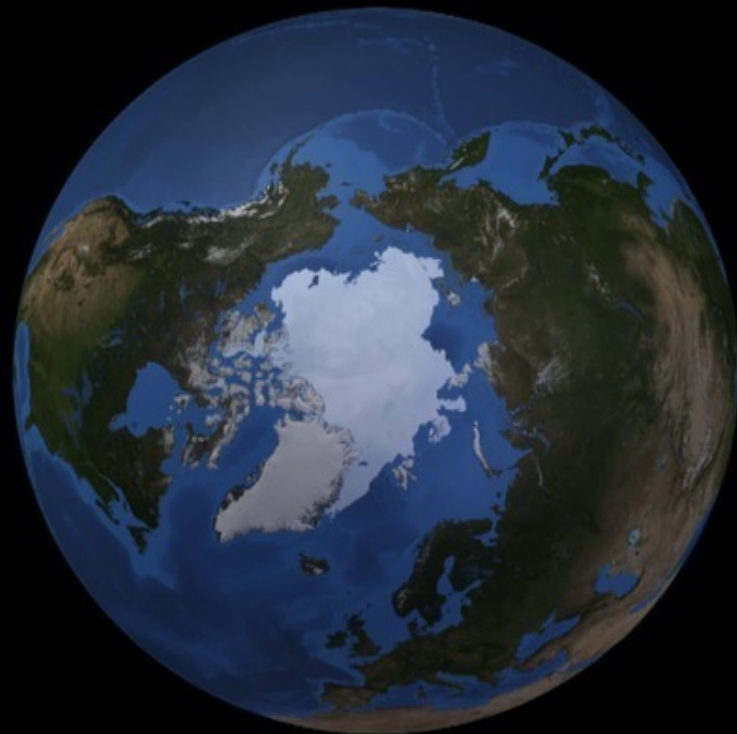


Арктика-Антарктика: электромагнитная связь между полярными областями Земли

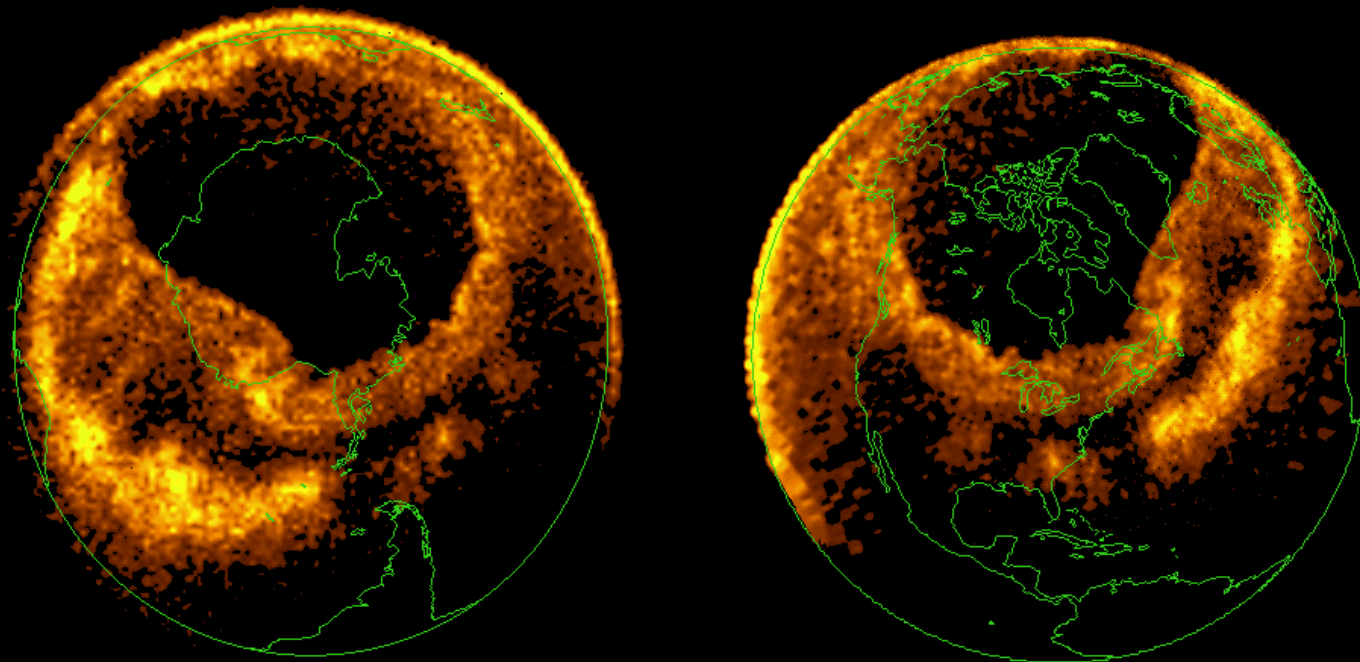
ANTARCTIC



ARCTIC

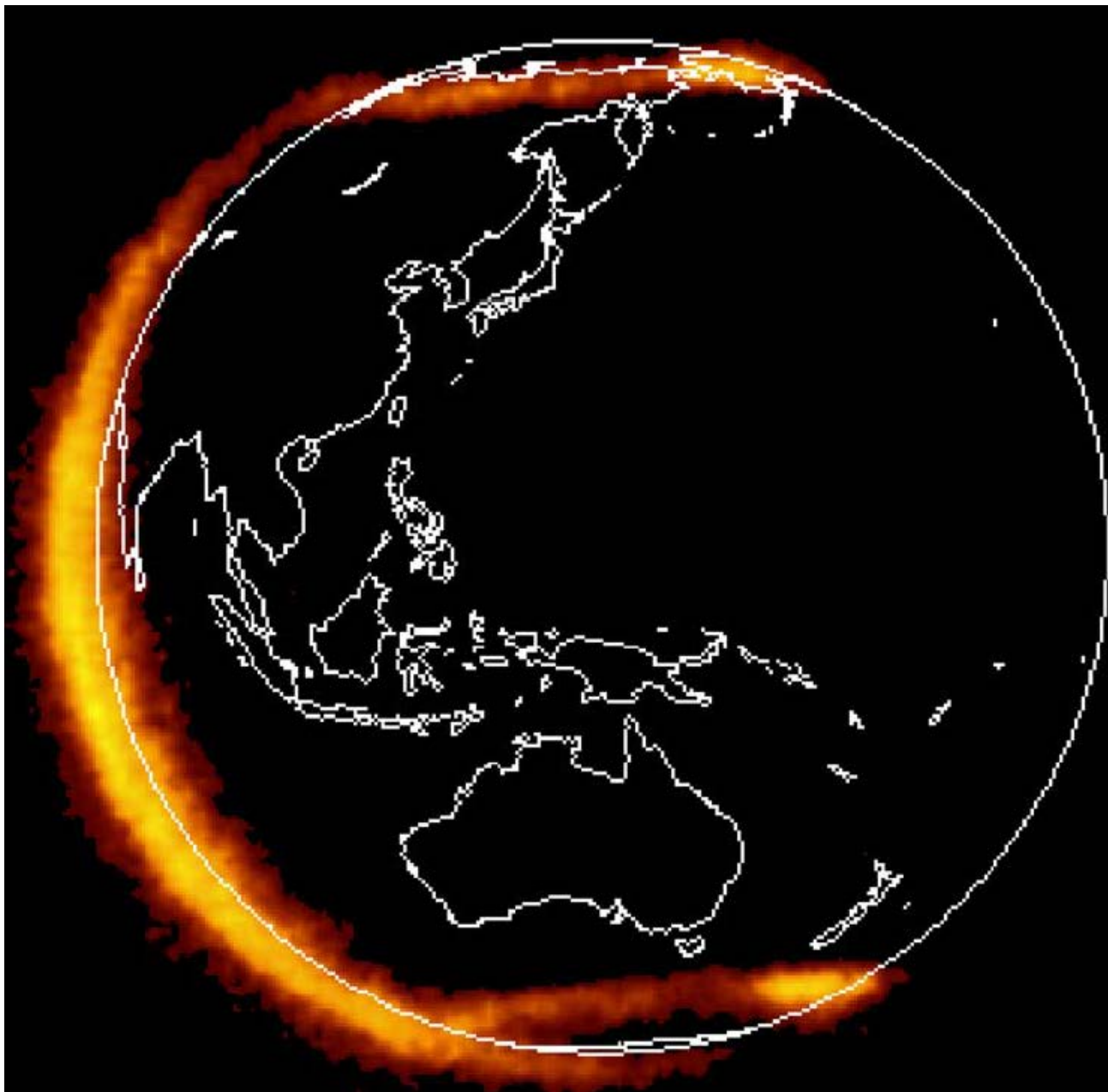


Полярные широты в северном и южном полушарии – самые удаленные друг от друга области. Тем не менее, такие мощные проявления космической погоды как полярные сияния в северном и южном полушариях оказываются тесно связанными между собой.

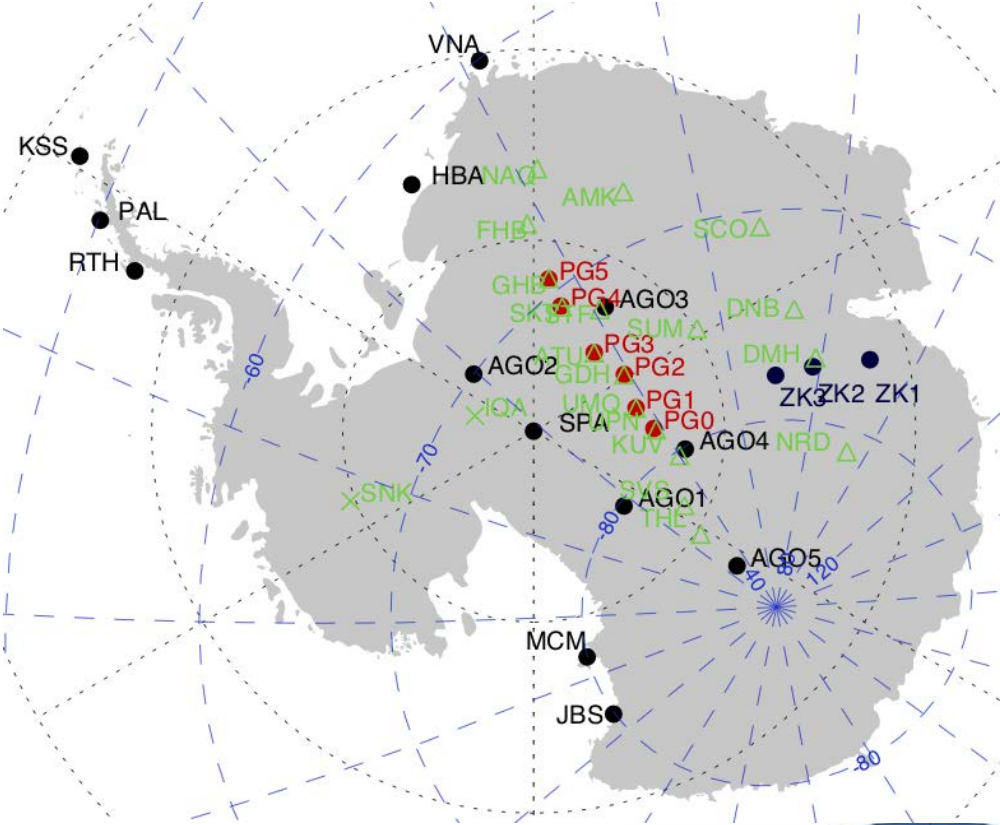


89 073 0151 UT

Как полярное сияние в одном полушарии узнает от другого что пора вспыхивать?

