия наблюдательных данных по излучению ядер галактик во всем диапазоне волн, хотя в [6] указано, что источником нетепловой энергии в ядре Галактики, скорее всего, является аккреция межзвездного газа на массивную ($M \sim 3 \cdot 10^4 M_{\odot}$) черную дыру, являющуюся ядром Галактики. Вопрос о механизме активности центрального источника нетеплового радиоизлучения до сих пор остается открытым.

Исходя из анализа углового распределения яркостной температуры нетеплового радиоизлучения на частоте 85 МГц в [7] было высказано предположение, что в центральной области Галактики действует стацио-

нарный источник релятивистских электронов, который обуславливает очень сильную концентрацию нетеплового радиоизлучения к центру и плоскости Галактики в области с угловыми размерами $\pm 60^\circ$ по долготе, $\pm 30^\circ$ по широте относительно центра Галактики.

Для проверки модели стационарного источника в центре Галактики в [8—10] нами было вычислено угловое распределение яркостной температуры нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц при следующих предположениях:

а) в ядре Галактики действует стационарный источник электронов постоянной мощности Q_0 ;

б) крупномасштабное магнитное поле Галактики является изотропным, причем $H_{\perp}^{(\gamma+1)/2} = \text{const}$;

в) энергетический спектр релятивистских электронов представляет собой степенную функцию от энергии $N(E) = KE^{-\gamma}$, где γ — показатель энергетического спектра релятивистских электронов;

г) распространение релятивистских электронов из галактического диска носит диффузионный характер с коэффициентом диффузии D_0 .

Сравнительный анализ наблюдаемых профилей нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц, полученных на основе данных [11, 12], с расчетными профилями, полученными на основе модели стационарного ядра, показывает, что для объяснения структуры углового распределения нетеплового радиоизлучения во всех областях Галактики ограничиться лишь моделью стационарного ядра, по-видимому, нельзя.

В [9, 10] нами была предложена трехкомпонентная модель распределения нетеплового радиоизлучения Галактики «стационарное ядро — радиодиск — оболочечные объекты», согласно которой очень сильная концентрация нетеплового радиоизлучения в центральной области Галактики обусловлена, в основном, стационарно действующим источником в ядре Галактики, а дисковый компонент нетеплового радиоизлучения обусловлен, в основном, одиночным взрывом, происшедшим в начальный момент времени образования Галактики. Причем объемная излучательная способность радиодиска Галактики уменьшается как $\exp(-v^2/v_0^2)$ с увеличением расстояния от центра Галактики.

$$v^2 = \frac{x^2 + y^2}{a_d^2} + \frac{z^2}{c_d^2},$$

где (x, y, z) — декартовы координаты в системе координат с центром в центре Галактики, a_d, c_d, v_0 — некоторые параметры радиодиска и

петлевые образования галактического радиоизлучения представляют собой оболочечные объекты.

Заметим, что анализ наблюдательных данных по радио, рентгеновскому и оптическому излучениям старых остатков сверхновых, приведенный в [13], показывает, что крупномасштабные петлевые образования галактического радиоизлучения, по всей вероятности являются остатками старых сверхновых.

Угловое распределение нетеплового радиоизлучения Галактики в зависимости от галактических координат (l, b) для всех направлений вычислялось как [9]:

$$T(l, b) = T_{\text{я}}(l, b) + T_d(l, b) + T_{\text{ext}} + \sum_{j=1}^k T_{Lj}(l, b),$$

где $T_{\text{я}}$ — яркостная температура, обусловленная стационарным источником в ядре; T_d — яркостная температура радиодиска; T_{ext} — метагалактический компонент нетеплового радиоизлучения; $\sum_{j=1}^k T_{Lj}$ — суммарная яркостная температура оболочечных объектов. Заметим, что все расчеты проводились в предположении, что у Галактики отсутствует интенсивное радиогало. Причем вклад петлевых объектов исключался из профилей по аналогии с тем, как это было сделано в [14].

