



Изучение процессов во внутренней магнитосфере Земли: спутниковые и наземные измерения.

М.М. Могилевский (1), Л.М. Зеленый (1),

А.Г. Демехов (2), С.Н. Немыкин (3) и команда проекта

(1) ИКИ РАН

(2) ИПФ РАН

(3) НПОЛ

...



Участники проекта РЕЗОНАНС

Россия – ИКИ РАН, НПОЛ, ИПФ РАН, ИЗМИРАН,
НИРФИ, ПГИ КНЦ РАН

Австрия – ИКИ ААН

Болгария – ИКИ БАН

Чехия – IAF CAS

Финляндия – Oulu univer/

Франция – LPCE/CNRS, CESR CNRS

Германия – IMP Lindau

Греция – Thrace Univ.

Польша - CBK PAN

Словакия – IEP SAS

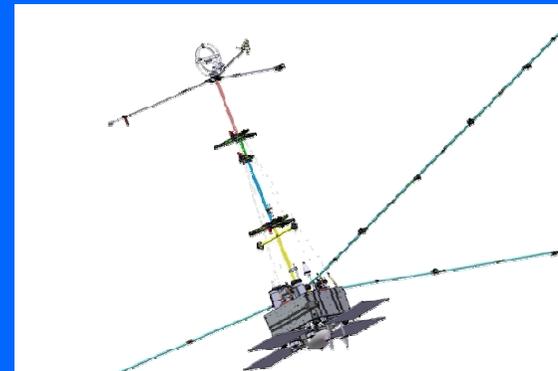
Украина – ЛФ ИКИ НАНУ/НКАУ, ИРА НАНУ

USA – Mariland Univ.



Проект РЕЗОНАНС направлен на исследование процессов во внутренней магнитосфере Земли и авроральной области.

В рамках проекта будут запущены две пары спутников, оснащенных приборами для измерения параметров плазмы и электромагнитного поля.



КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ПРОЕКТА РЕЗОНАНС

*Приборы для измерения параметров полей
и волн*

| Прибор | Диапазон измерений |
|--------------------|---------------------------|
| Магнитометр | (3В) DC – 10 Гц |
| КНЧ приемник | (3Е) DC – 10 Гц |
| ОНЧ приемник | (3Е + 3В) 10 Гц – 20 кГц |
| ВЧ приемник | (3Е + 3В) 10 кГц – 20 МГц |
| Радиоинтерферометр | 5 и 10 МГц |



КОМПЛЕКС НАУЧНОЙ АППАРАТУРЫ ПРОЕКТА РЕЗОНАНС

*Приборы для измерения параметров
плазмы и частиц*

| Прибор | Диапазон измерений |
|----------|---------------------------|
| РЕПИН | Фоновая плазма (до 10 эВ) |
| КАМЕРА-Е | Электроны 10 эВ – 20 кэВ |
| КАМЕРА-И | Ионы 10 эВ – 20 кэВ |
| БЕЛА | Электроны 5-50 кэВ |
| ДОК | Электроны и ионы |
| РЭМ | Электроны и ионы |



Магнитосинхронные орбиты

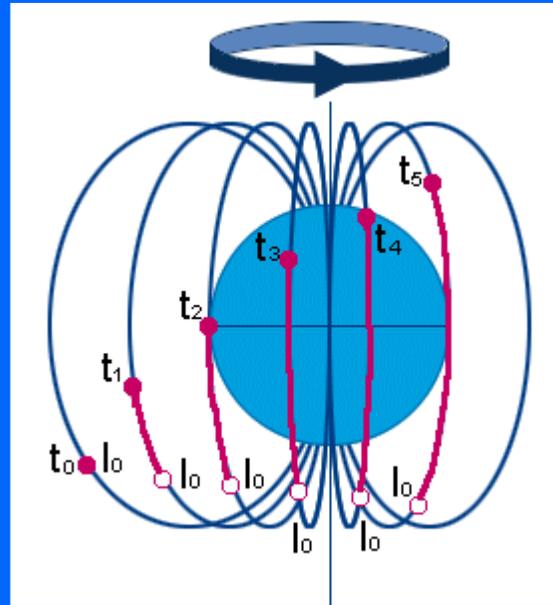
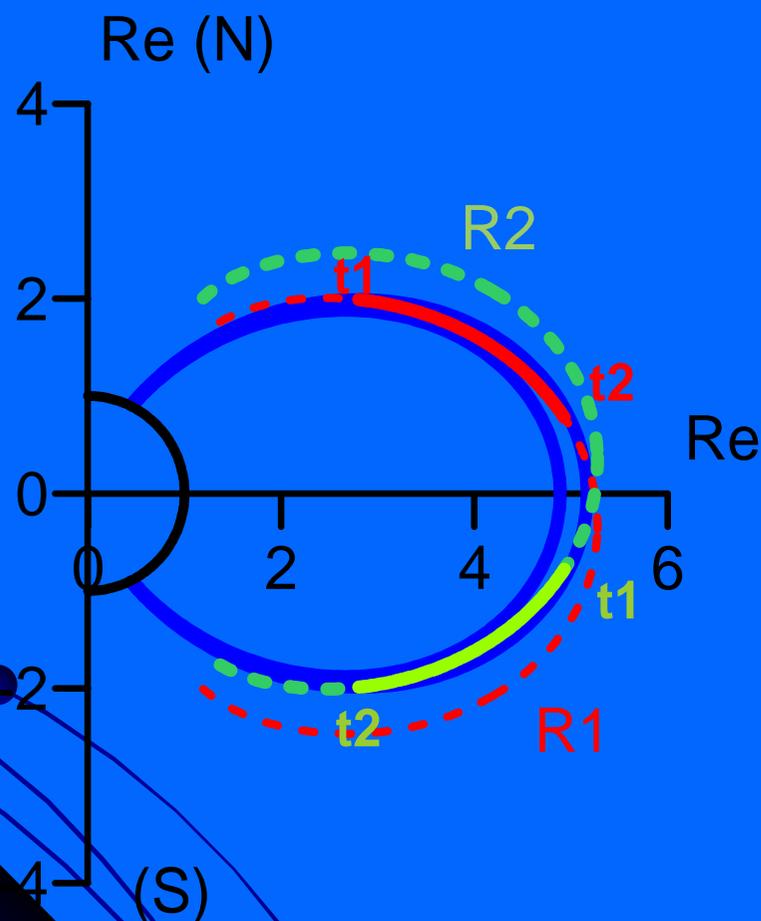