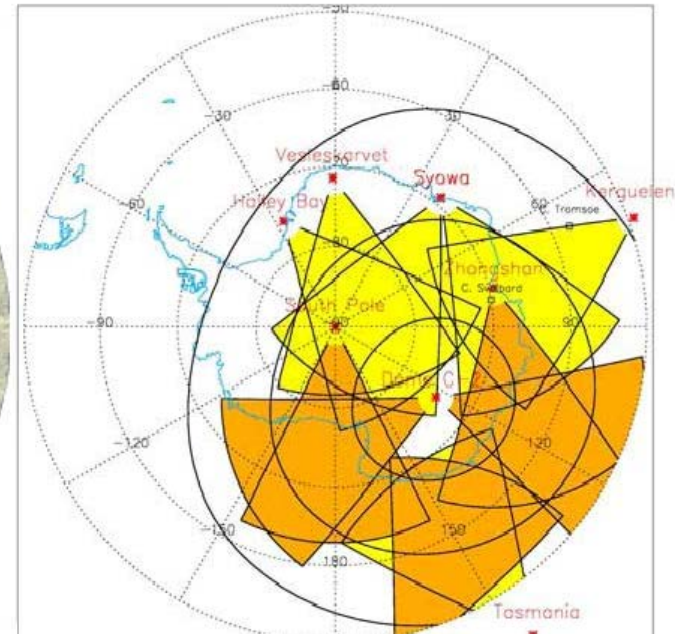
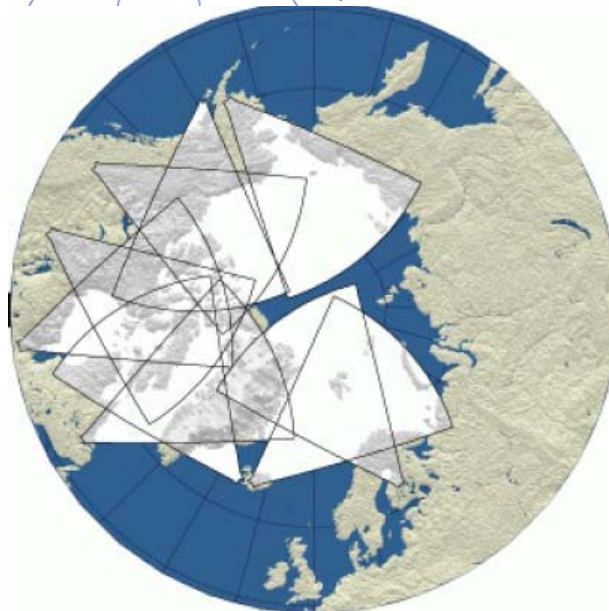


Арктика и Антарктика – наиболее оснащенные геофизические полигоны

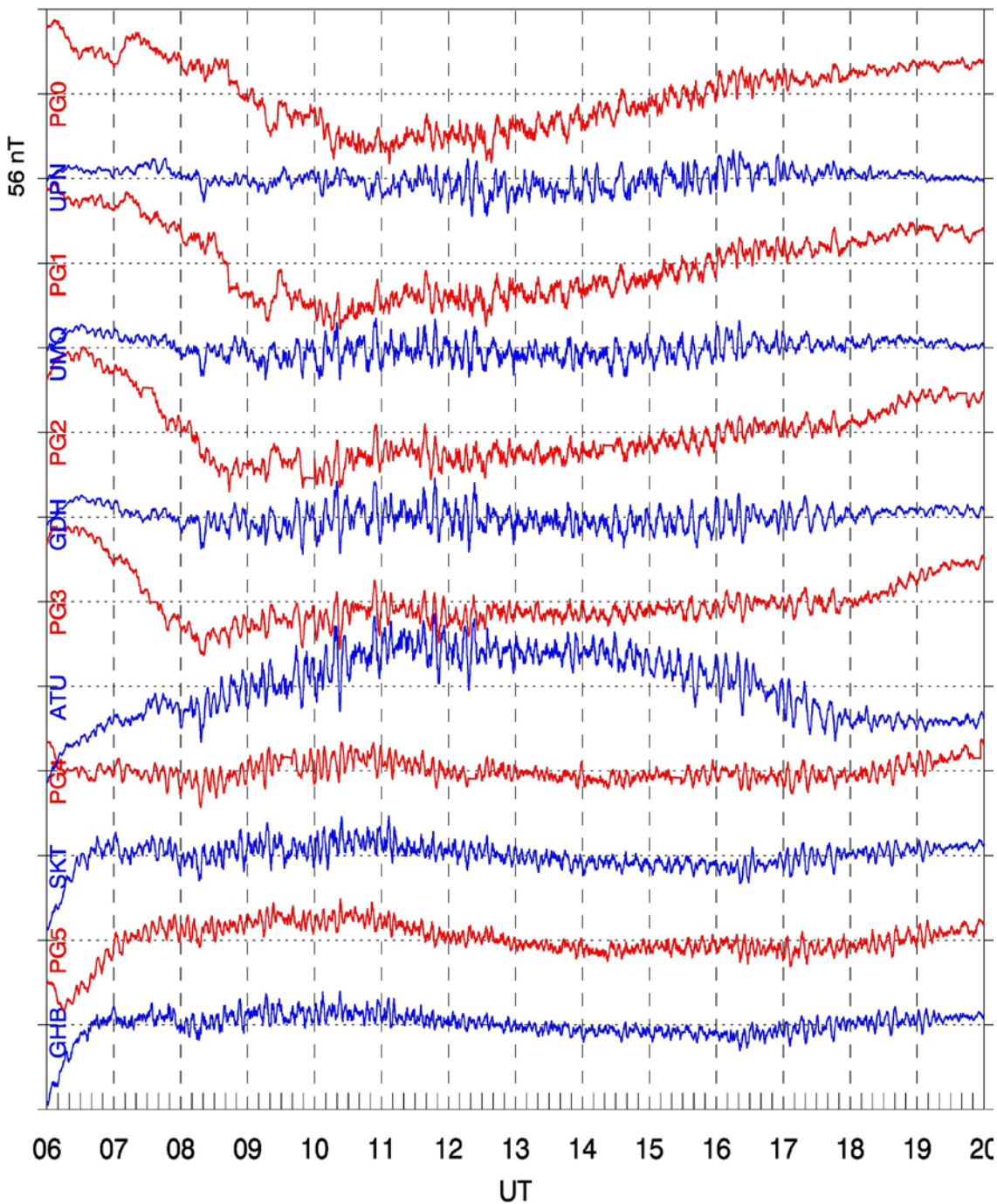


Магнитометры...

Радары...



2016 0125 (025)



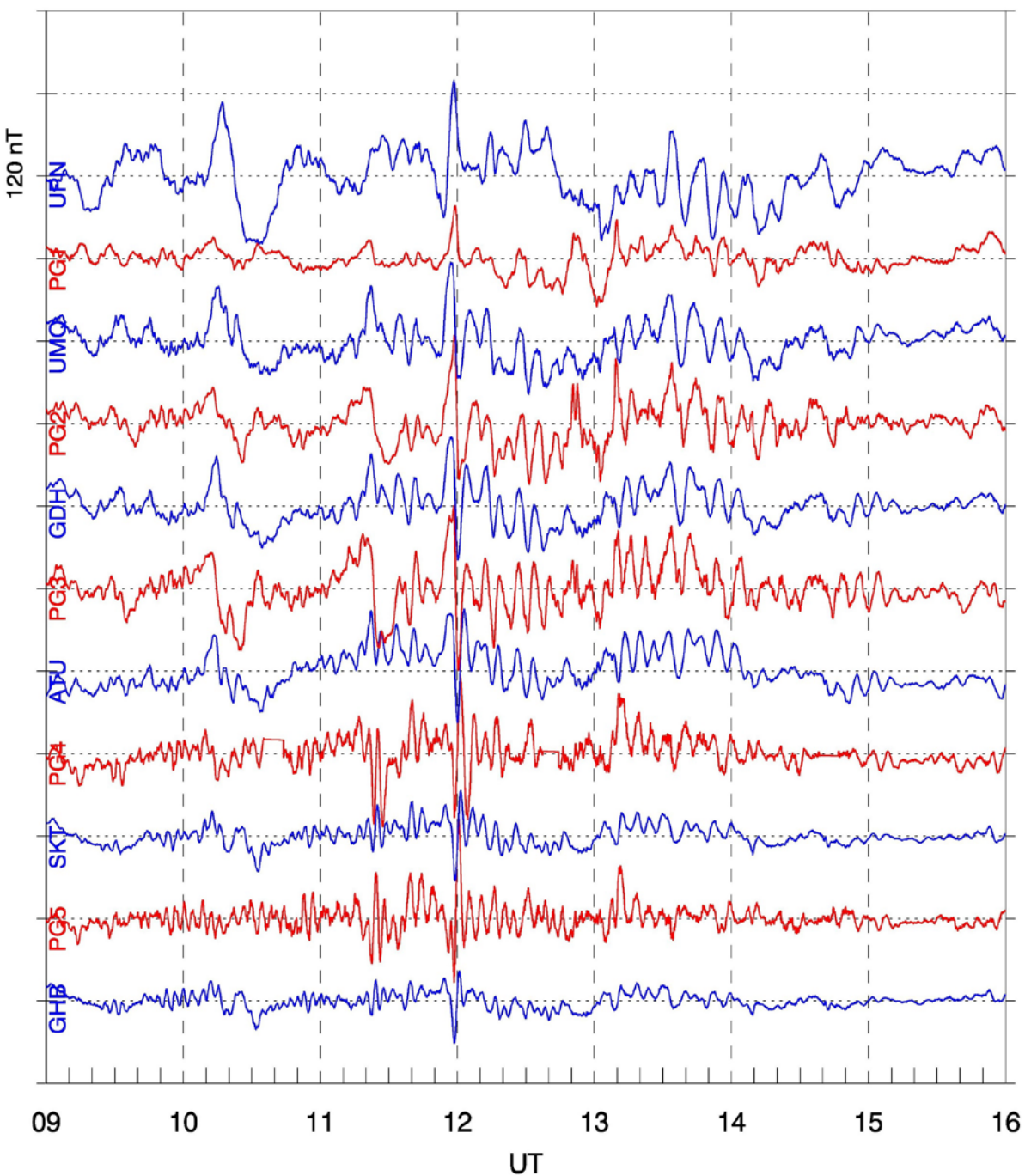
УНЧ волны ($T \sim 3-5$ min) в Арктике и Антарктике

Возмущения магнитного поля разных частотных диапазонов в полярных областях также оказываются удивительно похожими.

Каким образом полярные области разных полушарий оказываются связанными между собой?