На рис. 1 приведены наблюдаемые и расчетные зависимости яркостной температуры нетеплового радиоизлучения на частоте 85 и 150 МГц от широты, на долготе $l = 60^\circ$, полученные на основе модели одиночного взрыва в ядре и модели стационарного ядра. В этом направлении почти отсутствуют крупные неоднородности галактического нетеплового радиоизлучения [7]. Сравнительный анализ этих профилей показывает, что модель одиночного взрыва ядра не согласуется с наблюдательными данными.

Рядом авторов высказывалось предположение, что активность ядра Галактики является нестационарной [3], и основная часть релятивистских электронов образуется во время повторяющейся с интервалом 10^7 — 10^8 лет активности ядра Галактики.

В случае модели последовательных взрывов ядра Галактики (рекуррентная активность ядра) нами решено уравнение диффузии для функции распределения электронов $f(E, \vec{R}, t)$

$$\frac{\partial f}{\partial t} - D \operatorname{div}(\nabla f) = \sum_{i=1}^n Q_i(E, \vec{R}, t; \vec{R}_i, t_i, \tau_i),$$

где $Q_i(E, \vec{R}, t; \vec{R}_i, t_i, \tau_i)$ — функция источника электронов, который

образовался в результате взрыва в момент времени t_i , с продолжительностью взрыва τ_i , где n — число взрывов.

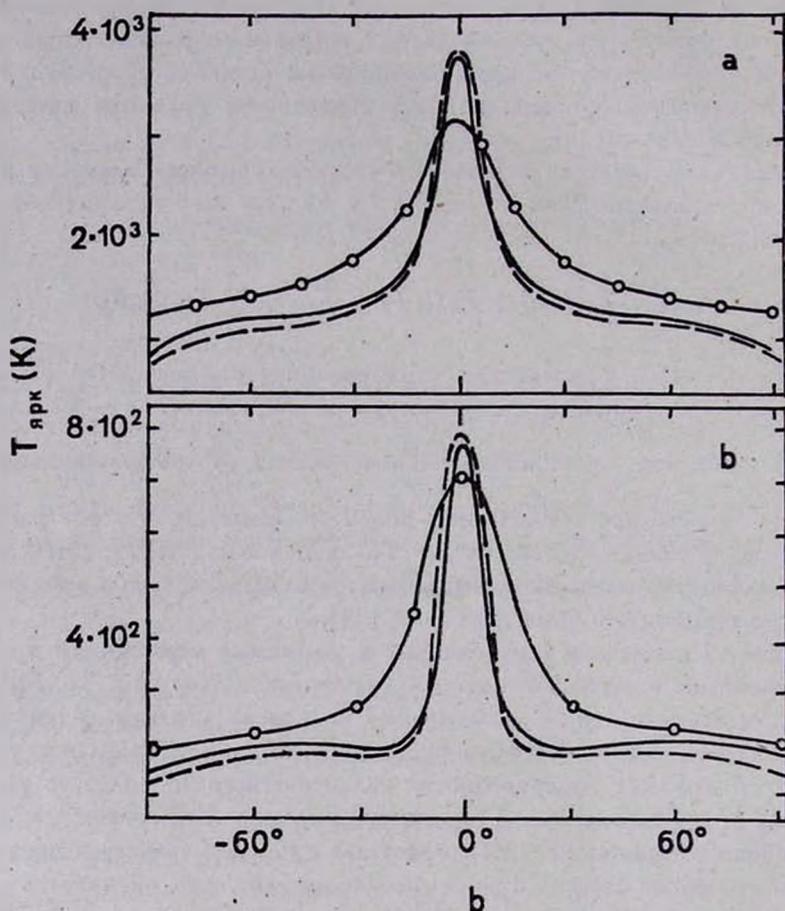


Рис. 1. Расчетные 1 — одиночный взрыв в ядре, 2 — стационарное ядро, 3 — наблюдаемые профили.

