



Учреждение Российской академии наук
Институт прикладной физики РАН
603950 г. Нижний Новгород, ул.Ульянова, д.46

Генерация низкочастотных волн электронами, ускоренными в условиях **ЭЦР** в ближней зоне антенны в замагниченной плазме

*М.Е. Гуцин, С.В. Коробков, А.В. Костров,
Д.А. Одзерихо, С.Э. Привер, А.В. Стриковский*



**К о н ф е р е н ц и я «Физика плазмы в солнечной системе»
14 - 18 февраля 2011 г., Москва, ИКИ РАН**



Учреждение Российской академии наук
Институт прикладной физики РАН
603950 г. Нижний Новгород, ул.Ульянова, д.46

1. Введение

Космический аппарат	Мощность P (Вт)	Частота f (МГц)	Длина антенны L (м)	Длительность импульса t(мс)	Высота H (км)
“Alouette”	100/300	0.1 ... 14	73	133	550 ... 2400
“ISIS”	100/400	0.1 ... 20	73	98/86	1400
“Интеркосмос-19”	140 ... 300	0.3 ... 16	50/15	133	500 ... 1000
“Космос-1809”	140 ... 300	0.3 ... 16	50/15	133	960
“OEDIPUS C”	10	0.05 ... 8	19	300	440 ... 1200

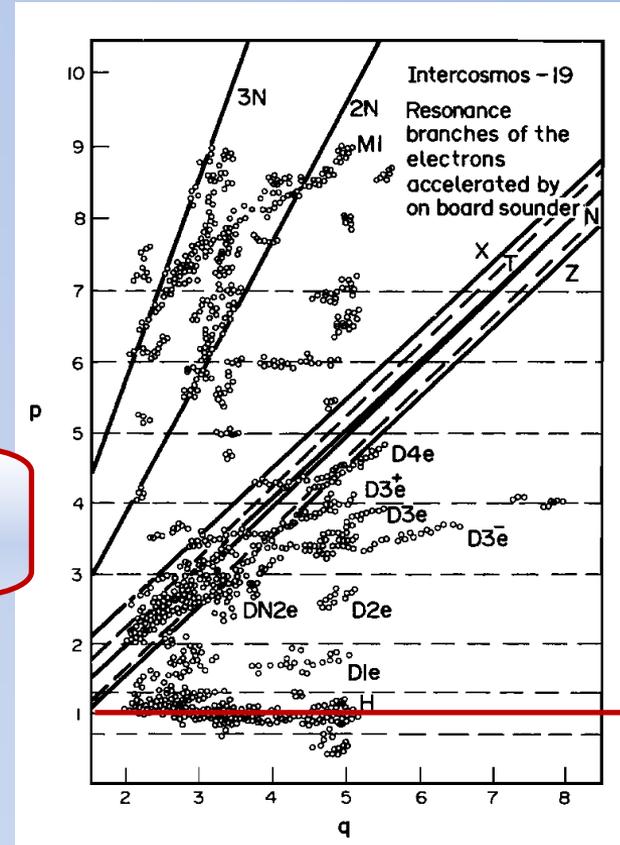
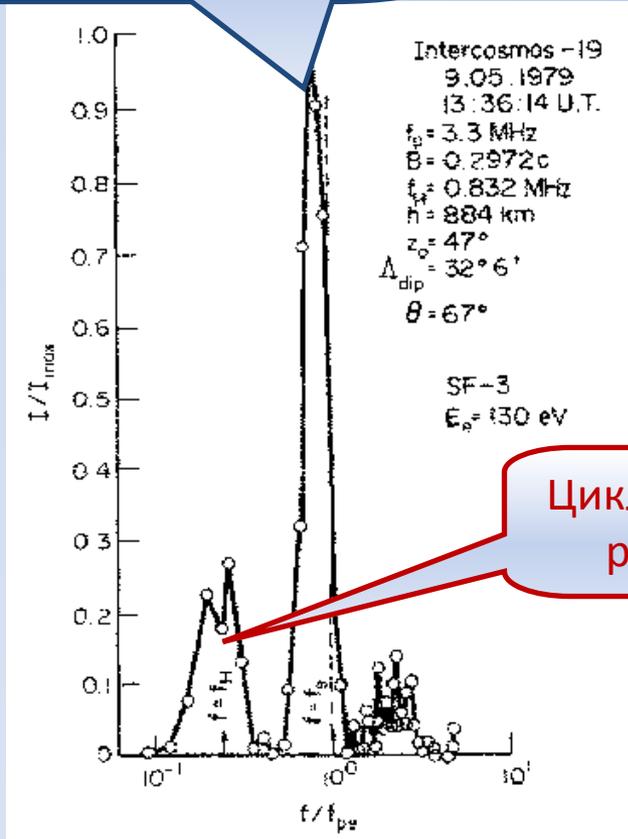
SAE = **S**ounder **A**ccelerated **E**lectrons