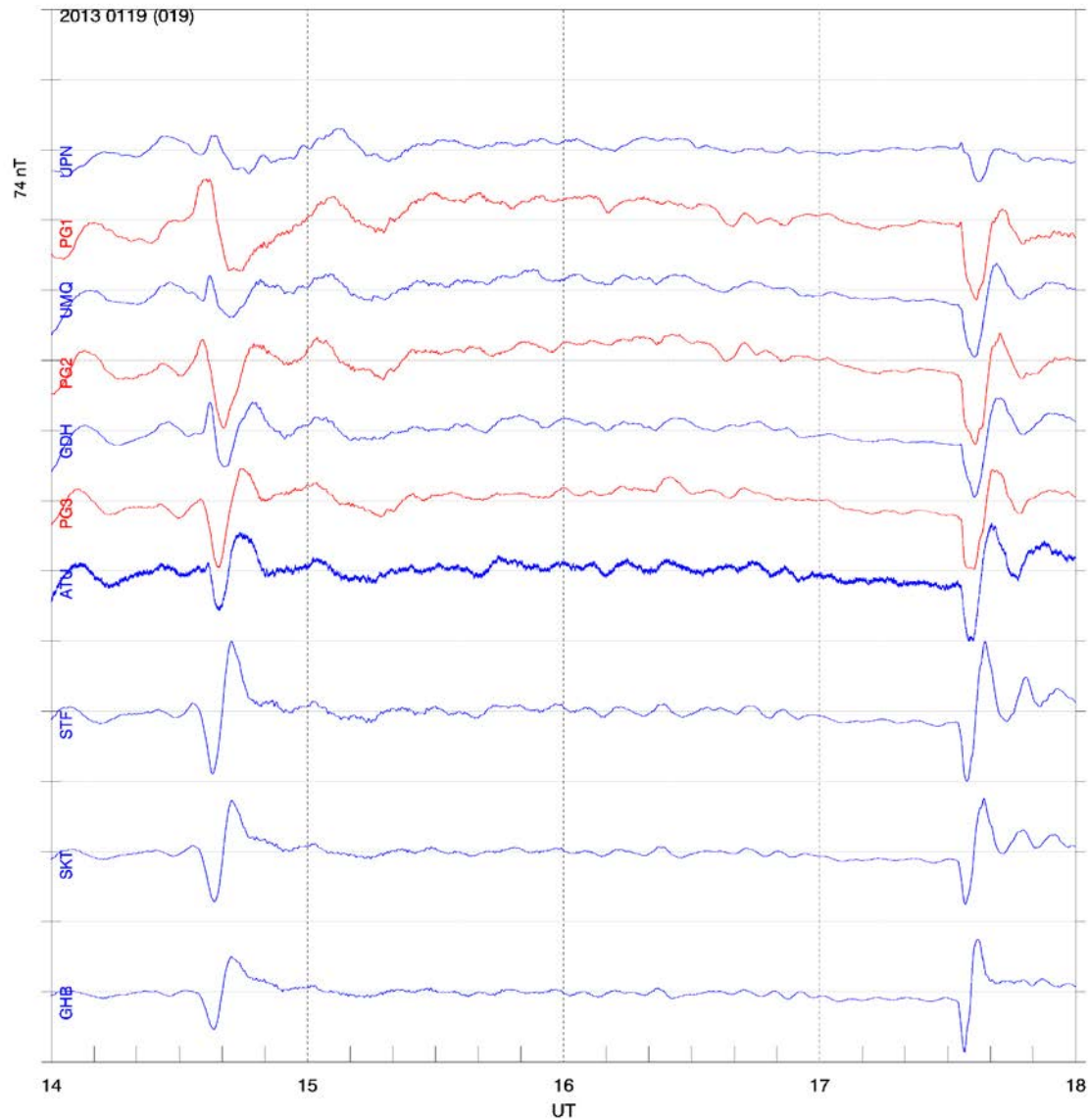
Как эти колебания добегают из одного полушария до другого?

2016 0613 (165)

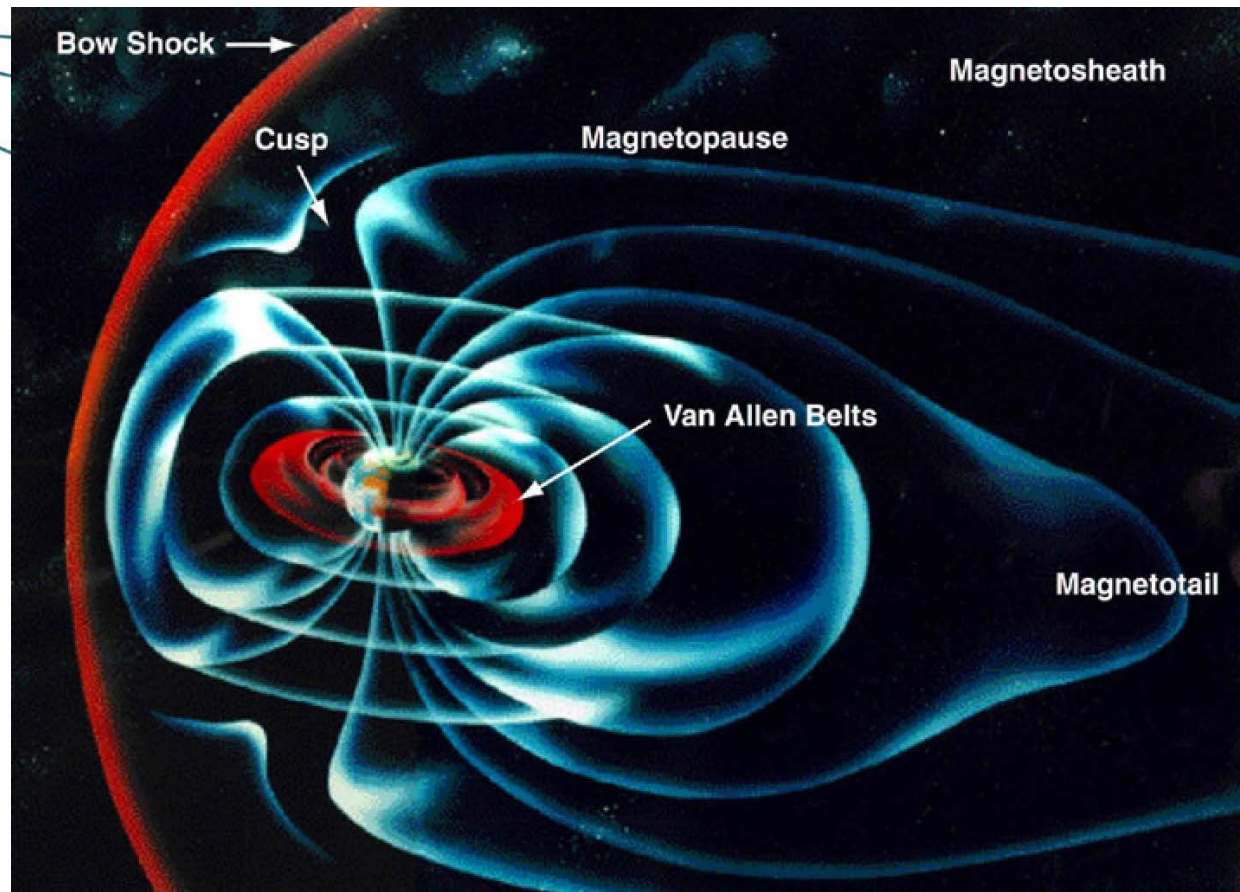
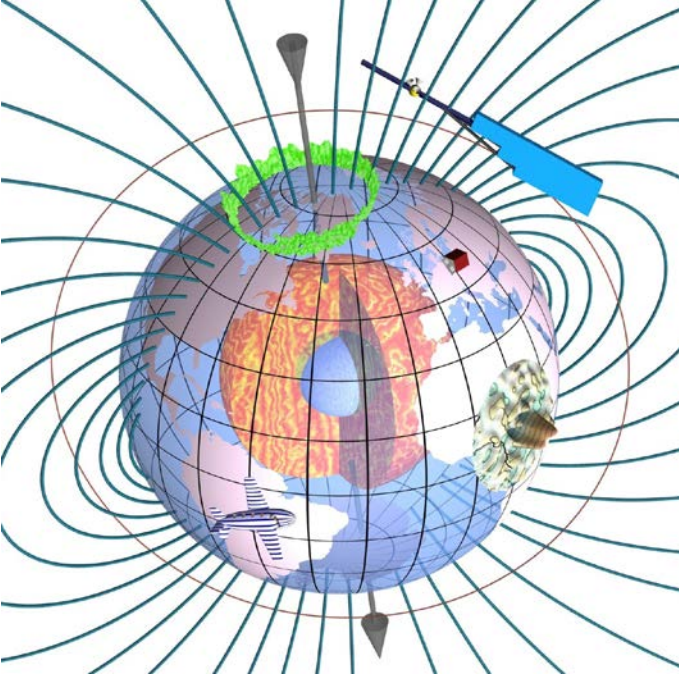


Пример УНЧ волн (T~10 min) в
Арктике и Антарктике

Уединенный геомагнитные импульсы (TCV) в Арктике и Антарктике



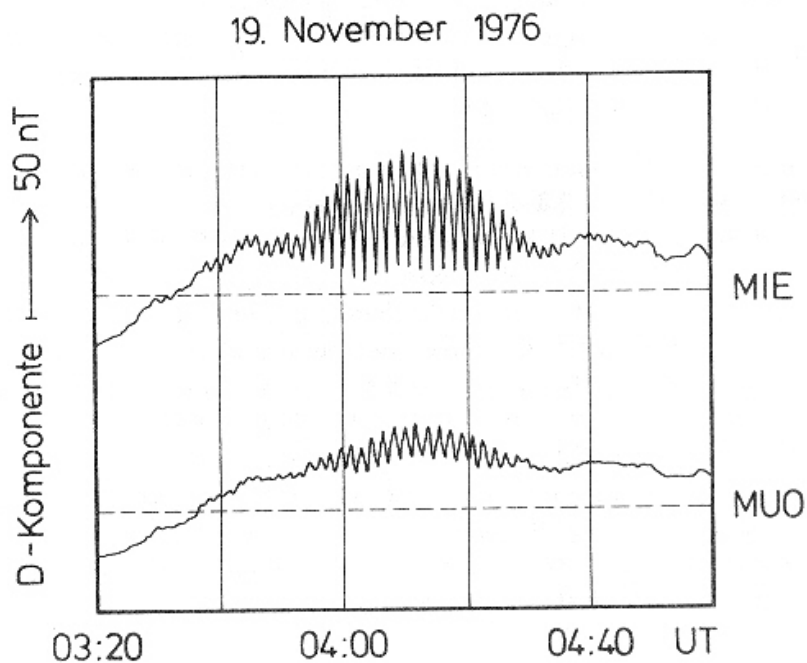
Что же связывает процессы в Арктике и Антарктике? Земное магнитное поле!