Поскольку продолжительность взрыва мала по сравнению с периодом взрывов, суммарная функция источника электронов может быть записана как

$$\sum_{i=1}^n Q_i(E, \vec{R}, t; \vec{R}_i, t_i, \tau_i) = \sum_{i=1}^n Q_i(E) \delta(\vec{R} - \vec{R}_i) \delta(t - t_i),$$

где $Q_i(E)$ — энергетическая зависимость интенсивности источника, образовавшегося в результате взрыва ядра в момент времени t_i , $\delta(\vec{R} - \vec{R}_i)$, $\delta(t - t_i)$ — дельта-функция Дирака.

Общее решение уравнения диффузии в этом случае имеет вид [15]:

$$f(E, \vec{R}, t) = \int_0^t \int_0^\infty G(\vec{R}, t; \vec{R}', t') Q(E, \vec{R}, \vec{R}', t') d\vec{R}' dt',$$

где G — функция Грина, причем:

$$G(\vec{R}, t; \vec{R}', t') = [4\pi D(t-t')]^{-3/2} \exp \left[-\frac{(\vec{R} - \vec{R}')^2}{4D(t-t')} \right].$$

Решение уравнения для $f(E, \vec{R}, t)$ имеет вид:

$$f(E, \vec{R}, t) = \sum_{i=1}^n Q_i(E) [4\pi D(t-t_i)]^{-3/2} \exp \left[-\frac{(\vec{R} - \vec{R}_i)^2}{4D(t-t_i)} \right].$$

Если все взрывы происходят в центре Галактики, то

$$R_i = R_k = 0;$$

$$f(E, \vec{R}, t) = \sum_{i=1}^n Q_i(E) [4\pi D(t-t_i)]^{-3/2} \exp \left[-\frac{\vec{R}^2}{4\pi D(t-t_i)} \right].$$

Известно, что излучательная способность, приведенная к яркостной температуре на единицу длины:

$$\varepsilon(\vec{R}, t) \sim f(\vec{R}, t) \cdot H_{\perp}^{(\gamma+1)/2}.$$

С другой стороны, яркостная температура в направлении луча зрения с галактическими координатами (l, b) связана с излучательной способностью $\varepsilon(R, t)$ как:

$$T(l, b, t) = \int_0^\infty \varepsilon(R, l, b, t) d\vec{R}.$$

Подставляя, получим:

$$T(l, b, t) = \alpha_0 H_{\perp}^{(\gamma+1)/2} \sum_{i=1}^n [4\pi D(t-t_i)]^{-3/2} Q_i(E) \exp \left[-\frac{\vec{R}^2}{4D(t-t_i)} \right],$$

где α_0 — некоторый коэффициент.

Обозначим через:

$$R_{ei}^2 = 4D(t-t_i); \quad \varepsilon_{0i} = \alpha_0 H_{\perp}^{(\gamma+1)/2} [4\pi D(t-t_i)]^{-3/2} Q_i(E).$$

Тогда:

$$T(l, b, t) = \varepsilon_{0t}(t) \int_0^{\infty} \exp\left(-\frac{\vec{R}^2}{R_{0t}^2}\right) d\vec{R}.$$

Вводим аналогично [8—11] параметр:

$$u_t^2 = \frac{x^2 + y^2}{a_{ut}^2} + \frac{z^2}{c_{ut}^2}.$$

Тогда можно получить, что

$$T_{\text{н}}(l, b) = \sum_{i=1}^n \frac{A_{ut} u_{\text{min}, t}}{2 \sin b} \varepsilon_{0t} e^{-\mu_{ut}} \sqrt{\frac{\pi}{\mu_{ut}}} [1 + \Phi(\sqrt{\mu_{ut}} z_t)],$$

где

$$A_{ut} = a_{ut} \operatorname{tg} b / \sqrt{1 + m_{ut}^2 \operatorname{tg}^2 b}; \quad \mu_{ut} = u_{\text{min}, t}^2 / u_{0t}^2;$$

$$m_{ut} = a_{ut} / c_{ut}; \quad u_{0t} = R_0 / R_{0t}; \quad z_t = \left(\frac{R_0}{a_{ut} u_{\text{min}, t}}\right)^2 - 1.$$

На рис. 2 приведены наблюдаемые и расчетные зависимости яркостной температуры нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц от долгот в центральной области Галактики, построенные на основе наблюдаемых данных [11, 12] и на основе различных моделей активности центрального источника в ядре Галактики.