КА «Вулкан» - ионозонд нового поколения, запуск – до 2015 г.



Плазменный резонанс

1. Введение



SAE = Sounder Accelerated Electrons



1. Введение

ЭЦР ускорение
электронов



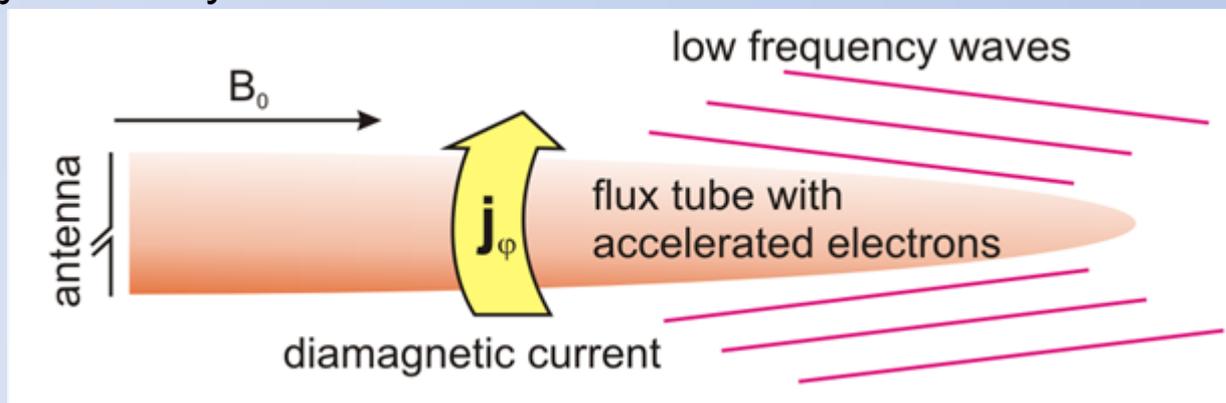
Увеличение
магнитного
момента
электронов



**Диамагнитный
эффект**

Идея “бестелесной” антенны:

Модуляция ВЧ сигнала, подводимого к антенне, приводит к модуляции потока ускоренных электронов, периодическому изменению диамагнитных возмущений, и, соответственно, излучению волн на частоте модуляции в окружающую плазму



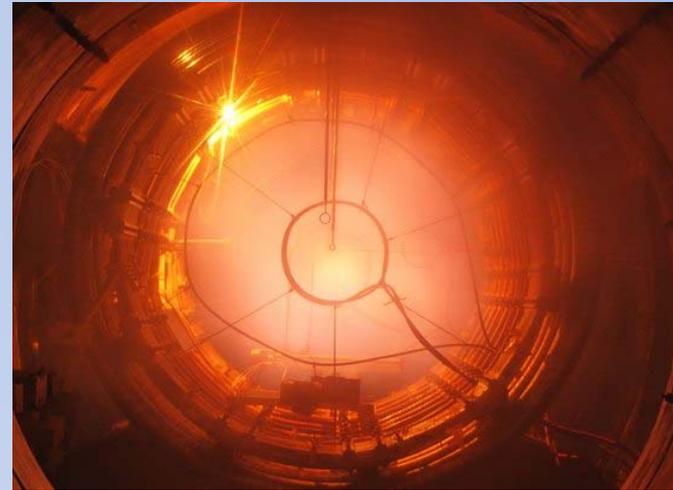


Учреждение Российской академии наук
Институт прикладной физики РАН
603950 г. Нижний Новгород, ул.Ульянова, д.46

