

## О НЕЛИНЕЙНОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ИОННО-ЦИКЛОТРОННЫХ ВОЛН В МАГНИТОСФЕРЕ

М. Б. Гохберг, О. А. Пономелов, С. Перро,  
Н. Верлин, К. Вильдари

Экспериментально обнаружено и изучено нелинейное взаимодействие ионно-циклотронных волн в магнитосфере, которое проявляется в периодическом обмене энергии между волнами.

В последнее время в ряде работ [1 – 4] большое внимание уделялось изучению нелинейных явлений при распространении монохроматических ОНЧ и УНЧ волн в магнитосфере. В частности было показано [1, 3], что нарастание таких волн в неустойчивой магнитосферной плазме может сопровождаться рождением сателлитов, сдвинутых по частоте относительно частоты основной волны на величину  $\Delta f$ , порядка характерного периода осцилляций скорости резонансных частиц.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение нелинейного взаимодействия сателлитов с исходной волной при распространении УНЧ колебаний типа "жемчужин" в магнитосфере. Последние представляют собой пакеты ионно-циклотронных волн герцового диапазона, усиливающиеся в экваториальной области магнитосферы и проходящие много раз вдоль силовой линии геомагнитного поля, отражаясь от сопряженных ионосфер.

Наземные наблюдения колебаний, полученные с помощью вариационных магнитометров, подвергались спектрально-временному анализу на ЭВМ с помощью узкополосных математических фильтров

$$u(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \exp \left\{ -\alpha \left( \frac{\omega - \omega_k}{\omega_k} \right)^2 + i\omega t \right\} d\omega. \quad (1)$$

Здесь  $S(\omega)$  – спектр рассматриваемого сигнала,  $\omega_k$  – центральная частота фильтра,  $\alpha$  – крутизна фильтра. Крутизна фильтра выбира-

лась из расчета, чтобы при отходе от центральной частоты фильтра на величину  $\Delta f = 0,02$  мк амплитуда сигнала уменьшалась в "е" раз. Такой анализ позволяет отделить спутник от исходной волны и проследить одновременное изменение амплитуды огибающей двух волн с разрешением по времени  $\Delta t \approx 50$  сек.

Как правило, рождение спутников принимает лавинообразный характер (каждый последующий спутник становится источником рождения других спутников). Для того, чтобы четко выделить процесс взаимодействия спутника с основной волной, отбирались временные интервалы, где присутствуют только две волны.

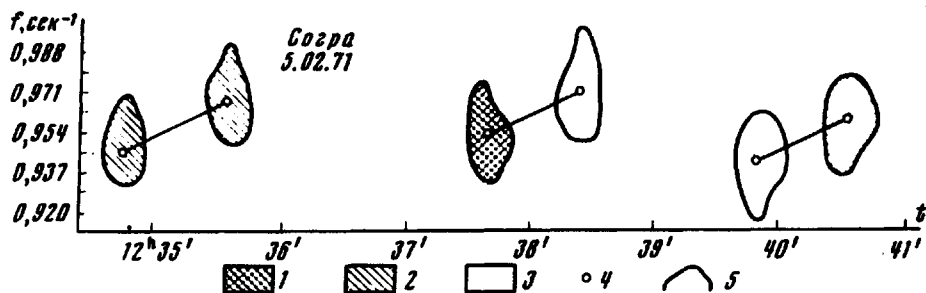


Рис. 1. Спектрально-временной анализ серии "жемчужин": 1 -  $H_{max}^2 / f > 25$  м $\gamma^2$  сек, 2 -  $H_{max}^2 / f > 10$  м $\gamma^2$  сек, 3 -  $H_{max}^2 / f > 3$  м $\gamma^2$  сек, 4 - максимальная амплитуда сигнала  $H_{max}$ , 5 - изолиния амплитуды сигнала на уровне  $H = H_{max} e^{-1/2}$

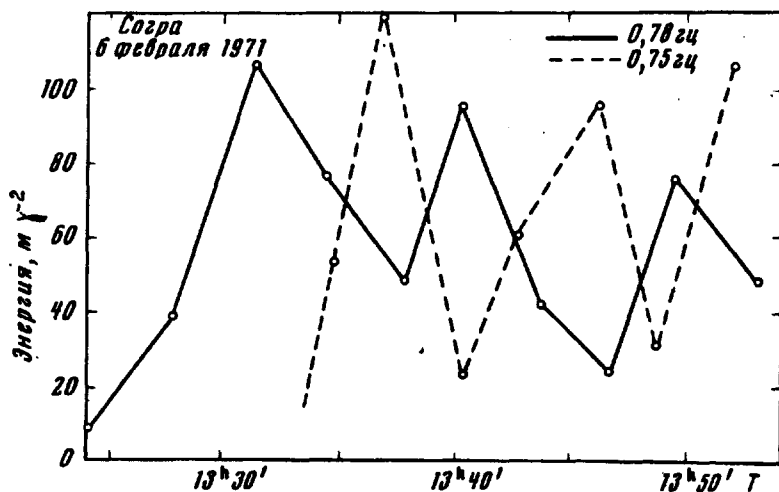


Рис. 2. График изменения во времени амплитуды спутника и основной волны ( $\Delta f = 0,03$  мк)

Результаты обработки на ЭВМ представляют изменение во времени огибающей сигнала  $u(t)$  на каждой из фильтрованных частот. На рис. 1 представлен такой типичный пример спектрально-временного анализа серии "жемчужин", на котором видны пакеты альвеновских

волн, последовательно приходящие в одну из сопряженных точек с периодом повторения  $T = 150$  сек. Степень почернения характеризует относительную величину максимальной амплитуды сигнала.