Из этого рисунка видно, что модель происхождения галактических космических лучей, согласно которой основная часть наблюдаемых в Галактике частиц высокой энергии ускоряется центральным источником в ядре Галактики, согласуется вполне удовлетворительно с наблюдаемыми данными по длинноволновому нетепловому радиоизлучению.

Анализ углового распределения яркостной температуры нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц, проведенный в [16] на основе модели «стационарное ядро — радиодиск — оболочечные объекты» с учетом влияния анизотропии крупномасштабного магнитного поля, также показывает, что в центральной области Галактики действует стационарный или квазистационарный источник релятивистских электронов.

Отметим также, что сильную концентрацию радиоизлучения в центральной области Галактики нельзя объяснить увеличением напряженности крупномасштабного магнитного поля Галактики в центральной области [16].

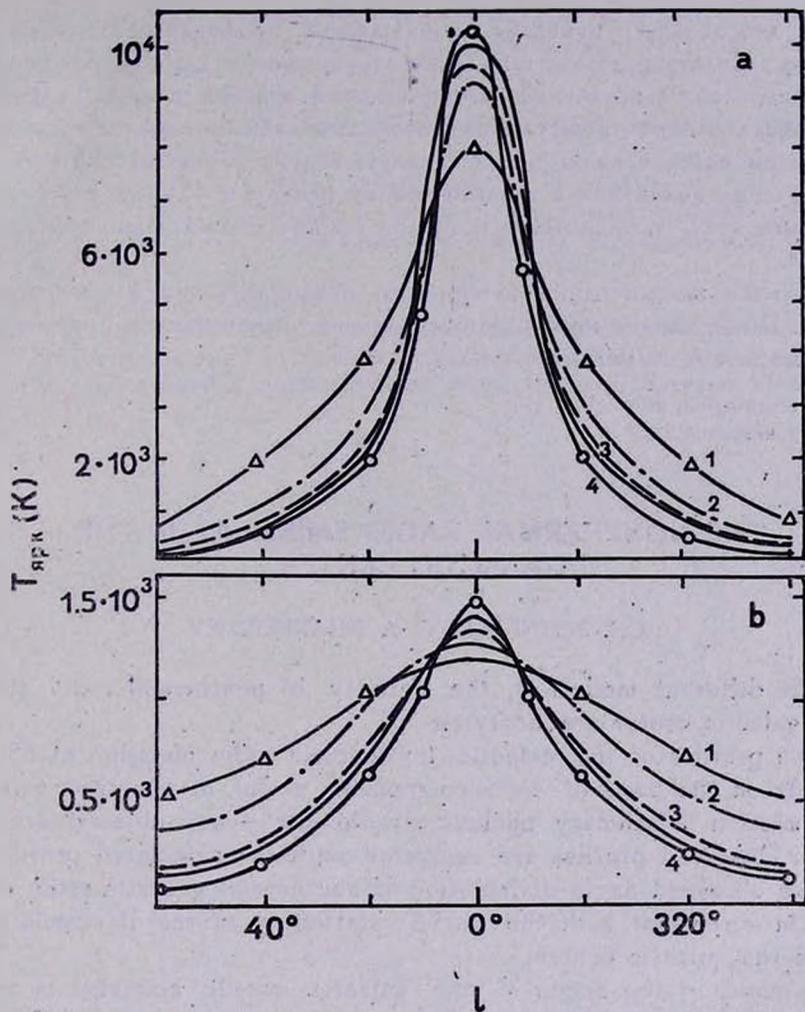


Рис. 2. Расчетные 1— $n = 10$, 2— $n = 10^2$, 3— $n = 10^3$, 4 стандартное ядро и наблюдаемые профили.