3. Крупномасштабный плазменный стенд «Крот»



Основной соленоид установки



Разряд в гелии ($p=2 \times 10^{-3} \text{ Тор}$)



Tel: +7(831)4368071 Fax: +7(831)4160616
E-mail: mguschin@appl.sci-nnov.ru

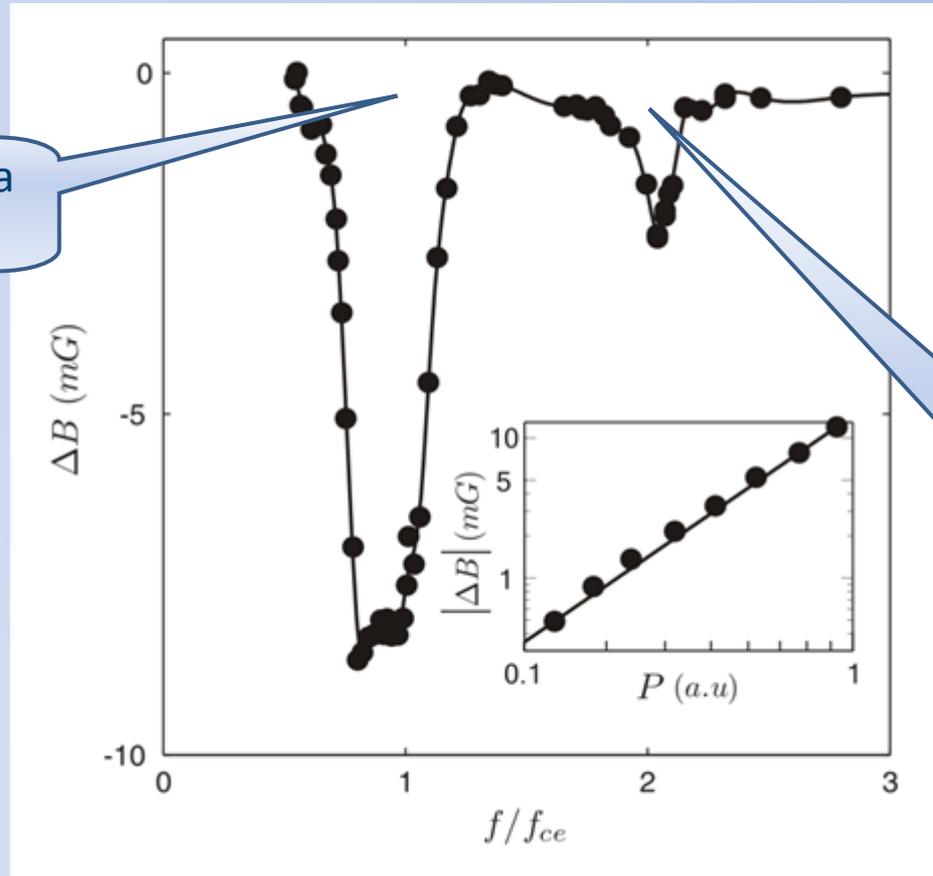


4. Параметры модельного лабораторного эксперимента

Физический параметр	Ионосфера	Лабораторная плазма	
		Расчет ($\gamma = 100$)	Фактически на стенде «Крот»
Концентрация электронов n_e (см ⁻³)	$10^3 \dots 10^6$	$10^7 \dots 10^{10}$	$10^9 \dots 10^{11}$
Температура электронов T_e (эВ)	0.1 ... 5	0.1 ... 5	0.3 ... 3
Магнитное поле B (Гс)	0.2 ... 0.5	20 ... 50	10 ... 100
Частота f (МГц)	0.1 ... 20	10 ... 1000	65 ... 85
Мощность P (Вт)	10 ... 400	10 ... 400	300
Размер антенны L (см)	$10^3 \dots 10^4$	10 ... 100	7
Длина свободного пробега l_{ei} (см)	$10^4 \dots 10^{10}$	1 ... 10^6	1 ... 10^3