На рис. 2 приведен график изменения во времени максимальной амплитуды пакета для основной волны  $f_0 = 0,78$  мк (сплошная линия) и спутника  $f_s = 0,75$  мк (пунктирная линия). Из рис. 2 видно, что после того, как основная волна доросла до достаточно большой амплитуды, появляется спутник. При этом амплитуда основной волны падает. Последнее связано с тем, что при нарастании спутник забирает энергию у основной волны. Дальнейшая эволюция представляет собой последовательный процесс обмена энергией между основной волной и спутником с характерным периодом  $\tau$  (для рассматриваемого случая  $\tau = (2+3) T$ ).

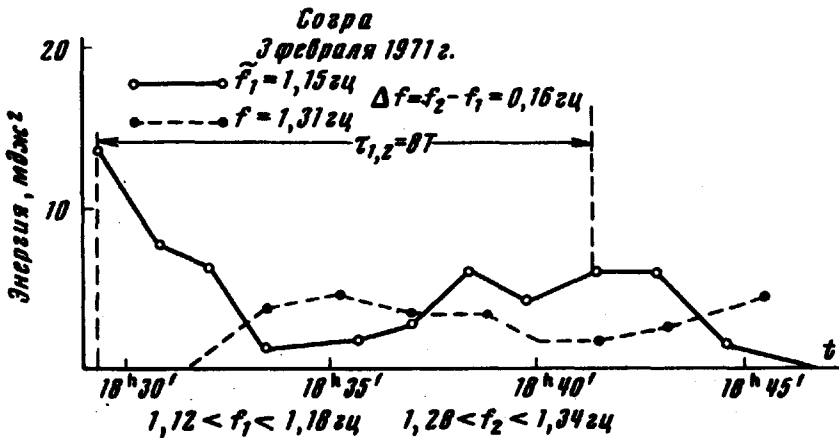


Рис. 3. График изменения во времени амплитуды спутника и основной волны ( $\Delta f = 0,16$  мк)

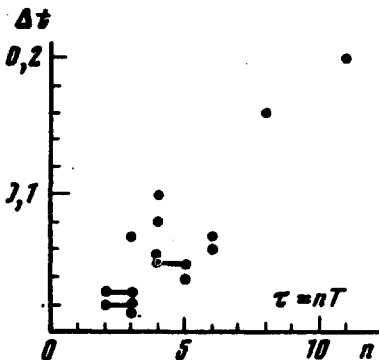


Рис. 4. График зависимости характерного периода обмена энергией между спутниками и основной волной от сдвига частоты  $\Delta f$  между ними

Всего проанализировано 15 случаев, где обнаружен указанный выше эффект периодического обмена энергией между двумя волнами. Анализ показал, что в то время, как при небольшом сдвиге по частоте  $\Delta f_s = 0,02$  мк спутника от основной волны обмен энергией идет достаточно быстро  $\tau = (2+3) T$ , при больших сдвигах  $\Delta f_s = 0,16$  мк обмен энергией происходит медленно  $\tau = 8 T$  (рис. 3). Зависимость характерного периода обмена энергии  $\tau$  от сдвига частоты  $\Delta f_s$  для исследуемых в работе

случаев приведена на рис. 4. Видна тенденция возрастания периода с увеличением  $\Delta f_s$ .

Описанная выше ситуация качественно напоминает поведение системы двух связанных осцилляторов. При малых расстройках (это соответствует сильной связи) обмен энергией происходит достаточно быстро и наоборот.

Следует отметить, что для количественного описания указанного эффекта необходимо построение очень сложной численной модели.

Институт физики Земли  
им. О.Ю.Шмидта

Поступила в редакцию  
18 сентября 1973 г.

Академии наук СССР

#### Литература

- [ 1 ] Н.И.Будько, В.И.Карпман, О. А.Похотелов. Письма в ЖЭТФ, 14, 469, 1971. '
  - [ 2 ] М.Б.Гохберг, В.И.Карпман, О.А.Похотелов. ДАН СССР, 204, 4, 848, 1972. '
  - [ 3 ] N.I.Bud'ko, V.I.Karpman, O.A.Pokhotelov. Cosmic Electrodynamics, 3, 147, 1972. '
  - [ 4 ] N.Wehrlin, R.Gendrin, A.Roux, R.Welti. J.Geophys. Rev., 78, 543, 1973.
-