

ВОЗМОЖНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ НЕСТЕПЕННЫХ РАДИОСПЕКТРОВ КОСМИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

Ю. Н. Гнедин, А. З. Долгинов, В. Н. Федоренко

В работах Брауде и др. [1] было обнаружено, что радиоспектры дискретных источников космического радиоизлучения в диапазоне **30 – 300 МГц** являются не степенными и могут быть объяснены, предполагая, что радиоизлучение является синхротронным излучением релятивистских электронов, энергетический спектр которых определяется формулой

$$N(E) = K (E/E_0)^{-\gamma} \exp[-\rho (E/E_0)^{-2}], \quad (1)$$

Эта эмпирическая формула была получена из анализа почти 100 радиоисточников, причем параметры оказались в пределах $0,5 \leq \rho \leq 5,6$; $E_0 \approx 10 \text{ мэВ}$, $1,6 \leq \gamma \leq 3,2$ (в среднем $\gamma \approx 2,5$). Теоретической интерпретации (1) дано не было.

Покажем, что спектр вида (1) естественно вытекает из предположения, что электроны рассеиваются и ускоряются на движущихся магнитных неоднородностях, если их пробег $\Lambda(E)$ в широком интервале энергий $E > E_0$ уменьшается с ростом энергии по закону $\Lambda(E) = \Lambda_0 (E_0 / E)$. Такая зависимость $\Lambda(E)$ может реализоваться, например [2], при ускорении альвеновскими волнами, если показатель спектра турбулентности близок к $\nu = 3$. Рассеяние и ускорение электронов на движущихся магнитных неоднородностях с пробегом, зависящим от энергии, рассматривалось в работах авторов [3]. Уравнение для энергетического распределения электронов с учетом ускорения и потерь энергии имеет вид

$$\frac{\partial}{\partial E} \left[D(E) E^2 \frac{\partial}{\partial E} \left(\frac{N}{E^2} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial E} [b(E)N] = 0 \quad (2)$$

$D(E)$ – коэффициент диффузии в энергетическом пространстве. В модели движущихся магнитных неоднородностей он имеет вид [3] $D(E) = \langle \Delta v^2 \rangle E^2 [3c \Lambda(E)]^{-1}$, где $\langle \Delta v^2 \rangle$ – средний квадрат флуктуации скорости магнитного поля переносимого турбулентной плазмой. Коэффициент $b(E)$, описывающий энергетические потери на синхротронное излучение и на излучение Вавилова – Черенкова в полностью ионизованной плазме, равен [4]: $b(E) = A(H_{\perp}) E^2 + B(n)$, где

$$A(H_{\perp}) E^2 = 9,8 \cdot 10^{-4} \left(\frac{E H_{\perp}}{m c^2} \right) \left(\frac{\partial \theta}{\partial \text{сек}} \right); \quad B(n) = 7,62 \cdot 10^{-9} n \times \\ \times \left[\ln \frac{E}{m c^2} - \ln n + 73,4 \right] \left(\frac{\partial \theta}{\partial \text{сек}} \right), \quad (3)$$

где H_{\perp} – перпендикулярная скорости электрона компонента магнитного поля, n – концентрация тепловых электронов в области ускорения. Логарифмической зависимостью от энергии в (3) при $E \lesssim 100 m c^2$ можно пренебречь. Тогда решение (2) будет иметь вид (1), где

$$\gamma = \frac{3c \Lambda_0 E_0}{\langle \Delta v^2 \rangle} A(H_{\perp}) - 2; \quad \rho = \frac{3c \Lambda_0}{2 \langle \Delta v^2 \rangle} B(n) \quad (4)$$

E_0 – имеет смысл наименьшей энергии, при которой спектр круто обрывается либо вследствие потерь, либо из-за условий инжекции и т. п. Соотношения (4) накладывают условия на величины H_{\perp} и n в области ускорения, независимо от значений Λ_0 и $\langle \Delta v^2 \rangle$, так как

$$(\gamma + 2)/2\rho = A(H_{\perp}) E_0^2 / B(n).$$

Если выбрать в качестве $\langle \Delta v^2 \rangle$ величину наблюдаемого разброса характерных скоростей структурных деталей в радиоисточниках, то с помощью (4) можно оценить $\Lambda(E_0)$. Используя данные таблицы из работы [1], получим следующие значения физических параметров области синхротронного излучения. Например, для радиогалактики 3C18, для которой $\gamma = 2,4$; $\rho = 2,8$; $E_0 = 82 \text{ тс}^2$, $H \approx 1,1 \cdot 10^{-4} \text{ гс}$, предполагая $|\Delta v| \sim 10^7 \text{ см} \cdot \text{сек}^{-1}$, получим $n \approx 0,1 \text{ см}^{-3}$ и $\Lambda(E_0) \approx 2,7 \cdot 10^{18} \text{ см}$. Такая величина $\Lambda(E_0)$ — соответствует коэффициенту пространственной диффузии $\kappa = (c \Lambda/3) \approx 2,7 \cdot 10^{29} \text{ см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$.

Аналогичные оценки для n и $\Lambda(E_0)$ получаются и для других внегалактических радиоисточников, исследованных Брауде и др.

Физико-технический институт
им. А.Ф.Иоффе
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
11 мая 1972 г.

Литература

- [1] С.Я.Брауде, И.Н.Жук, Б.П.Рябов. Препринт №6, Ин-т Радиофизики и электроники АН УССР, Харьков, 1971; *Astrophys. and Space Sci.*, 12, 349, 1971.
- [2] И.Ю.Топтыгин. Труды Международного семинара по ускорению частиц в космическом пространстве, Ленинград, 1972, в печати.
- [3] Ю.Н.Гнедин, А.З.Долгинов. Письма в ЖЭТФ, 11, 534, 1970; *Astrophys. Lett.*, 9, 91, 1971.
- [4] В.Л.Гинзбург, С.И.Сыроватский. Происхождение космических лучей, М., Изд. АН СССР, 1963.