Схема движения спутников РЕЗОНАНС вдоль силовой трубки магнитного поля. l_0 – Начальное положение спутника на силовой линии (в момент t_0), l_i – положение спутника в момент t_i . Красная кривая – путь, пройденный спутником вдоль выбранной силовой трубки.

Стратегия измерений



Синяя кривая – границы выбранной силовой трубки.

Красная кривая – орбита спутников R1 А и В (сплошная кривая – внутри выбранной силовой трубки, пунктирная кривая – вне ее).

Зеленая кривая – орбита спутников R2 А и В.

Символами t1 и t2 отмечено одновременное вхождение спутников в выбранную силовую трубку.

Положение спутников в выбранной силовой трубке магнитного поля

Параметры орбит спутников проекта РЕЗОНАНС

В рамках проекта две пары спутников
будут запущены на магнито-синхронные
орбиты с параметрами:

$$T = 8 \text{ часов}$$

$$h_{\text{ap}} = 28\,000 \text{ км}$$

$$h_{\text{per}} = 500 \text{ км}$$

$$i = (+/-) 63,4^\circ$$



Основные научные задачи

1. Приэкваториальная область

- Динамика магнитосферных циклотронных мазеров,
- Формирование кольцевого тока,
- Заполнение магнитосферы после магнитных возмущений.

