

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НАБЛЮДАЕМЫХ РАДИОСПЕКТРОВ

В течение всего периода исследования пульсаров делались многочисленные попытки объяснить наблюдаемые особенности спектров (см., например, [44]). Здесь мы остановимся на работах, в которых эти особенности, описанные в гл. II, интерпретируются в рамках стандартной модели.

1. ПРИРОДА НИЗКОЧАСТОТНОГО ЗАВАЛА

Как уже отмечалось в гл. II, одной из характерных деталей спектра является его низкочастотный завал. Из общих соображений ясно, что он может быть вызван либо условиями в самом источнике излучения, либо процессами в среде между источником и наблюдателем.

Поглощение во внемагнитосферной плазме как возможная причина завала рассматривалась в работах [44, 118, 119]. При этом на частотах, где оптическая толщина поглощающей плазмы велика, должно наблюдаться резкое (экспоненциальное) падение интенсивности выходящего излучения. Поскольку, однако, наблюдается довольно слабое уменьшение потока на низких частотах ($|\alpha| = 0,5+3,0$), был сделан вывод о том, что поглощение не играет роли, а завал вызван условиями в самом источнике. Влияние плазмы пульсарного ветра за световым цилиндром сказывается на частотах, значительно более низких, чем частота максимума в спектрах пульсаров ($\nu_m \sim 100$ МГц) [120]. В работе [121] мы учли то обстоятельство, что излучение разных частот может генерироваться на различных уровнях и поглощаться в самой магнитосфере. Таким путём удаётся хорошо описать часть спектра вблизи максимума и объяснить корреляцию наклонов с двух сторон от максимума (рис. 26). Представляя интенсивность излучения на выходе магнитосферы в виде

$$I_\nu = K\nu_1^{-\beta} e^{-\tau}, \quad (1)$$

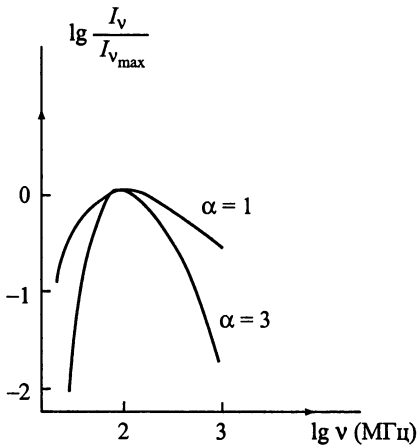


Рис. 26. Модельные спектры пульсаров

где K – некоторая константа, τ – оптическая толщина магнитосферы на данной частоте ν , можно получить любой наклон в низкочастотной области относительно максимума. При некоторых значениях параметров низкочастотный завал в наблюдаемой части спектра может вообще отсутствовать. В рамках этой модели удаётся достаточно хорошо описать вид спектра в районе максимума и на линейном участке

(рис. 27) [48, 121]. На рисунке $\nu_6 = \nu/10^6$. Очелков и Усов [122, 123] предположили, что причина низкочастотного завала – самопоглощение релятивистской плазмы в самих сгустках, испускающих излучение кривизны. При этом, предполагая степенное распределение электронов по углу в пределах конуса излучения с показателем β при моноэнергетическом распределении по энергиям, авторы получили спектры с низкочастотным завалом и высокочастотным изломом, качественно согласующиеся с наблюдаемыми:

$$F(\omega) = \begin{cases} \omega^{-(\beta-2)} & \text{при } \omega_c \ll \omega, \\ \omega^{-4(\beta-2)/(6+\beta)} & \text{при } \omega_M \ll \omega \ll \omega_c, \\ \omega^{(6\beta-8)/(1+3\beta)} & \text{при } \omega \ll \omega_M. \end{cases} \quad (2)$$

Однако для согласования со средним значением спектрального индекса на линейном участке ($\alpha = 1,7$) необходимо положить $\beta = 7,9$. При этом наклон высокочастотного участка становится неприемлемо крутым ($\alpha_3 = 5,9$).

Привлекая более сложные распределения частиц по углам и энергиям, можно надеяться на лучшее согласование вычисленных и наблюдаемых спектров. Однако для этой цели нужны хорошие модели магнитосферы и физические обоснования принимаемых распределений. Так, в работе [124] без оснований принят очень крутой энергетический спектр излучающих частиц