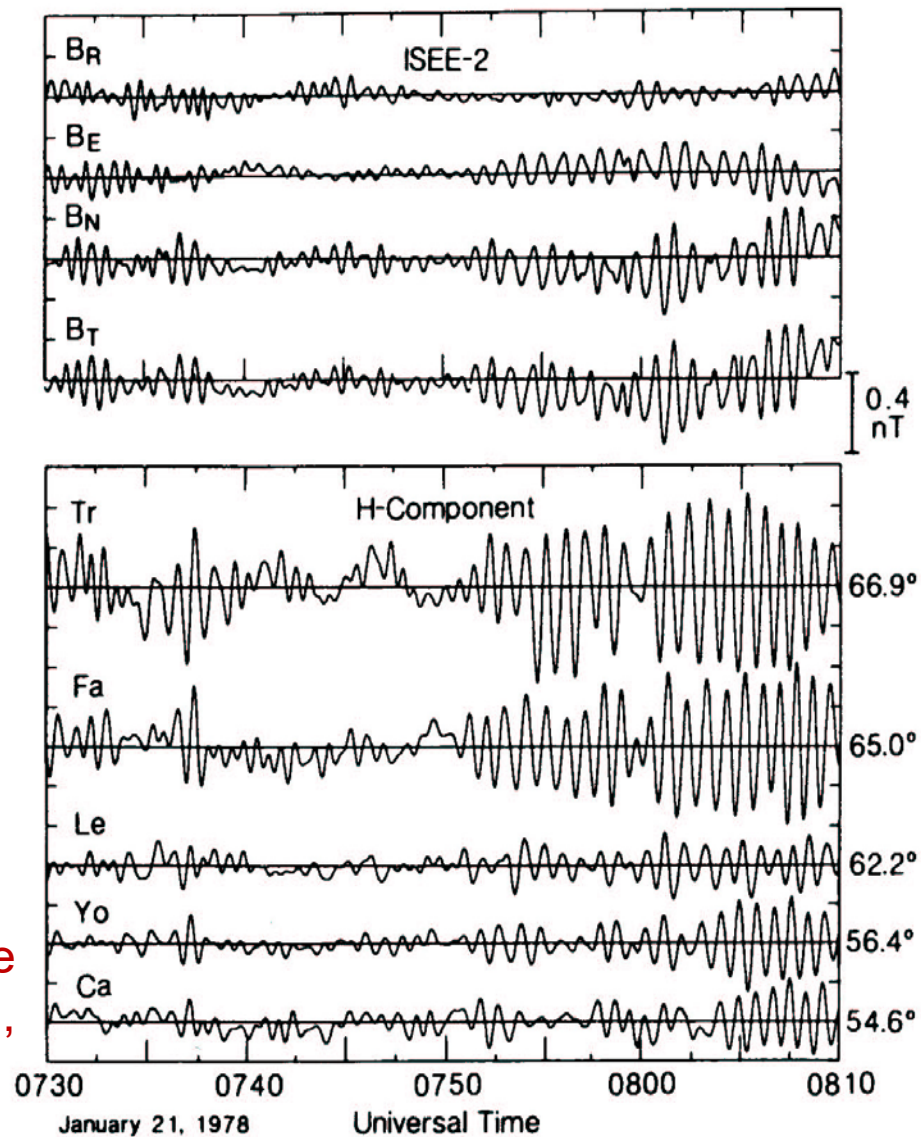
УНЧ волны

Чувствительный магнитометр на земле и в ближнем космосе видит «зверинец» волн, шумов, импульсов, сигналов с периодами от неск. сек до десятков мин

Иногда выглядят как ETI сигналы



Оказалось, что эти геомагнитные пульсации = первые э/м волны, зарегистрированные человечеством!



И что это за э/м волны с периодом 5-10 мин?

Как УНЧ сигнал бежит из одного полушария в другое?

Как описать УНЧ волновые процессы в околоземной плазме?

Надо самосогласованно учесть движение частиц и возмущение э/м полей!

При этом частицы не независимы!

МГД = движение проводящей жидкости в магнитном поле

➤ **In fluid:** столкновения держат частицы жидкости вместе

➤ **In plasma:** без столкновений? Но все частицы движутся как единое целое благодаря ларморовскому вращению. Магнитное поле и элемент плазмы неразрывно связаны (вмороженность)

MHD = Maxwell's equations + Fluid equations

Уравнения для э/м полей

$$[\nabla \times \mathbf{B}] = \mu_0 \mathbf{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \quad \text{Ampere's Law}$$

$$[\nabla \times \mathbf{E}] = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad \text{Faraday's Law}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho_q}{\epsilon_0} \quad \text{Poisson's equation}$$

Для связи частиц и полей – закон Ома

$$\mathbf{j} = \sigma (\mathbf{E} + [\mathbf{V} \times \mathbf{B}])$$

Какие волны в МГД?

The restoring force in MHD:

$$\rho d_t \mathbf{v} = -\mu_o^{-1} [\mathbf{B} \times [\nabla \times \mathbf{B}]]$$

By analogy: **Acoustics**

$$\rho d_t \mathbf{v} = -\nabla p \Rightarrow V_s = \sqrt{\gamma p / \rho}$$

acoustic wave velocity

using (rot... \equiv $[\nabla \times \dots]$)

$$[\text{rot} \mathbf{G} \times \mathbf{F}] + [\text{rot} \mathbf{F} \times \mathbf{G}] = (\mathbf{G} \nabla) \mathbf{F} + (\mathbf{F} \nabla) \mathbf{G} - \nabla (\mathbf{F} \cdot \mathbf{G})$$

$$[\mathbf{B} \times [\nabla \times \mathbf{B}]] = (\mathbf{B} \nabla) \mathbf{B} - \nabla (B^2 / 2)$$

«КОМПОНЕНТЫ «МАГНИТНОЙ СИЛЫ»:

изгиб силовых линий + магнитное давление

$$\gamma p \rightarrow B^2 / 2\mu_o$$

$$V_s \rightarrow V_A = \frac{B}{\sqrt{\mu_o \rho}}$$

MHD velocity = **Alfven velocity!**

БМЗ (Compressional) МГД волны

Alfven: Nobel prize in 1970!

In the near-Earth space plasma:

$$B \sim 10^2 - 10^3 \text{ nT} \quad \rho \simeq 1 - 10^3 \text{ cm}^{-3} \quad \Rightarrow \quad V_A \simeq 10^3 \text{ km/s}$$

Хотя обычный звук в космосе не распространяется, но есть изотропные волны благодаря магнитному давлению - Compressional (magnetosonic) waves!

Общий подход к рассмотрению волновых процессов

Linearization

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_0 + \mathbf{b}$$

$$\rho = \rho_0 + \rho$$

$$\mathbf{E}_0 = 0, \quad \mathbf{V}_0 = 0$$

Plane wave decomposition

$$A \simeq \int A_{k,\omega}(t, \mathbf{r}) \exp(-i\omega t + i\mathbf{k}\mathbf{r}) d\omega d\mathbf{k}$$

Geometric optics approximation $\lambda \ll a$

$$\partial_t = -i\omega$$

$$\nabla = i\mathbf{k}$$

$$\omega \rho_0 \mathbf{v} = \mu_0^{-1} [\mathbf{B} \times [\mathbf{k} \times \mathbf{b}]]$$

$$\omega \rho = -\rho_0 (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v})$$

$$\omega \mathbf{b} = [\mathbf{k} \times [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]]$$

Compression $\rho \sim (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}) \neq 0$

existence of non-trivial solution \Rightarrow dispersion equation

$$\omega = kV_A$$

compressional mode with isotropic propagation!

АЛЬВЕНОВСКИЕ ВОЛНЫ

Догадка: а могут ли быть волны, вызванные изгибом силовых линий?!
Это уже не звук.....

Incompressible:

$$\rho \propto (\mathbf{k} \cdot \mathbf{v}) = 0 \quad \text{no plasma compression}$$

$$b_{\parallel} \propto (\mathbf{b} \cdot \mathbf{B}) = 0 \quad \text{no B compression}$$

$$\omega \rho_0 \mathbf{v} = \mu_o^{-1} [\mathbf{B} \times [\mathbf{k} \times \mathbf{b}]] = \mu_o^{-1} \mathbf{b} (\mathbf{k} \cdot \mathbf{B})$$

$$\omega \mathbf{b} = [\mathbf{k} \times [\mathbf{v} \times \mathbf{B}]] = \mathbf{v} (\mathbf{k} \cdot \mathbf{B})$$

$$\text{Dispersion equation} \quad \omega = k_{\parallel} V_A$$

$$\text{where } k_{\parallel} = \frac{(\mathbf{k} \cdot \mathbf{B})}{B} \quad \text{- component along } \mathbf{B}$$

Удивительные особенности альвеновских волн

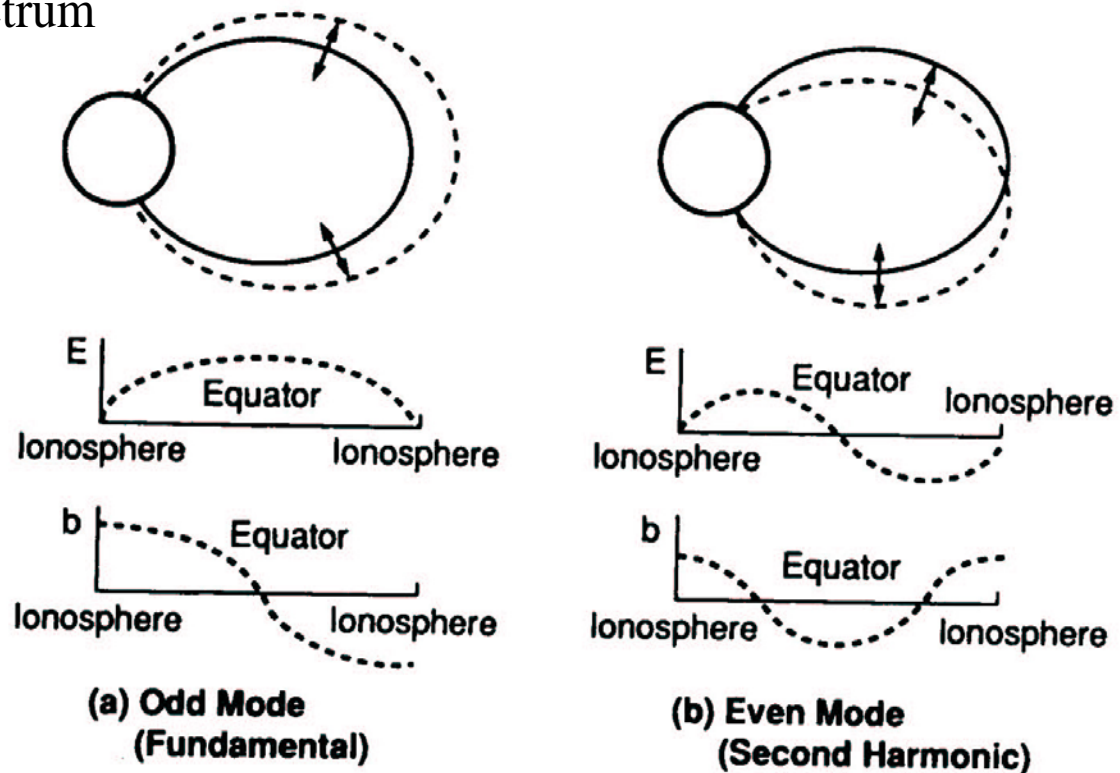
- Распространение вдоль В ! Переносят нестационарный продольный ток!
- Нет геометрической диссипации! Могут переносить возмущения на громадные расстояния!
- Отражаются от непроводящей атмосферы! Могут образовывать резонатор между полушариями!