Выводы. Анализ углового распределения нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц показывает, что модель, согласно которой основная часть релятивистских электронов в Галактике образована в результате одиночного взрыва ядра Галактики, является весьма спорной.

Сравнительный анализ наблюдаемых профилей нетеплового радиоизлучения Галактики на частотах 85 и 150 МГц с расчетными профилями, полученными при различных моделях активности ядра Галактики, пока-

зывает, что характер изменения наблюдаемых профилей согласуется достаточно удовлетворительно с моделью стационарного или квазистационарного центрального источника частиц высокой энергии в ядре Галактики (стационарное ядро + нерегулярные последовательные взрывы), который в основном обуславливает очень сильную концентрацию нетеплового радиоизлучения Галактики к галактическому центру в области с угловыми размерами $\pm 60^\circ$ по долготе и $\pm 30^\circ$ по широте относительно центра Галактики.

Сильная концентрация нетеплового радиоизлучения в центральной области Галактики не может быть объяснена увеличением напряженности крупномасштабного магнитного поля.

Физико-технический ин-т
АН Туркменской ССР

THE NONTHERMAL RADIO EMISSION OF THE GALACTIC CENTER

CH. SEITNEPESOV, A. KHANBERDIEV

The different models of the activity of nonthermal radio source in the galactic center are analyzed.

The profiles of the galactic nonthermal radio emission at 85 and 150 MHz on the basis of three-component model of observed galactic radio emission "Stationary nucleus — radio disc — loop objects" are calculated. Observed profiles are compared with the calculated profiles.

The observed angle distribution of nonthermal galactic radio emission is in agreement with the model stationary source of cosmic electrons in the galactic center.

A model of the origin of the galactic cosmic electrons is considered in which the major part of cosmic electrons is generated during repetition of the activity of galactic nucleus.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. Бречер, в кн. «На переднем крае астрофизики», Мир, М., 1979.
2. В. И. Арискин, Р. Л. Сороченко. Тезисы докл. IX Всесоюзной конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии, Харьков, 1976.
3. В. А. Птускин, Я. М. Хаван, Астрон. ж., 58, 959, 1981.
4. Р. Л. Браун, в кн. «Галактическая и внегалактическая радиоастрономия», под. ред. Г. Л. Верскера, К. М. Келлермана, Мир, М., 1976.
5. В. М. Люгый, в кн. «Астрофизика и космическая физика», Наука, М., 1982.
6. И. С. Шкловский, Письма в АЖ, 1, 3, 1975.
7. В. А. Равин, Астрон. ж., 46, 46, 1971.

8. В. А. Разин, Ч. Н. Сеитпесов, А. Х. Ханбердиев, Тезисы докл. XII конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии, М., 1979.
9. Ч. Н. Сеитпесов, А. Х. Ханбердиев, Изв. АН ТССР, сер. физ.-тех., хим. и геол. наук, № 4, 61, 1981.
10. Ч. Н. Сеитпесов, А. Х. Ханбердиев, Изв. АН ТССР, сер. физ.-тех., хим. и геол. наук, № 6, 30, 1983.
11. K. W. Yates, Austr. J. Phys., 21, 167, 1968.
12. T. L. Landecker, R. Wielebinski, Austr. J. Phys., Astrophys. Suppl., 16, 1, 1970.
13. Т. А. Лозинская, в кн. «Итоги науки и техники», сер. Астрономия, т. 22, ВИННИГИ, М., 1983.
14. Y. Soful, Astron. Astrophys., 48, 46, 1976.
15. Н. С. Тихонов, А. Н. Самарский, Методы математической физики, Наука, М., 1978.
16. Ч. Н. Сеитпесов, А. Х. Ханбердиев, Тезисы докл. XV Всесоюзной конференции по галактической и внегалактической радиоастрономии, Харьков, 1983.