

M. 38

Для служебного пользования.

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АН СССР

В.А. Машинин, Б.А. Румянцев.

О ВОЗМОЖНОМ МЕХАНИЗМЕ СПОРАДИЧЕСКОГО  
РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА.

Гор. Новосибирск  
1963 г.

V

Как известно, /1/ со стороны солнца наблюдается спорадическое радиоизлучение в диапазоне длин волн  $\lambda \approx 0,1 - 10$  м, коррелирующее с выбросом материи. Через времена  $\tau \approx 1 - 2$  суток после радиоизлучения фиксируются потоки частиц с энергией  $\varepsilon \approx 10^4 - 10^5$  эв. Спорадическое радиоизлучение солнца делится на несколько типов /1-2/, которые различаются, в частности, наличием или отсутствием поляризации, причем II и III типы не обладают заметной поляризацией, но отличаются от остальных присутствием двух ярко выраженных гармоник, весьма сходных друг с другом по частотному спектру. Кроме того, у них наблюдается заметный дрейф частот во времени (от 0,25 до 10 мггц/сек) /1-2/. Длительность "всплеска" радиоизлучения бывает различной, причем для кратковременных "всплесков" ( $\sim$  несколько секунд) наблюдается увеличение продолжительности "всплеска" с увеличением длины волны /2/. Источники спорадического излучения имеют малые угловые размеры и расположены на расстояниях  $\approx 0,5 - 1,3$  радиуса Солнца над его поверхностью.

В настоящей работе предложен возможный механизм возникновения спорадического радиоизлучения Солнца II и III типов и некоторых, сопровождающих его, явлений.

В работе /3/ возникновение выбросов на Солнце объясняется выходом за его поверхность группы магнитно-гидродинамических



вихрей (м.г.в.), которые движутся затем над поверхностью Солнца со скоростями  $\approx 10^7 - 10^8$  см/сек.

Структура м.г.в. такова, что наблюдается сравнительно резкая граница в плотностях между плазменным коаксиалом и внутренней областью м.г.в. (см. рис. 1/3/). В связи с этим м.г.в. представляет из себя своеобразный плазменный резонатор с собственной частотой  $\omega_0 \approx \frac{c}{\ell}$ , где  $\ell$  - характерные размеры резонатора ( $\approx 0,5 - 10$  м). Причем, поскольку параметры такого резонатора далеки от оптимальных, в нем кроме основной частоты могут возбуждаться паразитные гармоники.

Возбуждение резонатора может происходить благодаря значительным токам ( $J \approx 10^3 - 10^6$  а/3/), текущим по плазменному коаксиалу и токовому шнуру (плазма неравновесна), например в результате перекачки энергии плазменных колебаний в электромагнитную (см. напр. /5/) или благодаря флуктуациям тока в шнуре.

При движении плазмоида от поверхности Солнца  $\ell$  должен увеличиваться благодаря уменьшению плотности внешней среды ( $n$ ).

Плазмоид может излучать радиоволны, повидимому, одним из двух возможных способов: либо излучение выходит из резонатора на протяжении всего времени его движения через фотосферу (начиная от слоя критической плотности  $n_{кр} = \frac{m_e \omega^2}{4\pi e^2}$ ) за счет отличного от 0 коэффициента прохождения через стенки (который увеличивается с высотой); либо в момент исчезновения м.г.в., когда  $H^2/4\pi = nkT$ . Если принять  $n = 10^8$  см<sup>-3</sup>,  $T = 10^7$  К<sup>0</sup> /1/, то  $H \approx 3$  эрст. Соответствующая напряженность электрического поля  $E \approx 1$  кэв/см, откуда плотность энергии в резонаторе  $W \approx 10^{-1}$  эсм<sup>-3</sup>. С другой стороны, согласно формулы Планка:

$$W_{\Delta\omega} = \frac{\frac{\Delta\omega}{\omega} \hbar \omega^4 / \pi^2 c^3}{e^{\frac{\hbar\omega}{kT}} - 1}$$

где  $\Delta\omega$  - размер полосы частот ( $\approx 2-4$  мгц).