$$n(\gamma) \propto \gamma^{-4}, \quad (3)$$

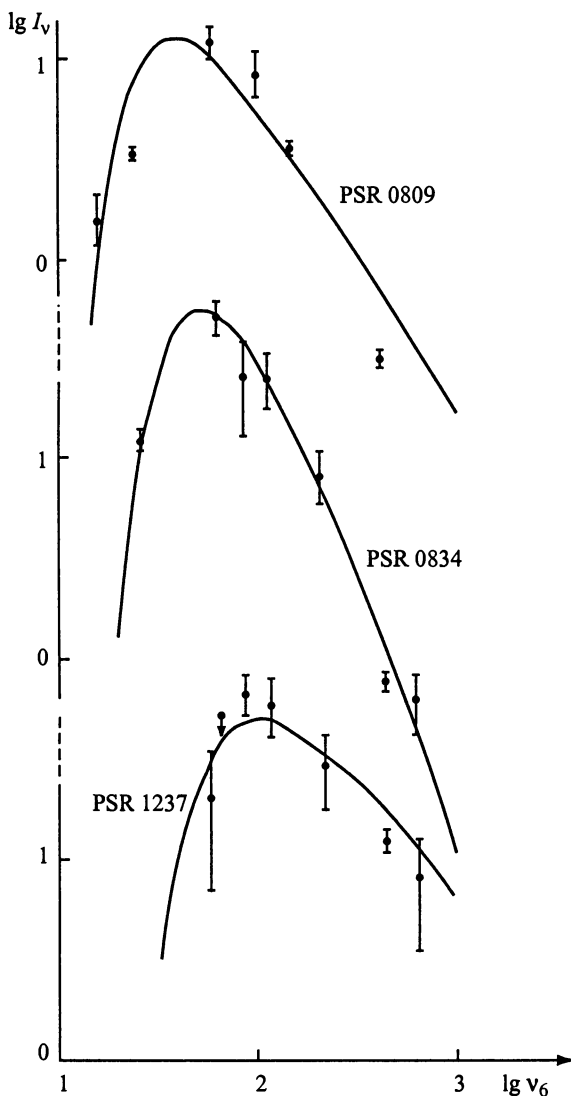


Рис. 27. Наблюдаемые спектры пульсаров с вписанными в них модельными спектрами (уравнение (1))

при котором удаётся согласовать модельные и наблюдаемые спектры вблизи максимума и на линейном участке. Кроме того, не исследовано поведение спектра ниже частоты максимума. Если излучение пульсара связано с механизмом излучения кризисы, как считается в работе [124], то спектральный индекс

в низкочастотной области не может быть больше $1/3$. Действительно, при моноэнергетическом распределении электронов $N(\varepsilon) = N_0\delta(\varepsilon - \varepsilon_0)$ наклон характеризуется показателем $\alpha_1 = 1/3$ [125]. Если существует обрыв в функции распределения в сторону меньших, чем $\varepsilon = \varepsilon_1$, энергий, то ниже частоты максимума, соответствующей $\varepsilon = \varepsilon_1$, спектр будет иметь наклон с индексом $\alpha_1 = 1/3$. Если же есть электроны с $\varepsilon < \varepsilon_1$, то на низких частотах излучение должно усиливаться, что приведёт к ещё более пологому спектру. Поскольку для всех исследованных спектров $\alpha_1 > 1/3$ ($\alpha_1 = 0,5+3,0$) [40, 44, 118], сказанное означает, что наблюдаемые наклоны спектров перед максимумом нельзя объяснить только специфическим распределением по энергиям.

Бескин, Гуревич и Истомин [126] рассмотрели неустойчивость волн, которые они назвали изгибно-плазменными, и показали, что из-за обращения в нуль коэффициента преломления для необыкновенной волны должен наблюдаться обрыв в спектре на низких частотах:

$$v \leq v_{\min} = 120P^{-1/2}\gamma_{100}^{-3/2}a_4^{1/2}B_{12}^{1/2}\text{МГц.} \quad (4)$$

Для согласования с наблюдениями необходимо положить $\gamma_{100}^- \sim 1$. При этом наблюдаемая зависимость $v_m(P)$ из гл. I будет близка к теоретической.

(Здесь и далее записи вида $\gamma_{100}^{-3/2}, a_4^{1/2}, B_{12}^{1/2}, \gamma_{100}^-$ означают

$$\left(\frac{\gamma^-}{100}\right)^{3/2}, \left(\frac{a}{10^4}\right)^{1/2}, \left(\frac{B}{10^{12}}\right)^{1/2}, \gamma_{100}^- = \frac{\gamma^-}{100}.)$$

Наконец, Мачабели и Усов [127] рассмотрели циклотронную неустойчивость в недипольном магнитном поле и получили для предельной частоты выражение

$$v_{\min} \approx 20\gamma_p B_{12}^s P^{-3}, \quad (5)$$

которое даёт зависимость от периода значительно более крутую, чем наблюдаемое падение $v_{\min} \propto P^{-0,46}$.

Таким образом, из всех рассмотренных до сих пор причин низкочастотного завала лишь поглощение в магнитосферной плазме и, возможно, другие эффекты, связанные с распространением излучения в магнитосфере пульсара [128], могут объяснить особенности в поведении спектра вблизи частоты максимума.