5. Экспериментальные результаты



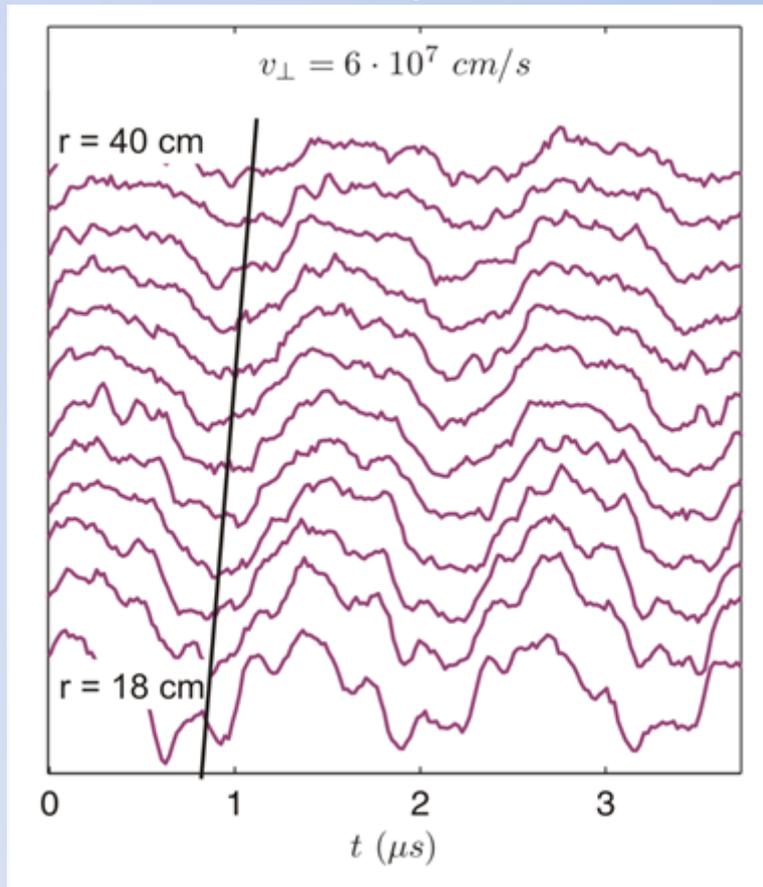
1^{ая} гармоника
ЭЦР

$n_e = 10^{10} \text{ см}^{-3}$
 $T_e = 1 \text{ эВ}$
 $B = 10 \dots 50 \text{ Гс}$
 $f = 68.5 \text{ МГц}$
 $z = 3.5 \text{ см}$
 $r = 3.5 \text{ см}$