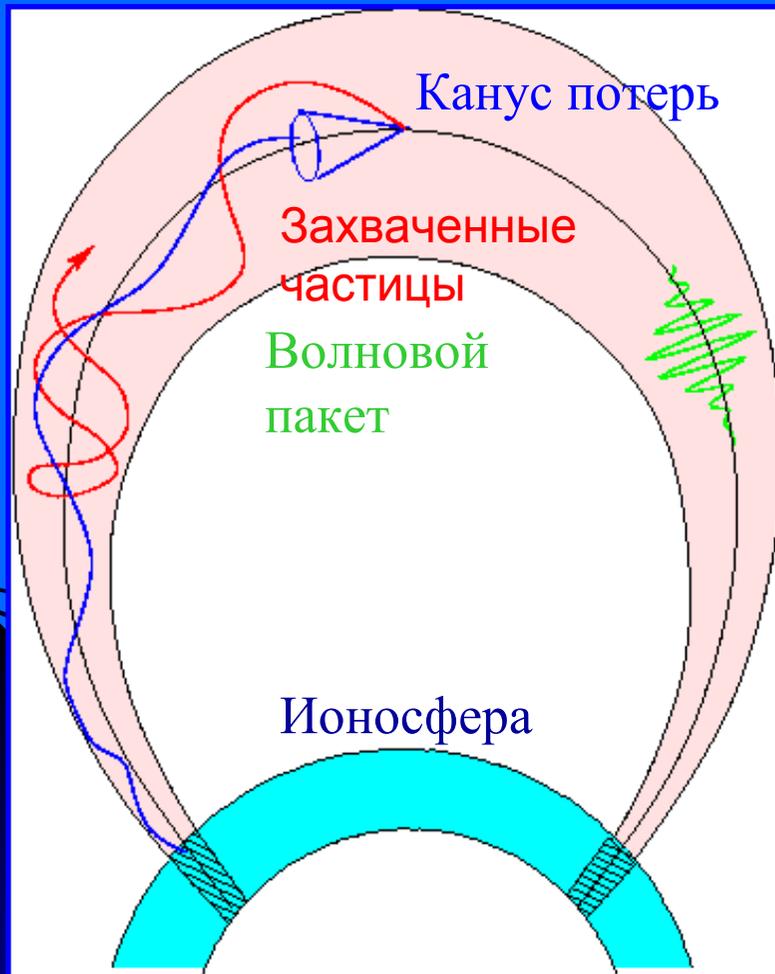
2. Авроральная область

- Глобальные явления (АКР: источник и распространение; генерация и распространение ОНЧ/КНЧ излучений),
- Роль мелкомасштабных явлений в глобальной динамике плазмы (Область ускорения).

3. Совместный эксперимент с HAARP



Магнитосферный циклотронный мазер



Источник энергии:
электроны ($W_e > 5 \text{ keV}$),
протоны ($W_p > 10 \text{ keV}$)

Электродинамическая
система:
*Магнитная трубка, заполненная
холодной плазмой, и
сопряженная ионосфера в роли
зеркал*

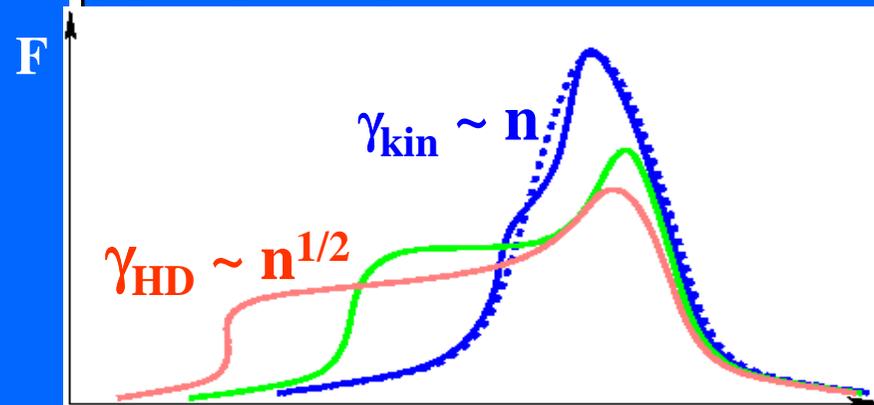
Режимы работы:
*свистовые волны
ионно-циклотронные
волны*

$$\omega < \omega_H (e,p)$$

«Ударная» волна в фазовом пространстве

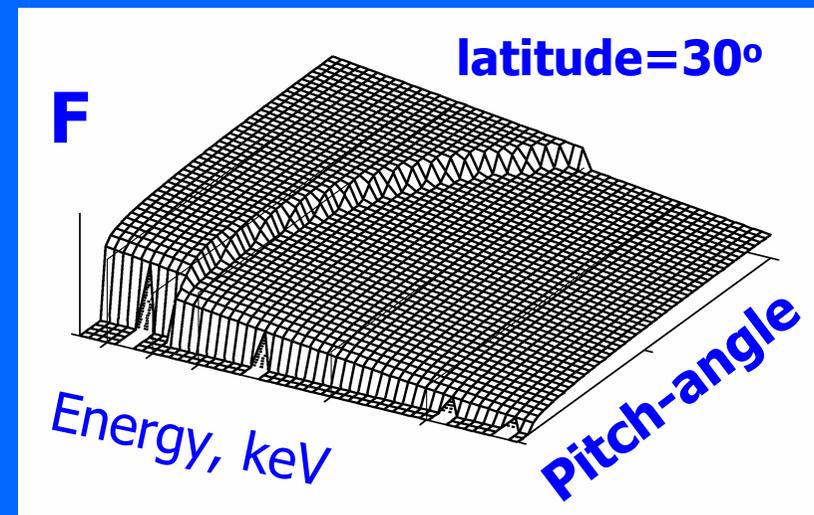
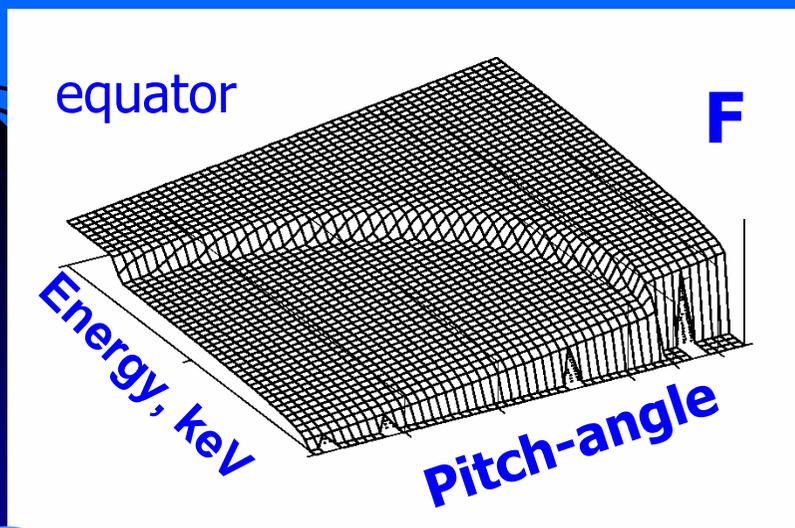
One-dimensional relaxation of beams in plasmas:

- Ivanov and Rudakov (1966);
- Ivanov (1977)



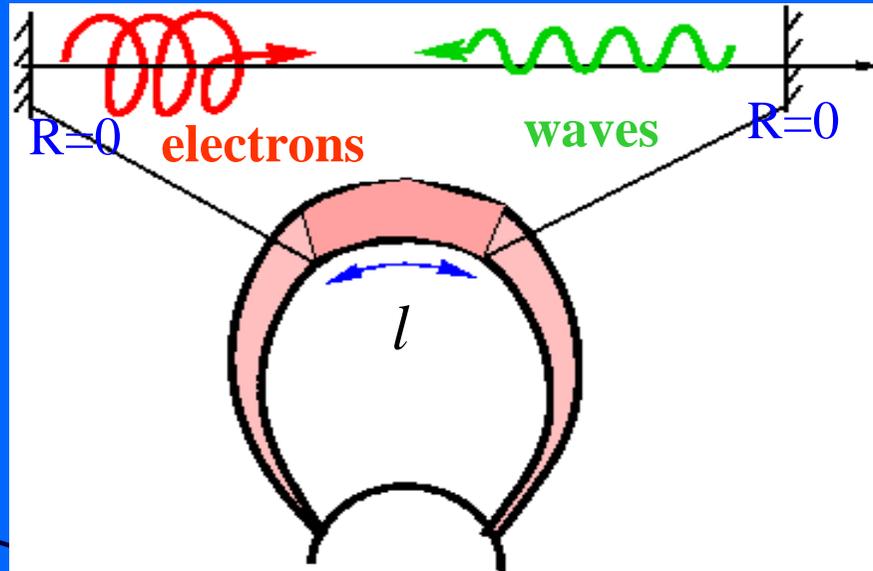
Quasilinear relaxation of the cyclotron instability in an inhomogeneous magnetic field

$v_{||}$



Осциллятор типа лампы обратной волны в магнитосфере

$$l \sim 1000 \text{ km} \ll R_E$$



$$\gamma \sim \left(\frac{\Delta n_r}{n_x} \right)^{1/2} \omega_{HL}$$

Absolute instability threshold
(BWO regime):