$\omega = kV_A$ - **discrete** spectrum

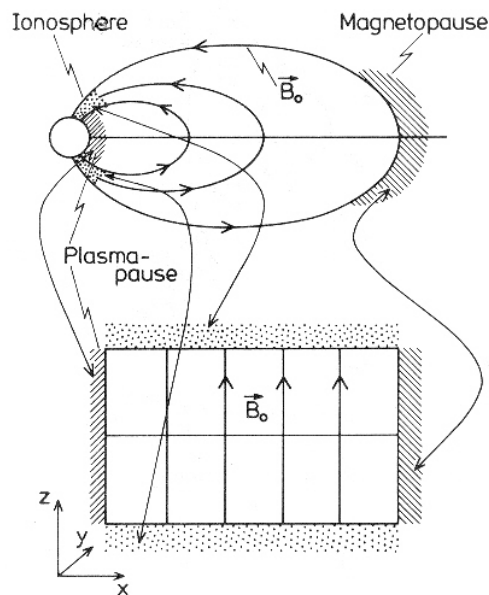
$\omega = k_{\parallel}V_A(x)$ - **continuous** spectrum

Характерный период магнитосферного альвеновского резонатора (на геостационарной орбите)

$$T_A \approx \frac{\pi LR_E}{V_A} \approx 3 \text{ min}$$



Зацепление между МГД модами в неоднородной плазме



System of coupled MHD equations

$$\nabla_{\perp} L_A \nabla_{\perp} \phi = -ik_y (\partial_x k_A^2) \psi$$

$$\nabla_{\perp} (L_M) \nabla_{\perp} \psi = ik_y (\partial_x k_A^2) \phi$$

$$k_A = \frac{\omega}{V_A(x)} \quad \text{- Alfvén wave vector, } \nabla_{\perp} = \left\{ \partial_x; ik_y \right\}$$

far from the resonance $z = |k_y| (x - x_A) \gg 1$

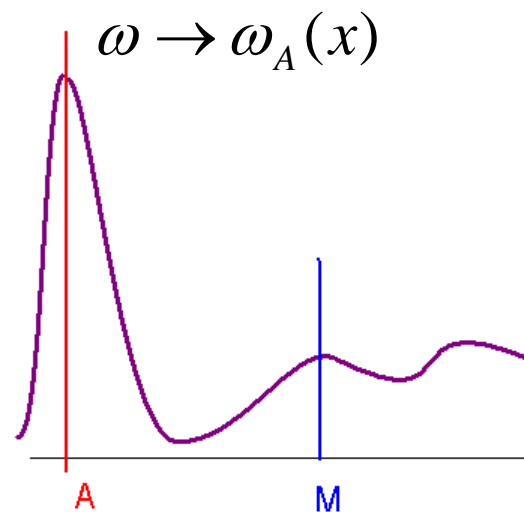
$b \propto \exp(-z)$ evanescent modes beyond reflection point

near the resonance $z = |k_y| (x - x_A) \ll 1$

$b \simeq z \ln z + \dots$ b - finite

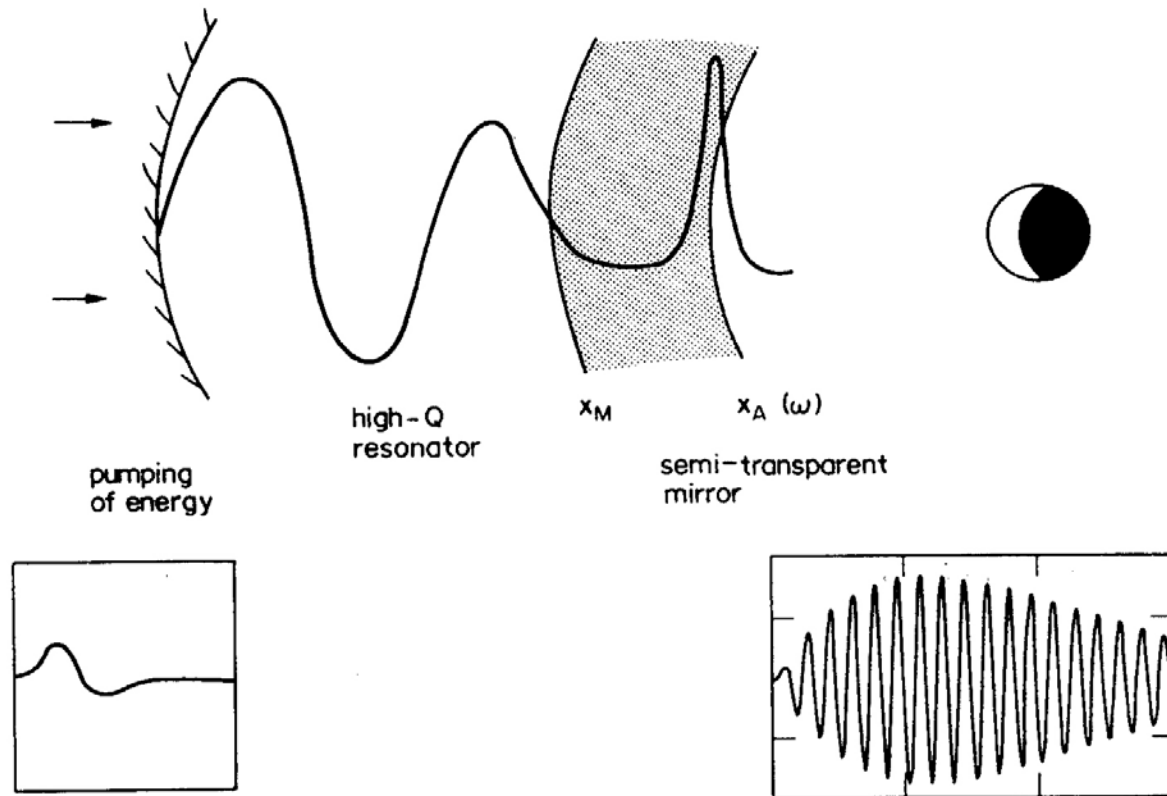
$$E_x \simeq \frac{b}{z} \simeq \ln z; \quad E_y \simeq \frac{b'}{z} \simeq \frac{1}{z}$$

But: **transverse E & B components are singular!**



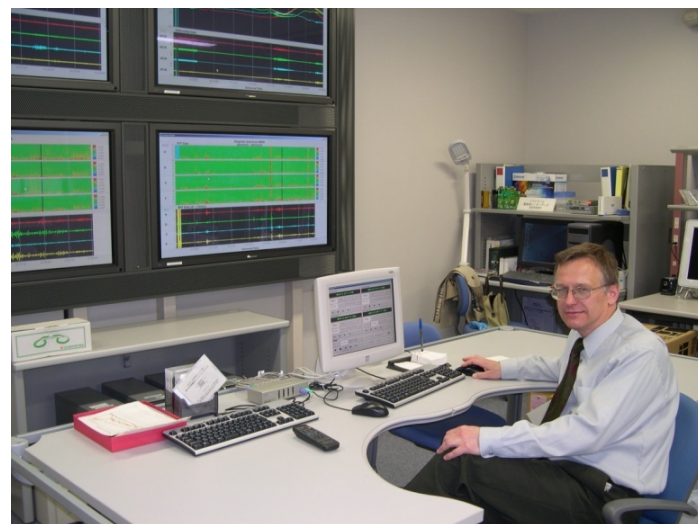
Резонансное возбуждение альвеновских колебаний силовых линий

Альвеновский мазер в околоземной плазме



Физическая идея которая пришла из геофизики в общую физику плазмы.
Альвеновский нагрев плазмы в Токамаке!

В моей следующей жизни, стал бы я н.р.?



Нет простого ответа, и у каждого он свой...

CONTRA



Толстой:

«Если вы можете не писать –
не пишите!»

Непрерывная тяжелая работа

Как олимпиец: надо соревноваться со всем миром!

Нет национальных или административных границ!

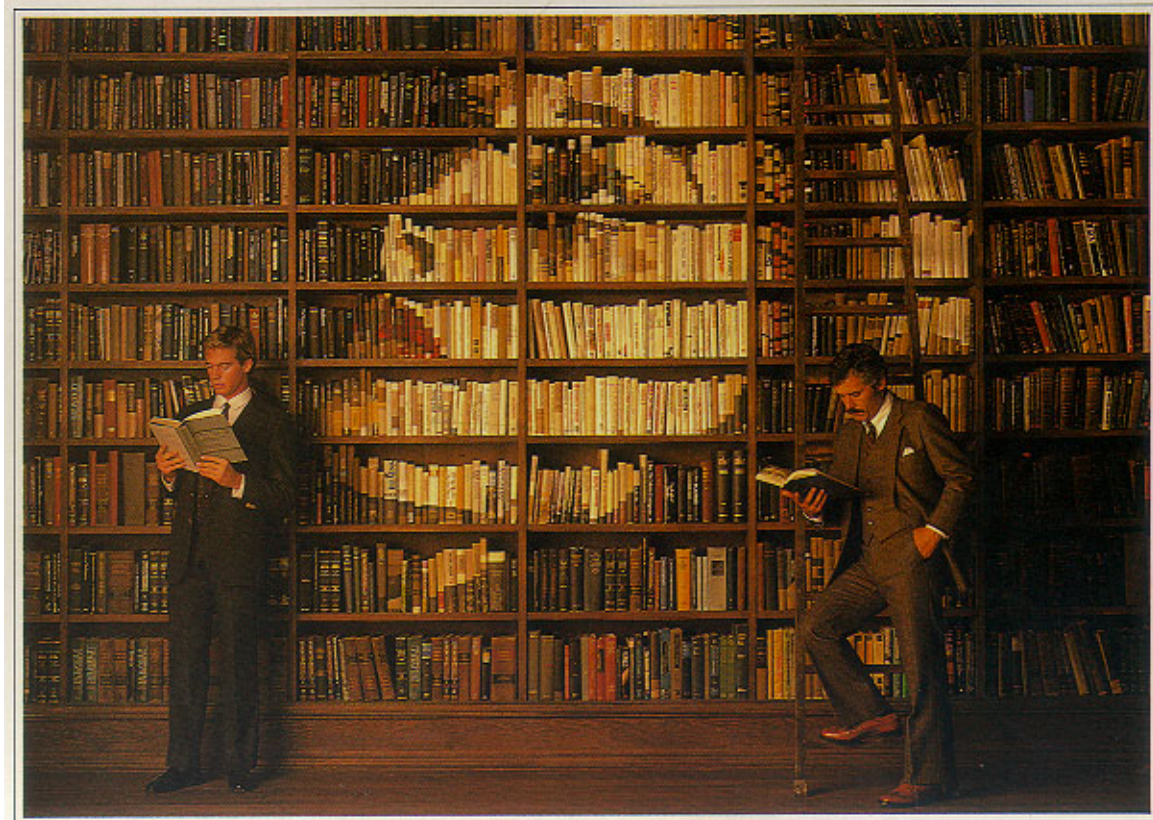


Все геофизические данные доступны любому в мире!

