О ПРИРОДЕ КОГЕРЕНТНОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ CU VIRGINIS

Е.Г. Куприянова, А.В. Степанов

Главная астрономическая обсерватория РАН, С.-Петербург

Магнитные химически пекулярные (MCP) звезды, характеризующиеся аномальным химическим составом и достаточно сильным магнитным полем ($\geq$ 3 кГс в фотосфере), имеющим вид диполя или квадруполя, известны как источники радиоизлучения. В июне 1998 года на VLA были зарегистрированы всплески радиоизлучения B9p звезды CU Virginis ($d \approx 80$ пк) на частоте 1.4 ГГц (Trigilio et al., 2000). Максимальные плотности потока $\sim$ 15 мЯн в несколько раз превышают известные из литературы уровни радиоизлучения MCP-звезд. В зависимости от размеров источника $(1\text{–}4)R_*$, яркостные температуры излучения порядка $4 \cdot 10^{10}$–$6 \cdot 10^{11}$K. Всплески характеризовались высокой степенью круговой поляризации ($\approx 100\%$) и высокой направленностью излучения. Ширина диаграммы излучения на половине мощности составила 5° для наиболее интенсивных всплесков и 1° для менее интенсивных. Причем радиоизлучение выходило почти перпендикулярно оси магнитного диполя.

Радиоизлучение с такими характеристиками может быть объяснено действием когерентных механизмов в короне CU Vir. Основным элементом структуры корон звезд являются магнитные петли. Они представляют собой магнитные ловушки для энергичных электронов. Отражаясь от сгущений магнитных силовых линий, "пробок", электроны формируют анизотропное распределение по скоростям. Это приводит к неустойчивостям плазменных и электромагнитных волн и, следовательно, к генерации когерентного радиоизлучения. В этой связи обычно рассматривают плазменный механизм радиоизлучения и электронный циклотронный мазер (ЭЦМ). Trigilio et al. (2000) объясняют интенсивные всплески радиоизлучения CU Vir на основе излучения ЭЦМ, т.к. считают, что плазменный механизм не обеспечивает высокую направленность излучения. Они предполагают, что поляризованное по правому кругу излучение соответствует необыкновенной волне, выходящей из северной полусферы звезды. Однако, не зная направление магнитного поля в источнике, нельзя однозначно определить, какой тип волны соответствует правой круговой поляризации наблюдаемого радиоизлучения. Степанов и др. (1995) показали, что в горячих коронах звезд поглощается преимущественно необыкновенная волна. Это затрудняет выход излучения ЭЦМ из короны. Мы предлагаем объяснение всплесков радиоизлучения CU Vir на основе плазменного механизма, поскольку когерентное плазменное радиоизлучение тоже может иметь узкую диаграмму направленности.

В условиях корональных арок на звездах наибольшим инкрементом обладают потенциальные волны верхнего гибридного резонанса $\omega_{UH} = \sqrt{{\omega_p}^2 + {\omega_c}^2}$. Положим, что наблюдаемое на частоте $\omega/2\pi = 1.4$ ГГц радиоизлучение генерируется на основном тоне ω_{UH}, что соответствует, например при ${\omega_p}^2/{\omega_c}^2 = 3$, концентрации плазмы в источнике $N \approx 2 \cdot 10^{10}$ см$^{-3}$. Куприянова и Степанов (1998) показали, что диаграмма плазменного радиоизлучения основного тона, возникающего при рэлеевском рассеянии волн верхнего гибридного резонанса, может быть достаточно узкой. Во-первых, диаграмма направленности излучения сужается с ростом магнитного поля. Во-вторых, при достаточно высоком уровне плазменных волн в источнике ($w = W/NT \geq 10^{-5}$) индуцированное излучение преобладает над спонтанным (мазер-эффект), и яркостная температура излучения возрастает, превышая величину 10^{10}K. В этом случае диаграмма уже, чем в случае спонтанного процесса (Гинзбург и др., 1968). В-третьих, влияние регулярной рефракции в короне звезды приводит к дополнительному сужению диаграммы направленности. Таким образом, радиоизлучение выходит из короны в достаточно узком конусе с осью, направленной радиально от центра звезды. Причем раствор конуса зависит от расстояния между источником и уровнем, где показатель преломления соответствующих волн равен нулю. Чем ближе источник к этому уровню, тем более узконаправленным будет излучение. Для обыкновенных волн уровень $n_o = 0$ соответствует ${\omega_p}^2/\omega^2 = 1$. Для необыкновенных волн уровень $n_x = 0$ определяется известным уравнением ${\omega_p}^2/\omega^2 = 1 - \omega_c/\omega$. Отметим, что источник радиоизлучения с частотой верхнего гибридного резонанса находится между этими уровнями, так что выходящее радиоизлучение будет полностью поляризовано в виде обыкновенной волны. Для случая слабого магнитного поля в солнечной короне Железняковым и Зайцевым (1970) сделана следующая оценка угла, под которым радиоизлучение основного тона выходит в "вакуум" $\Theta \approx 3\pi {v_T}^2/v^2 \approx 2°$, где v_T и v — тепловая скорость и скорость энергичных частиц. Такой узкий конус обусловлен расположением источника вблизи уровня $n = 0$. С ростом магнитного поля или температуры плазмы источник отдаляется от этого уровня и, следовательно, диаграмма радиоизлучения будет шире.

Во время наблюдений CU Vir на VLA (Trigilio et al., 2000) были зарегистрированы всплески поляризованного по правому кругу радиоизлучения. В рамках плазменного механизма такое излучение соответствует обыкновенной волне. Из этого можно заключить, что радиоизлучение выходит из областей, где магнитное поле направлено от нас, то есть из южной полусферы магнитного диполя.

Таким образом, плазменным излучением основного тона объясняются не только высокая яркостная температура всплесков и 100%-я поляризация, но и узкая диаграмма направленности радиоизлучения CU Virginis. Основной причиной сужения диаграммы является рефракция радиоволн в короне звезды. Расчеты рефракции показывают, что если в источнике ширина лепестка диаграммы направленности $\Theta \sim 30°–40°$, то при выходе из короны в зависимости от величины магнитного поля $\Theta \sim 2°–10°$.

Работа поддержана грантами РФФИ 00-02-16356, 00-02-16181 и ГНТП "Астрономия" (1.4.3.4)

Авторы благодарны Ю.Н. Гнедину и Н.А. Соколову, обратившим внимание на проблему активности CU Virginis.

Литература

Ginzburg V.L., Zheleznjakov V.V., Zaitsev V.V., 1968, Nature, 222, 230
Железняков В.В., Зайцев В.В., 1970, Астрон. Журнал, 47, 308
Куприянова Е.Г., Степанов А.В., 1998, Известия ГАО в Пулкове, 212, 18
Stepanov A.V. et al., 1995, Asron. Astrophys., 299, 739
Trigilio C. et al., 2000, Astron. Astrophys, in press