2^{ая} гармоника
ЭЦР

Диамагнитный эффект в зависимости от f/f_{ce} и мощности ВЧ генератора P

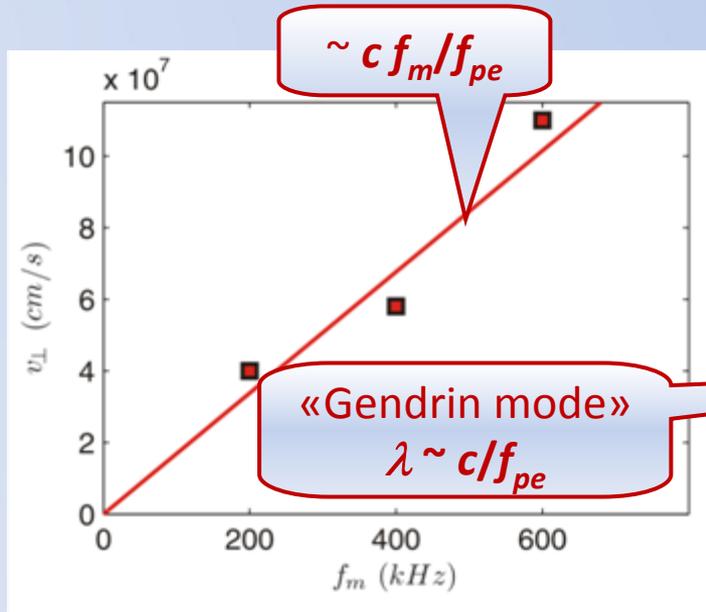
5. Экспериментальные результаты



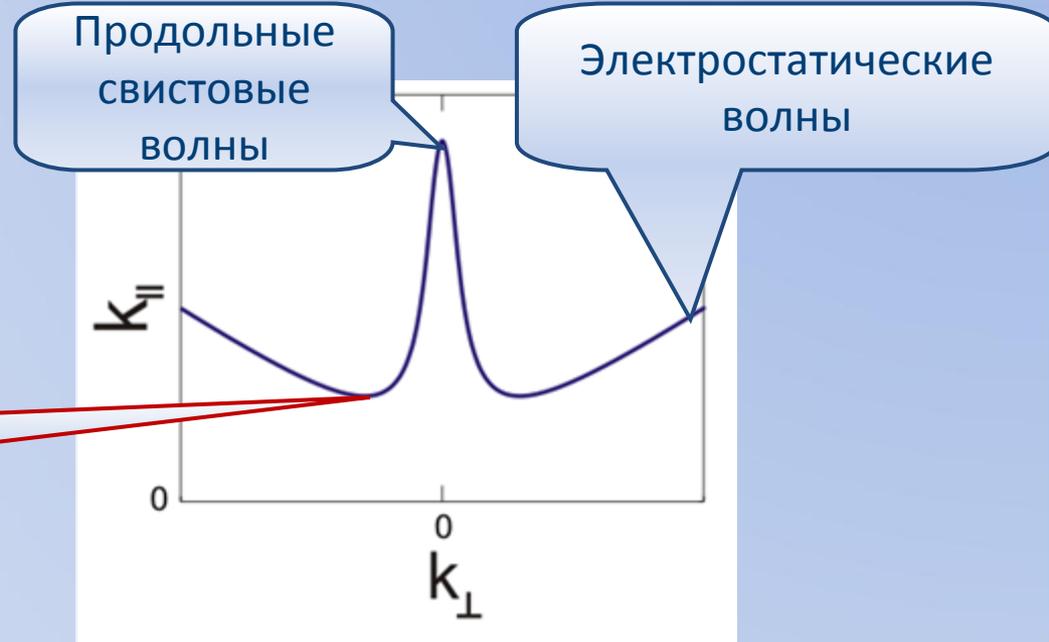
Волны свистового диапазона, возбуждаемые поданным на антенну ВЧ сигналом с периодической модуляцией амплитуды

Магнитное поле НЧ волн, возбуждаемых амплитудно-модулированной ВЧ накачкой (**66 МГц, 250 Вт, частота модуляции 400 кГц**) в режиме ЭЦР, при различных радиальных позициях измерительного зонда.

5. Экспериментальные результаты



Измеренная поперечная фазовая скорость НЧ волн в зависимости от частоты модуляции $F = f_m$