$$q \equiv \frac{\gamma l}{(v_g v_{\parallel})^{1/2}} > \frac{\pi}{2}$$

$$T_M \approx 1,5 l (v_g^{-1} + v_{\parallel}^{-1})$$



Generation
of ELF noise

$\pi/2$

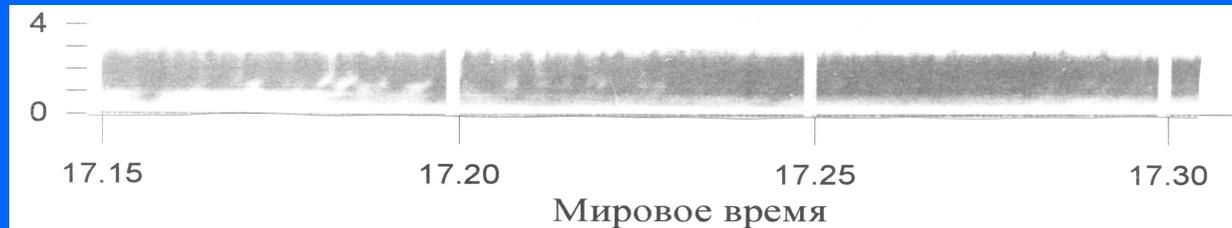
Quasiperiodic
generation

π

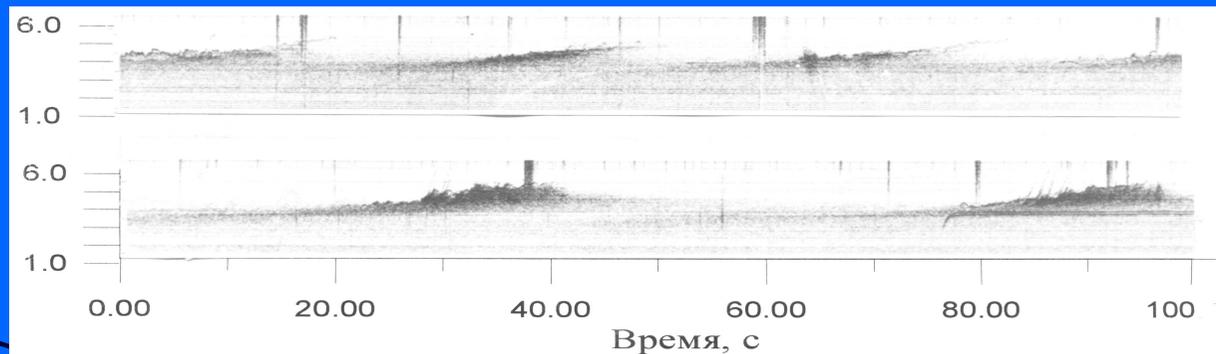
Stochastic
generation

q

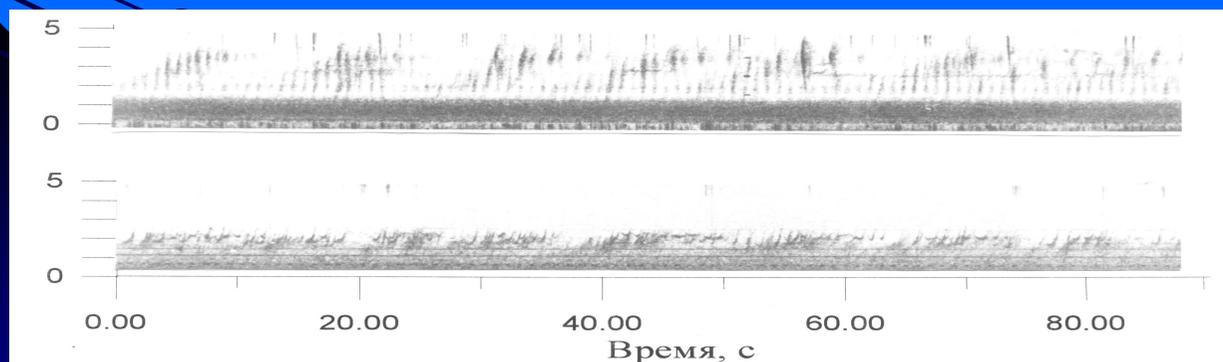
Типы излучений в магнитосферном мазере: свистовые волны



Квазишумовые
излучения
(стационарные)



Периодические
излучения



Дискретные
излучения
(хоры)