У каждого в кармане более мощный процессор, чем CRAY supercomputer!

Жизнь «офисного планктона» намного легче: надо превзойти лишь коллег из компании

No-win situation



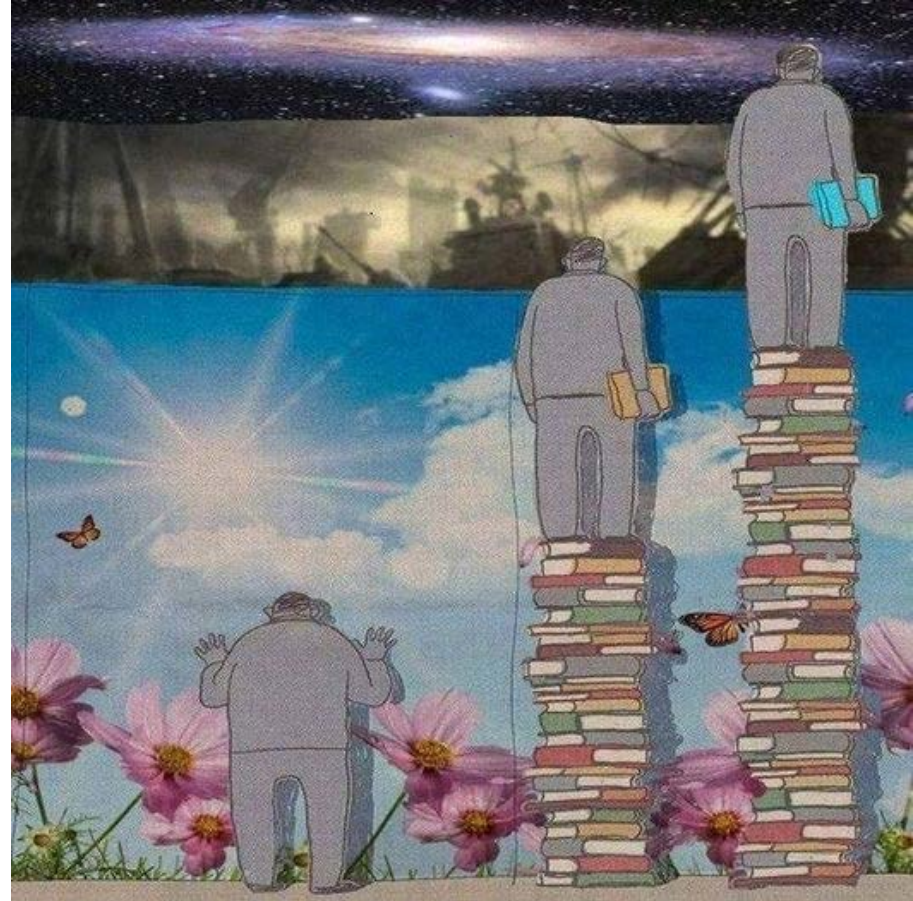
Option A. Полное погружение в науку за счет социальной жизни ...

Option B. Интересная многосторонняя жизнь на фоне упущенных идей....

Наука vs Искусство

И: любое произведение уникально

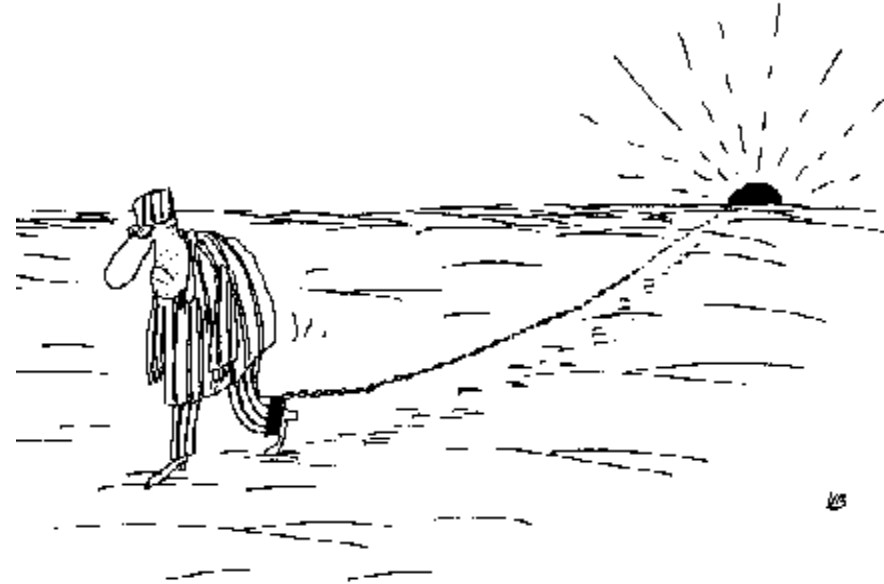
Н: Важно лишь то, что впервые!



Пример: Кто первый перелетел через Ла-Манш? А кто второй?

Пример: Эйнштейн и СТО

Постоянно карабкаться...



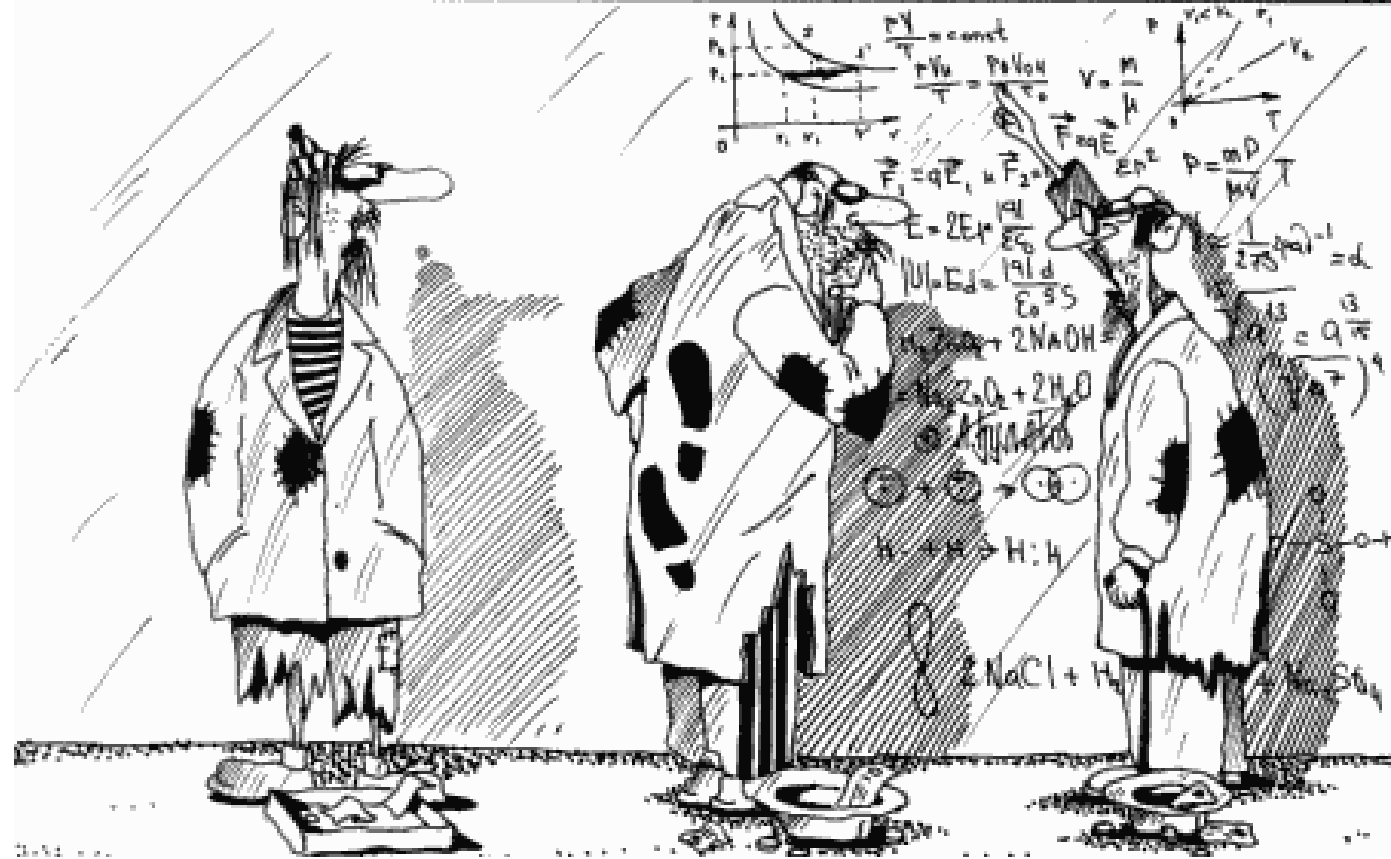
В любой профессии можно чему-то научиться и на этом жить

Но не исследователю!

Пример: э/м волны в космосе >100 статей в год

Из-за долгого перерыва можно отстать навсегда...

Так ли уж бедны
российские
ученые?



Основная проблема российской геофизики:
когда деньги появляются!

Работайте бескорыстно – за это больше платят!

PRO

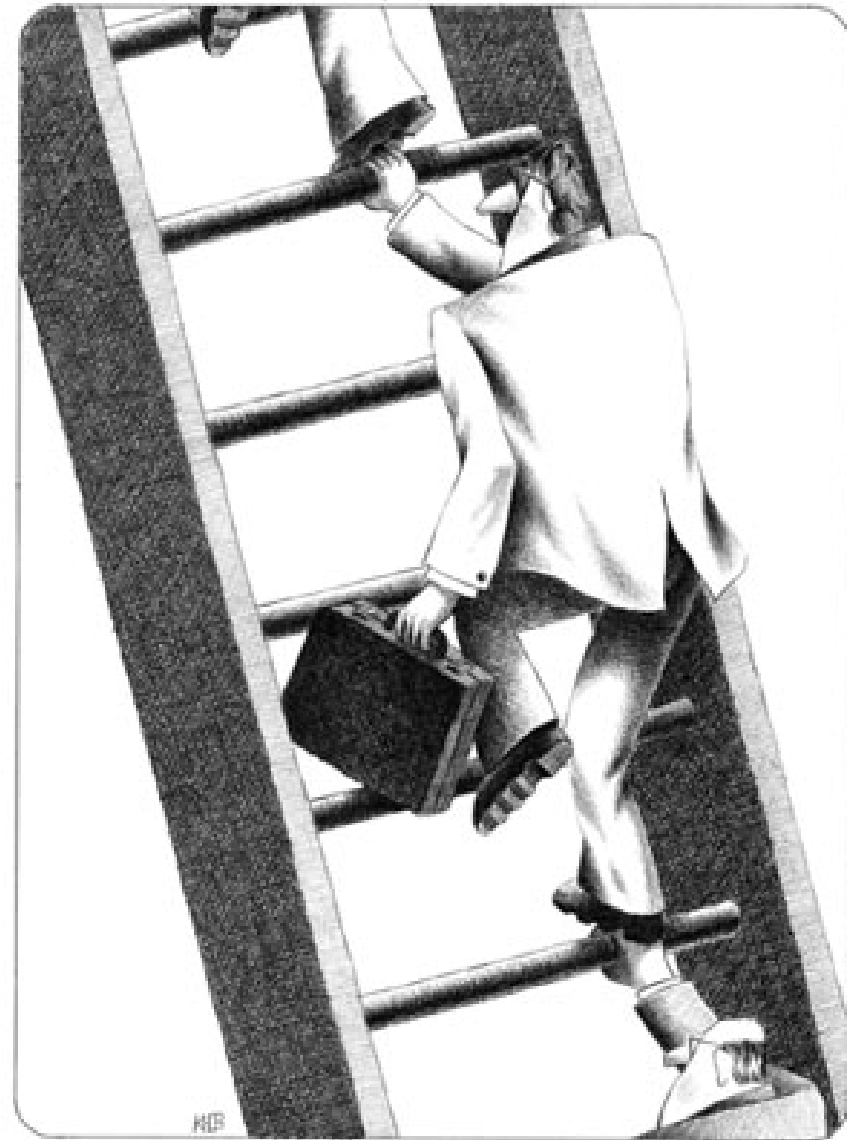
Target the moon!
Even if you don't succeed, you'll be among stars!

