

О ЗАВАЛЕ СПЕКТРА РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ИСТОЧНИКА КАССИОПЕЯ-А

Согласно [1, 2], спектр радиоизлучения Кассиопеи-А около частоты $\nu_m \approx 30$ мГц претерпевает излом.

На частотах $\nu > \nu_m$ спектр радиоизлучения этого источника имеет вид $S_\nu \sim \nu^{-\alpha}$, где S_ν — спектральная плотность потока, а спектральный индекс $\alpha \approx 0.8$. На частотах же $\nu < \nu_m$, $S_\nu \sim \nu^\beta$, где $\beta > 0$.

Таким образом, около частоты ν_m спектральный индекс радиоизлучения Кассиопеи-А меняет знак, и плотность потока на этой частоте максимальна. Для объяснения завала спектра Кассиопеи-А выдвигаются следующие два наиболее вероятных механизма [2—4]:

1. Поглощение в проектирующихся на источник областях ионизованного водорода.

2. Влияние среды с показателем преломления $n(\nu) < 1$, находящейся в самом источнике. (Такой средой может быть ионизованный газ). Эти механизмы обсуждались в работах [2—5], поэтому на них подробно останавливаться не будем.

Кассиопея-А расположена вблизи галактической плоскости ($b = -2^\circ$), что говорит в пользу механизма поглощения в областях НII, расположенных по направлению источника. В этом случае частота ν_m и мера эмиссии МЕ поглощающих областей НII связаны следующим соотношением [2]:

$$ME = 1.15 \alpha \nu_m^2 \quad (1)$$

(ν_m выражена в мегагерцах, α — спектральный индекс радиоизлучения источника).

В случае Кассиопеи-А из (1) получаем $ME \approx 800$.

Когда релятивистские электроны излучают в среде с показателем преломления $n(\nu) < 1$, то на сравнительно низких частотах интенсивность излучения ансамбля релятивистских электронов резко падает [4, 5]. Это приводит к изменению знака спектрального индекса спектра излучения этого ансамбля.

Если причиной завала спектра источника является данный механизм, то для частоты ν_m имеем [4, 5]

$$\nu_m = f(\gamma) \frac{ecN_e}{H_\perp}, \quad (2)$$

где $f(\gamma)$ — функция, зависящая от показателя энергетического спектра релятивистских электронов γ , e — заряд электрона, c — скорость света в вакууме, N_e — концентрация электронов ионизованного газа, $H_\perp$ — составляющая напряженности магнитного поля, перпендикулярная скорости излучающих электронов.

Для Кассиопеи-А $\gamma = 2\alpha + 1 = 2.6$ и $f(\gamma) \approx 3$, так что

$$v_m \approx 3 \epsilon c \frac{N_e}{H_\perp} = 40 \frac{N_e}{H_\perp}. \quad (3)$$

N_e , $H_\perp$ и v_m выражены в см^{-3} , гауссах и герцах соответственно.

Из (3) для меры эмиссии ионизованного газа, в предположении, что $H_\perp = 10^{-4} - 10^{-5}$ эс, имеем

$$ME = \frac{v_m^2 H_\perp^2 l}{1.6 \cdot 10^3} = 2 \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^2 \quad (4)$$

(l — размер источника в парсеках. Для Кассиопеи-А $l \approx 4$ пс). Незнание точного значения $H_\perp$ в Кассиопее-А делает очень неуверенной оценку ME по формуле (4).

Сравнение значений ME, полученных с помощью (1) и (4) показывает, что даже если по направлению Кассиопеи-А будет обнаружена туманность с мерой эмиссии $10^3 - 10^2$, то мы не сможем прийти к однозначному заключению о механизме, обуславливающем завал в спектре источника. В работах [2, 4] приведено несколько доводов, указывающих на то, что этот завал обусловлен, по-видимому, поглощением в областях III. В тех же работах отмечается, что это заключение нельзя считать окончательным.

Мы хотим указать на одно обстоятельство, которое, по нашему мнению, позволит выяснить причину завала спектра Кассиопеи-А.

Кассиопея-А принадлежит к классу радиоисточников, отождествляемых с расширяющимися остатками вспышек Сверхновых. Сверхновая II типа, ответственная за радиоизлучение Кассиопеи-А, вспыхнула примерно 300 лет назад [6]. По причине своей молодости этот источник расширяется сравнительно быстро. Согласно [6], скорость расширения достигает 7500 км/сек . Из-за расширения источника напряженность магнитного поля и энергия релятивистских частиц в нем непрерывно убывают, что приводит к систематическому ослаблению потока радиоизлучения [7]. Ряд специально поставленных наблюдений позволил обнаружить уменьшение потока радиоизлучения Кассиопеи-А [8—10].

Покажем, что если завал обусловлен влиянием ионизованной среды с $n(\nu) < 1$, локализованной в источнике, то расширение остатка Сверхновой должно привести к систематическому уменьшению частоты завала v_m , (пока остаток существенно не затормозился межзвездной средой).