Авроральная область

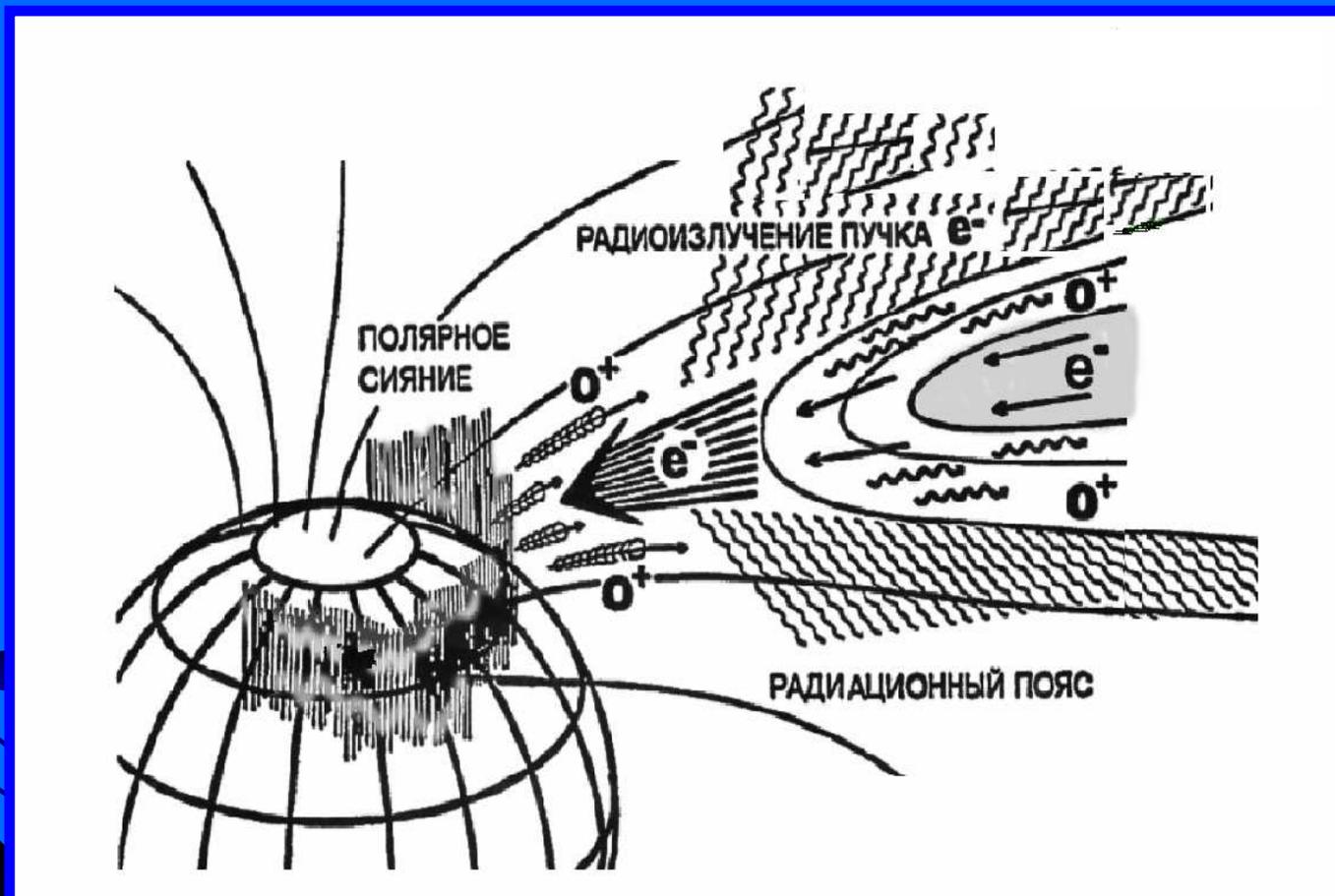
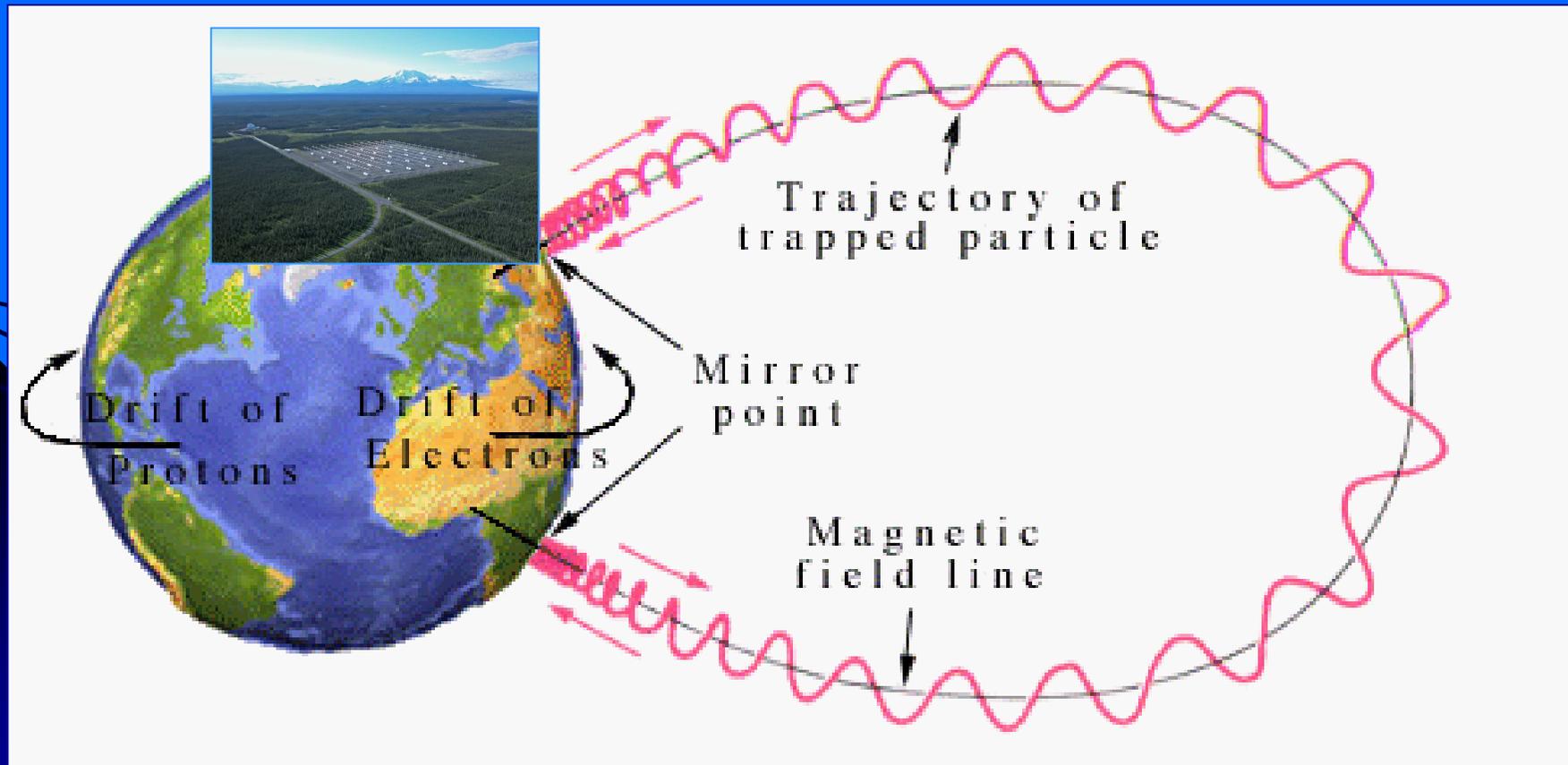