Быть среди интеллектуальной элиты мира!



Иная атмосфера

Ср. с бизнесом или админ: «ты – начальник, я – дурак,»

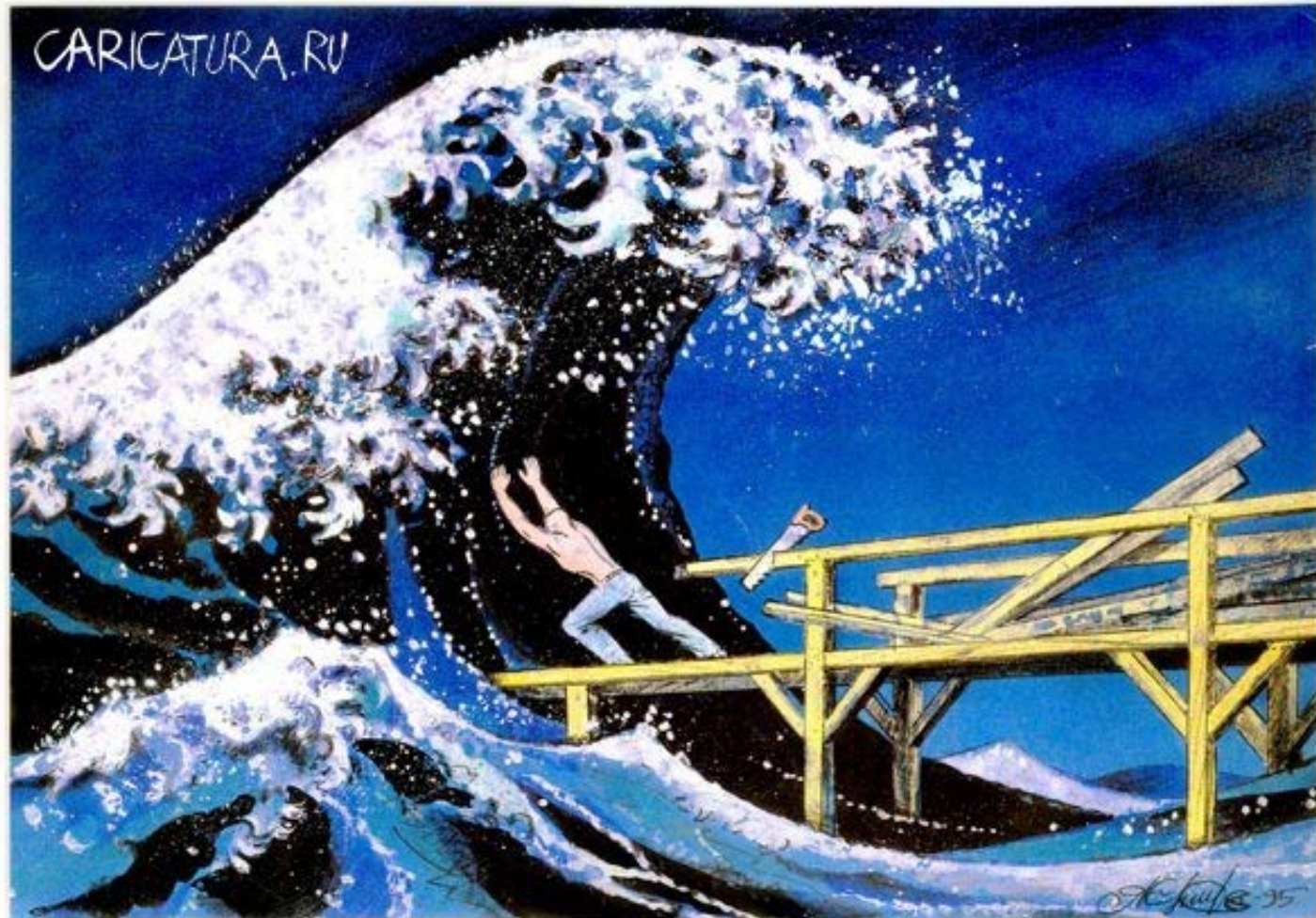


Fundamental 20/80 law

20% = водители

80% = пассажиры

Выбирайте!



Если выбрали:

Исследователь и учитель – разные профессии!

Внимательный наставник важнее, чем крупный ученый!



2 великих физических школы: Н. Бор, Л. Ландау

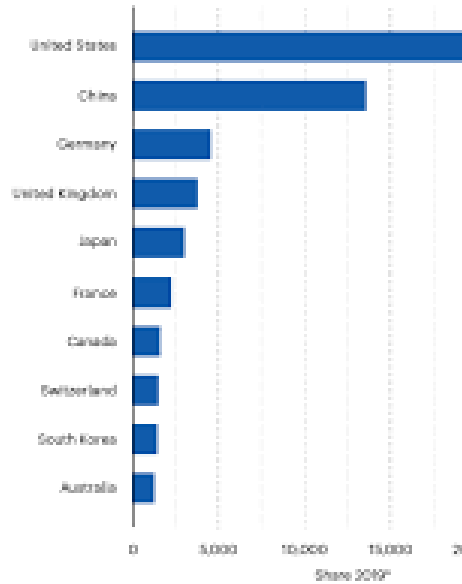
Эйнштейн?



Why China is a future world leader in science?

10 LEADING COUNTRIES IN THE NATURE INDEX

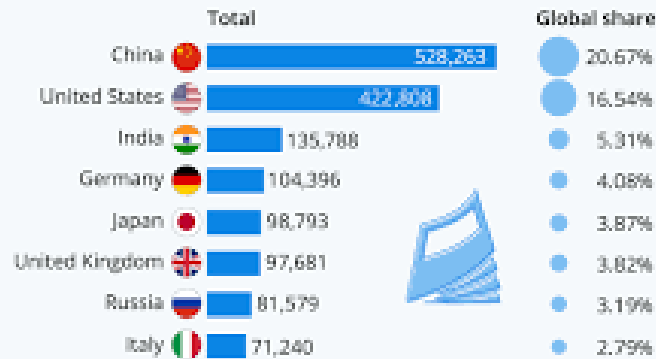
The United States dominates, but China is gaining ground. Rank 1 through 10 are unchanged from the 2019 Annual Tables.



*Based on Nature Index data from 1 January 2010 to 31 December 2019.

The Countries Leading The World In Scientific Publications

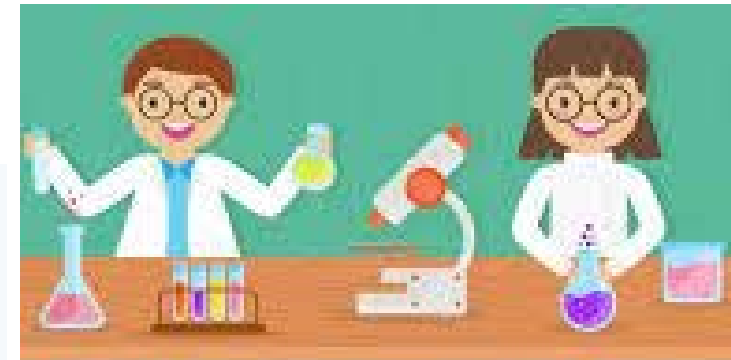
Number of science & engineering articles published in peer-reviewed journals in 2018



Source: National Science Foundation



statista



WHERE TOMORROW'S SCIENTISTS WILL BE FROM

Figures in million



Source: OECD

Как мне это стало ясно >40 лет назад?

Важно не где работать, а с чем работать!

theory (dying profession...)

experiment (good engineer, work with your hands)

numerical modeling (programming skills and math)

data analysis (your own experiment without engineering, practice in scientific programming)

Challenge для нового поколения исследователей

Современный анализ геофизических данных = пересаживание со скакуна (FORTRAN) на Ferrari (хотя как устроена Феррари вы не знаете)