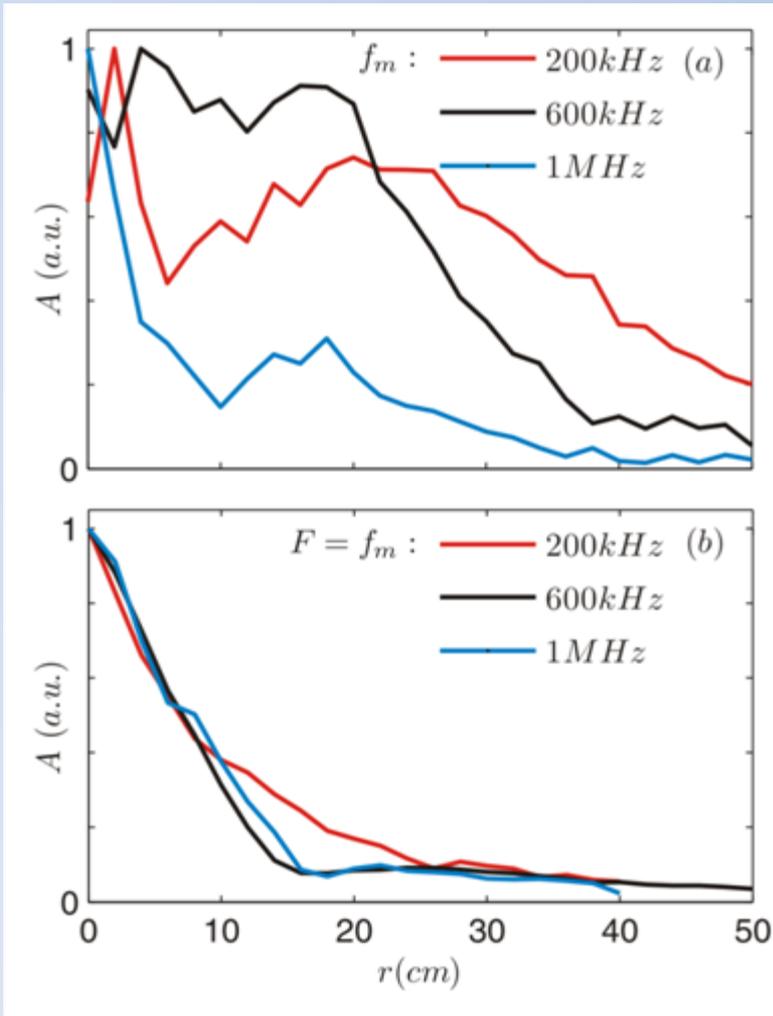


Теоретическая поверхность волновых векторов для НЧ волн свистового диапазона для заданной частоты $F = f_m$

Дисперсия свистовых волн, возбуждаемых ВЧ накачкой с периодической модуляцией амплитуды: **волны конической рефракции** или **«Gendrin mode»**



5. Экспериментальные результаты



(a) Распределение амплитуды НЧ свистовых волн, возбуждаемых амплитудно-модулированной ВЧ накачкой в режиме ЭЦР, по радиусу плазмы

(b) Распределение амплитуды пробных НЧ волн, возбуждаемых при непосредственной подаче НЧ сигнала на антенну, по радиусу плазмы (те же частоты, то же сечение)

Параметрическая схема

(«бестелесная антенна»)

позволяет возбуждать НЧ волны в существенно большей области плазмы, чем с помощью обычной антенны



6. Оценки для активного ионосферного эксперимента

Для масштабного множителя $\gamma = 100$:

	Мощность P (Вт)	Длина антенны L (м)	Частота модуляции F (кГц)	Диамангнитное возмущение в силовой трубке, заполненной ускоренными электронами ΔB (нТл)	Магнитная компонента НЧ волн ΔB (нТл)
Лабораторный эксперимент	$10^2 \dots 10^3$	10^{-1}	$10^2 \dots 10^3$	$10^3 \dots 10^4$	$10^1 \dots 10^2$
Ионосфера	$10^2 \dots 10^3$	10^1	$10^0 \dots 10^1$	$10^1 \dots 10^2$	$10^{-1} \dots 10^0$



7. Заключение

- Предложен новый метод генерации низкочастотных волн в активных ионосферных экспериментах, основанный на циклотронном нагреве (ускорении) электронов плазмы амплитудно-модулированным сигналом, подводимым к бортовой антенне космического аппарата
- Модельные лабораторные эксперименты показывают, что предлагаемая параметрическая схема генерации НЧ волн достаточно эффективна, и позволяет возбуждать НЧ волны в существенно большей области плазмы, чем при непосредственной подаче НЧ сигнала на ту же антенну; наблюдается возбуждение косых волн свистового диапазона частот.