Схема явлений в авроральной области

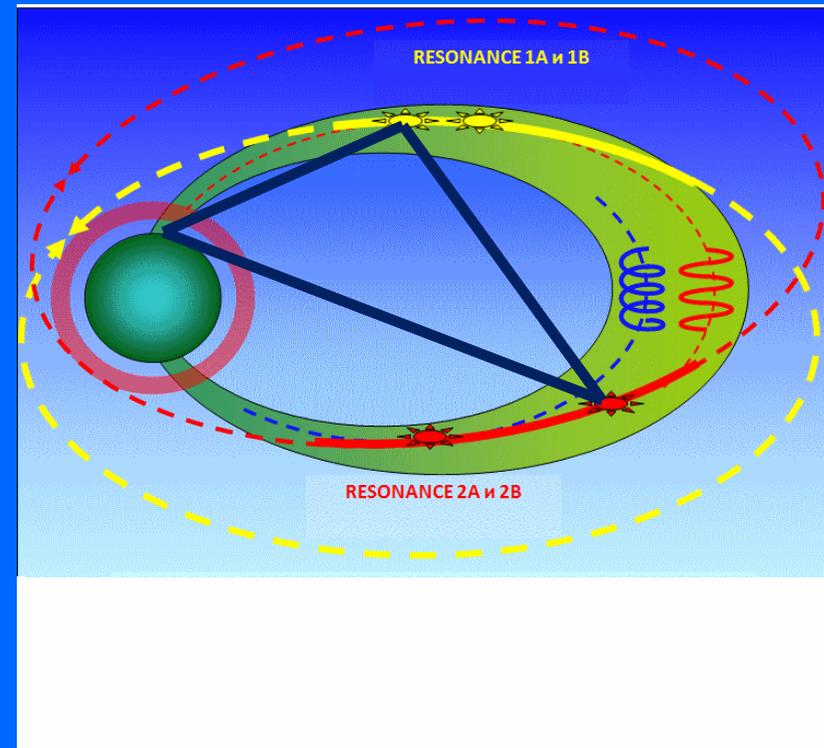
Совместный эксперимент РЕЗОНАНС-НААРР

В результате резонансного взаимодействия ОНЧ волн и захваченных частиц изменяется пич-угол последних, что приводит к высыпанию и изменению свойств ионосферы в сопряженных точках

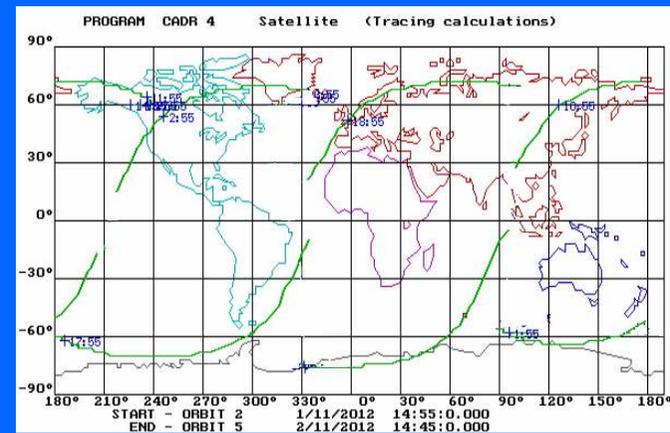
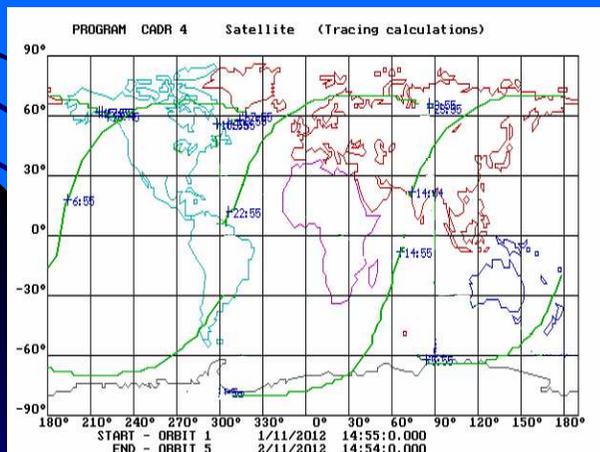
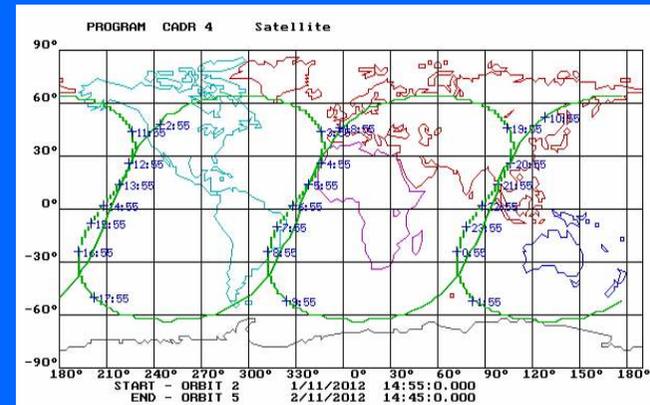
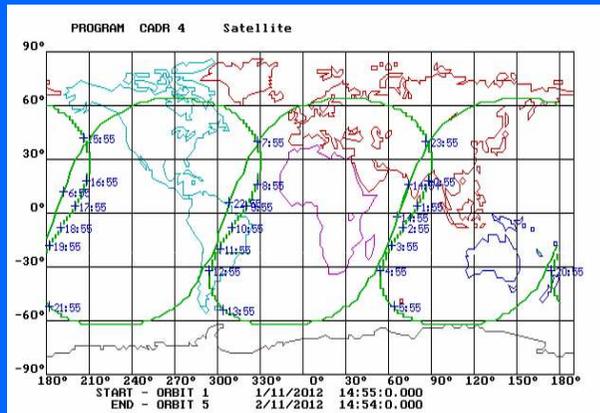