Вследствие расширения должна меняться электронная концентрация ионизованного газа N_e . Из условия сохранения количества электронов в источнике имеем

$$N_{e0} r_0^3 = N_{eT} r_T^3, \quad (5)$$

где N_{e0} , N_{eT} , r_0 и r_T — электронная плотность и радиус источника для какого-то начального момента T_0 и момента T соответственно.

Условие сохранения магнитного потока дает

$$H_0 r_0^2 = H_T r_T^2. \quad (6)$$

Индексы 0 и T , как и прежде, относятся к какому-то начальному моменту T_0 и моменту T после вспышки Сверхновой. Составляющая магнитного поля $H_{\perp}$ также меняется по закону (6). Последнее связано с тем, что из условия сохранения адиабатического инварианта $\frac{(P \sin \theta)^2}{H} = \text{const}$ ($P = E/c$ — импульс релятивистской частицы, E — ее энергия) следует, что угол θ между вектором скорости релятивистского электрона и направлением магнитного поля, при $H \sim r^{-2}$ и $E \sim r^{-1}$, остается неизменным [5, 7]. Таким образом,

$$H_{\perp 0} r_0^2 = H_{\perp T} r_T^2. \quad (7)$$

Из (5) и (7) имеем $N_{eT} = N_{e0} \left(\frac{r_0}{r_T}\right)^3$ и $H_{\perp T} = H_{\perp 0} \left(\frac{r_0}{r_T}\right)^2$. Подставив эти значения в (3), получаем

$$v_m \approx 40 \frac{N_{e0}}{H_{\perp 0}} \cdot \frac{r_0}{r_T} = v_{m0} \frac{r_0}{r_T}. \quad (8)$$

В силу молодости Кассиопеи-А можно принять, что расширение происходит пропорционально времени T , так как на начальных стадиях расширения торможение межзвездной средой сказывается мало. И тогда для v_m окончательно получим

$$v_m = v_{m0} \frac{T_0}{T}. \quad (9)$$

Уменьшение v_m для Кассиопеи-А, определенное с помощью (9), составляет примерно 0.1 миз в год. Если такое изменение на самом деле существует, то его можно будет обнаружить специальными наблюдениями в декаметровом диапазоне.

Если завал обусловлен поглощением длинноволнового радиоизлучения в проектирующихся на источник зонах ионизованного водорода, то никакого изменения частоты v_m не должно наблюдаться.

On the break of the frequency spectrum of the radio source Cassiopeia-A. It was shown if the break of frequency spectrum of the ra-

dio source Cassiopeia-A be conditioned by a medium with refractive index less than unit, which is situated within the radio source, then the frequency of the break must decrease during time.

10 декабря 1965

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

В. Г. МАЛУМЯН

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Л. Л. Базелян, С. Я. Брауде и др., Изв. вузов, Радиофизика, 6, 897, 1963.
2. Л. Л. Базелян, С. Я. Брауде и др., Астрон. ж., 42, 618, 1965.
3. Е. В. Чивеский, С. Я. Брауде, Изв. вузов, Радиофизика, 5, 211, 1962.
4. В. А. Разин, Изв. вузов, Радиофизика, 3, 584, 1960.
5. С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер, Межзвездная среда, Физматгиз, М., 1963.
6. Р. Минковский, Радиоастрономия, Парижский симпозиум, ИЛ, М., 1961.
7. И. С. Шкловский, Астрон. ж., 37, 256, 1960.
8. В. А. Санамян, А. М. Асланян, Сообщ. Бюр. обс., 30, 35, 1962.
9. В. А. Санамян, А. М. Асланян, Астрофизика, 1, 247, 1965.
10. С. Н. Mayer, T. P. McCullough, R. M. Sloanaker, F. T. Haddock, Ap. J., 141, 867, 1965.

ЭФФЕКТ ДОППЛЕРА И ПРЕДЕЛЬНО РАЗРЕШАЕМАЯ ЛИНИЯ СЕРИИ БАЛЬМЕРА

Хорошо известно, что в случае расширения бальмеровских линий эффектом Штарка их полуширины с номером растут. Это приводит к взаимному наложению линий, в результате чего число наблюдаемых линий в серии уменьшается. Качественно [такая же картина получается и в случае расширения линий эффектом Доплера, несмотря на то, что полуширины их в этом случае уменьшаются с номером.

Легко заметить, что ширины линий, расположенных у границы серии, должны быть практически одинаковыми, так как их длины волн незначительно различаются между собой. Расстояние же между линиями уменьшается пропорционально кубу их номера

$$\frac{d\lambda}{\lambda} \simeq - \frac{8}{m^3} dm. \quad (1)$$

(Соотношение (1) получается в результате дифференцирования известной формулы Бальмера). Это приводит к тому, что у границы серии соседние линии налагаются друг на друга, образуя непрерыв-