Ввиду малости  $\frac{\hbar\omega}{kT}$  разложим  $\exp$  в ряд. Тогда  $\frac{1}{kT} = \frac{8\pi}{\lambda^3 W}$  и  $T \approx 10^{24}$  К<sup>0</sup>. Пусть  $T_{эфф} = 10^{10}$  К<sup>0</sup> /1/.

Как следует из предложенного механизма, площадь излучателя очень мала. Если принять  $S_{изл} = 10^8$  см<sup>2</sup>, то  $T_{ярк} = T_{эфф} / \Omega$ , где  $\Omega$  - телесный угол, под которым виден источник излучения,  $T_{эфф}$  - эффективная температура,  $T_{ярк}$  - яркостная температура.

Отсюда  $T_{ярк} \approx 10^{24}$  К<sup>0</sup>, что совпадает с вышеприведенной оценкой.

М.г.в. будет излучать как основную частоту, так и гармоники.

В настоящей статье предполагается, что спорадическое радиоизлучение Солнца II и III типов есть излучение из плазменных резонаторов. Эта гипотеза, на наш взгляд, качественно объясняет большинство фактов, относящихся к излучению указанных типов.

Как уже указывалось, естественно объясняется наличие гармоник. Причем частотный спектр первой гармоники должен иметь характер, близкий к спектру основной гармоники, поскольку излучение происходит из одного и того же резонатора. Узкая полоса частот излучения указывает на довольно высокую добротность резонатора, причем отношение частот первой гармоники по второй ( $\approx 2:1$ ) хорошо согласуется с резонаторным механизмом. Наблюдаемый порядок величины скорости движения источника излучения также соответствует экспериментальным данным о движении плазмоидов /3/.



Наблюдаемый дрейф частот объясняется указанными выше двумя альтернативными схемами излучения из резонаторов.

Если излучение происходит в течение всего времени движения плазмоида, то дрейф частот в сторону уменьшения объясняется увеличением  $\ell$ , причем время жизни плазмоида  $t \sim \ell$  (чем меньше  $\ell$ , тем ближе к поверхности, а следовательно раньше происходит уничтожение плазмоида). В свою очередь  $\lambda \sim \ell$ . Следовательно  $t \sim \lambda$ , что подтверждается на опыте /1-2/.

Согласно второму механизму излучения дрейф частоты должен происходить также, поскольку плотность энергии в резонаторе ( $H^2/4\pi$ ) увеличивается с уменьшением  $\ell$ . Поэтому резонаторы, обладающие меньшими  $\ell$  (а значит большей  $\omega_0$ ) "раскрываются" раньше, нежели большие.

Если число плазмоидов в выбросе велико, то мы будем наблюдать излучение от выброса, как излучение от движущегося источника с дрейфующей частотой.

Предложенная схема, на наш взгляд, объясняет также возникновение релятивистских электронов, сопровождающее излучение II и III типов. Действительно, электрическое поле в резонаторе  $\approx I_{\text{кзв}}/\text{см}$  ведет к ускорению электронов до энергии  $\epsilon \approx I$  Мэв. Они, в свою очередь, могут привести к синхротронному излучению /4/, которое иногда наблюдается после максимума спорадического излучения II и III типов /1/. Оценка верхней границы числа релятивистских электронов из одного резонатора дает  $N \approx 10^{16}$  (при  $n_{\text{кр}} 10^7 \text{ см}^{-3}$ ).

В заключение выражаем благодарность С.Т.Беляеву и В.Г.Зелевинскому за полезные дискуссии и помощь в работе.

## Л и т е р а т у р а

- /1/ И.С.Шкловский, "Физика солнечной короны", ФМ, стр.382, 1962 г.
- /2/ В.В.Железняков, УФН, т.64, вып.1, стр.113.
- /3/ В.С.Комельков, ДАН, т.146, № 1, стр.58, 1958 г.
- /4/ В.Л.Гинзбург, В.В.Железняков, Астрономический журнал. т.36, стр.233, 1959 г.
- /5/ К.Н.Степанов, А.Б.Киценко, ЖТФ, т.31, стр.167, 1961 г.