Координированный эксперимент УНЧ интерферометр

В рамках проекта планируется проведение ряда координированных экспериментов с использованием как спутниковых, так и наземных измерений. В частности, одним из таких экспериментов является «УНЧ интерферометр». Используя измерения в диапазоне частот 0-10 Гц на борту спутников на расстояниях порядка полутора радиусов Земли и наземные измерения в основании выбранных силовых линий (на которых будут находиться спутники), будут лоцированы источники УНЧ излучений и построено распределение полей во внутренней магнитосфере.



Координированные бортовые и наземные измерения



Результаты расчета сопряжения орбиты спутников проекта РЕЗОНАНС



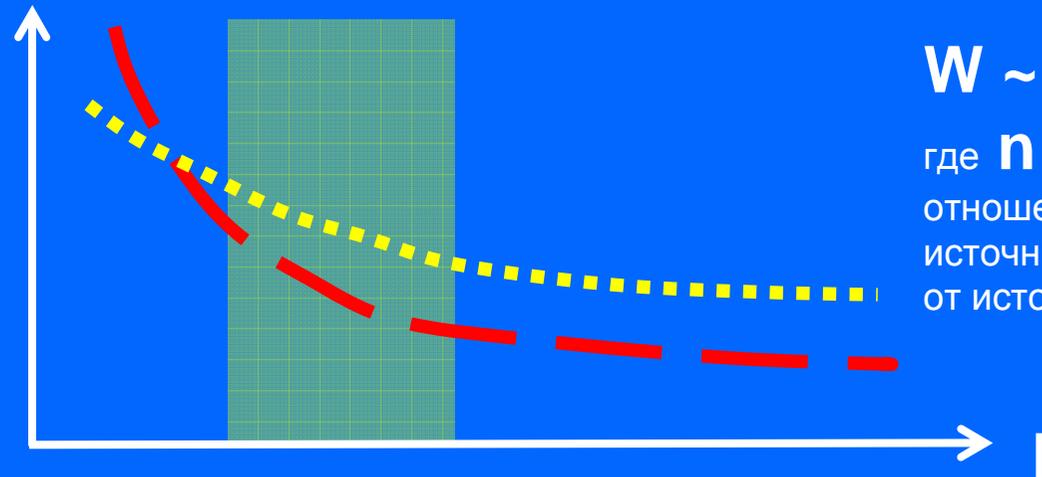


Б.М. Ляхов
1912-1994



Роль магнитного поля в сохранении жизни на планете

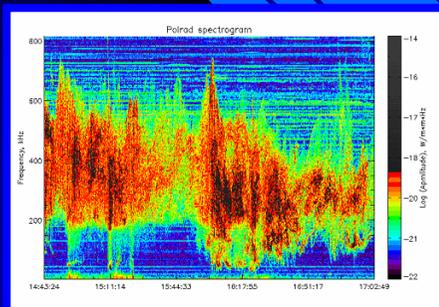
Из статьи
P. Zarka



$$W \sim 1/r^n$$

где n зависит от отношения размеров источника и расстояния от источника (2)

В нашей солнечной системе в «зеленую зону», область, где поток лучистой энергии от Солнца достаточен для поддержания биологических систем, попадают три планеты – Венера, Земля и Марс. Только у Земли есть магнитное поле, которое защищает от радиации.



Циклотронное мазерное излучение (для Земли – АКР) – уверенный признак существования у планеты магнитного поля.