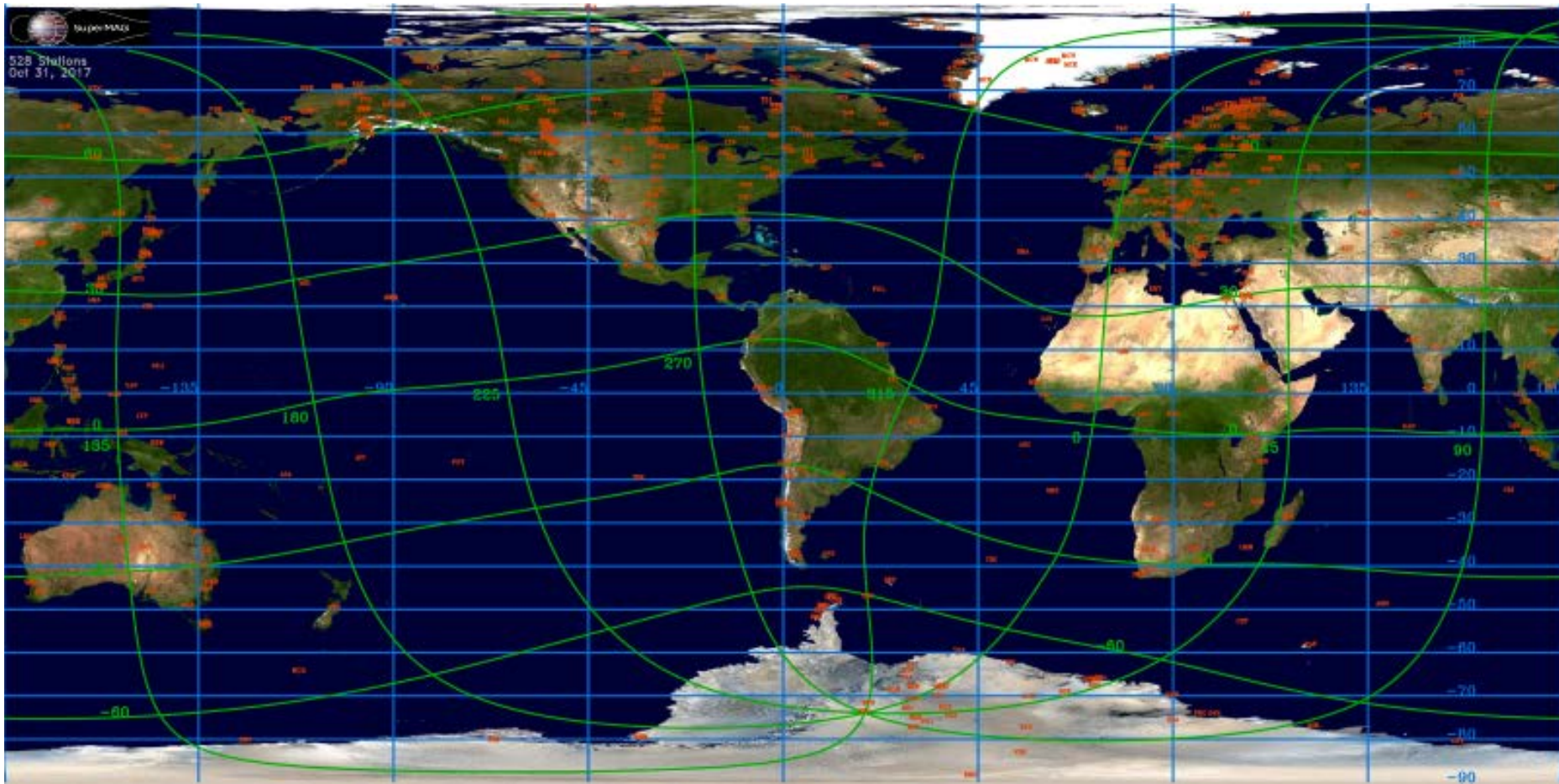


Чем отличается геофизическое «Феррари»? ?

1. Fair data policy

Требования НАСА: кто из нас идиот?

SuperMAG (<https://supermag.jhuapl.edu>)

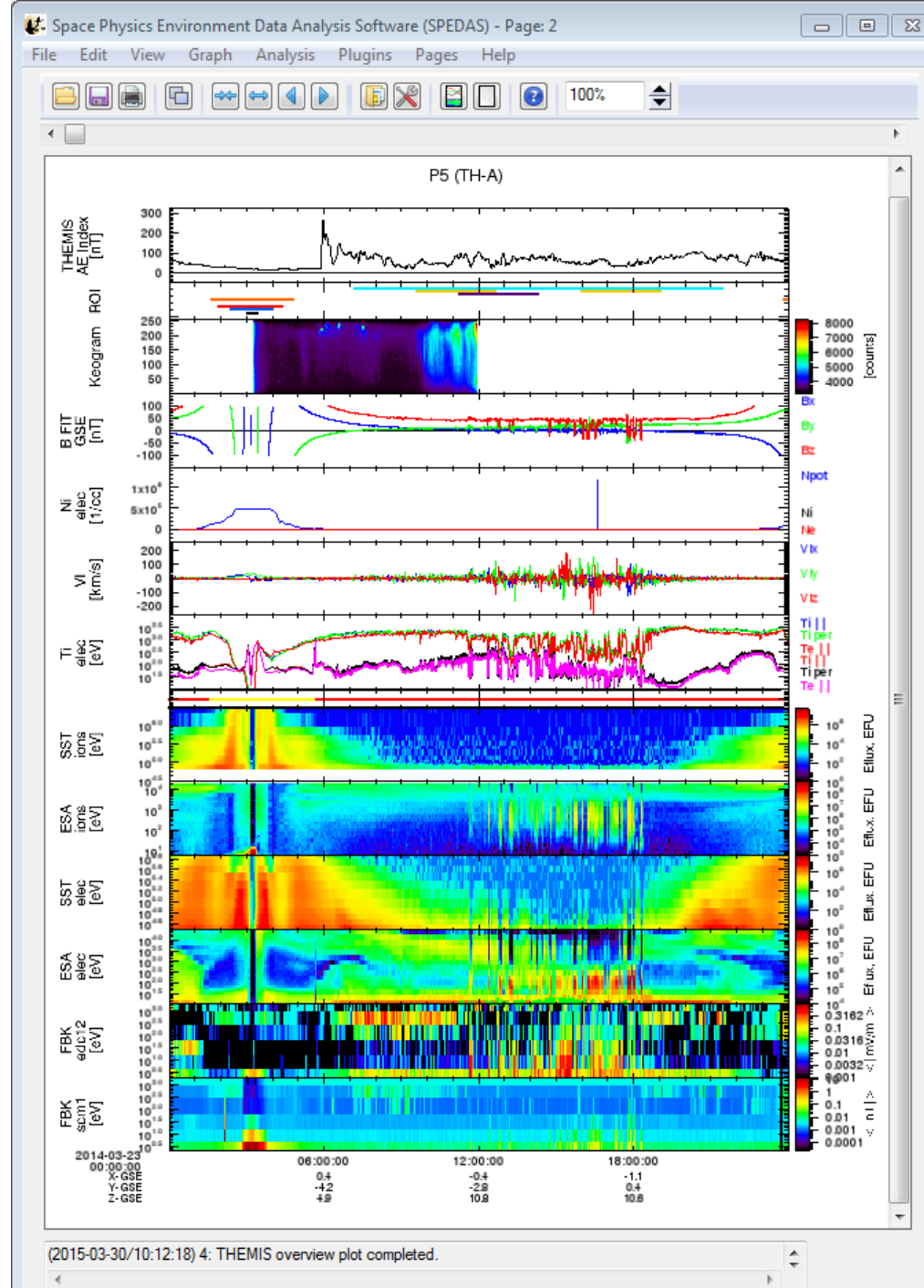


2. Переход на открытые средства все более высокого уровня

Пример из космической физики:

Пакет SPEDAS

(Space Physics Environment Data Analysis System)

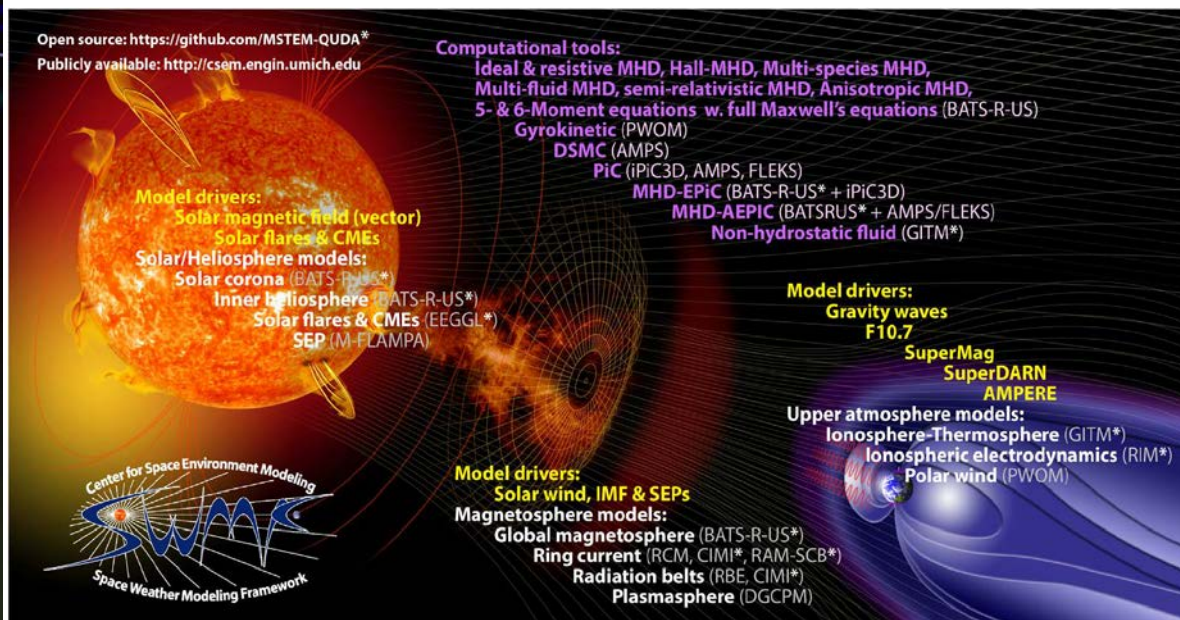
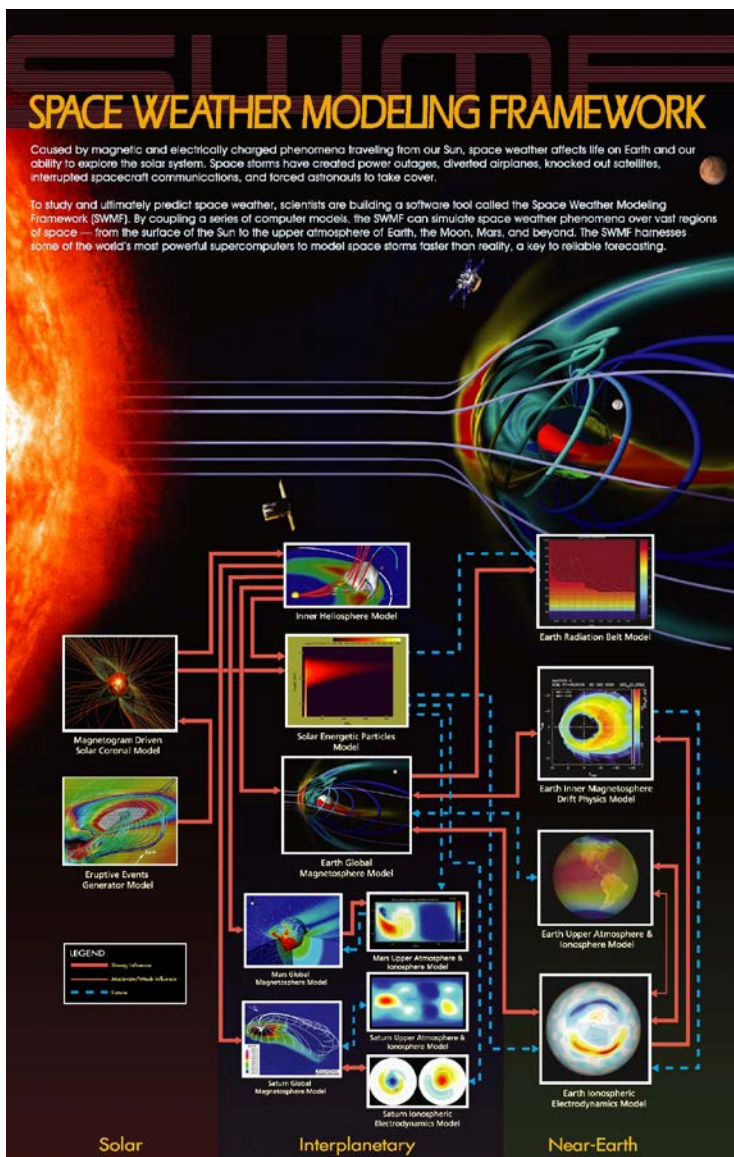


3. Глобальное моделирование

SWMF – открытая (!) система для численного моделирования космической погоды от Солнца до Земли (<http://csem.engin.umich.edu/swmf/>), построенная по модульному принципу:

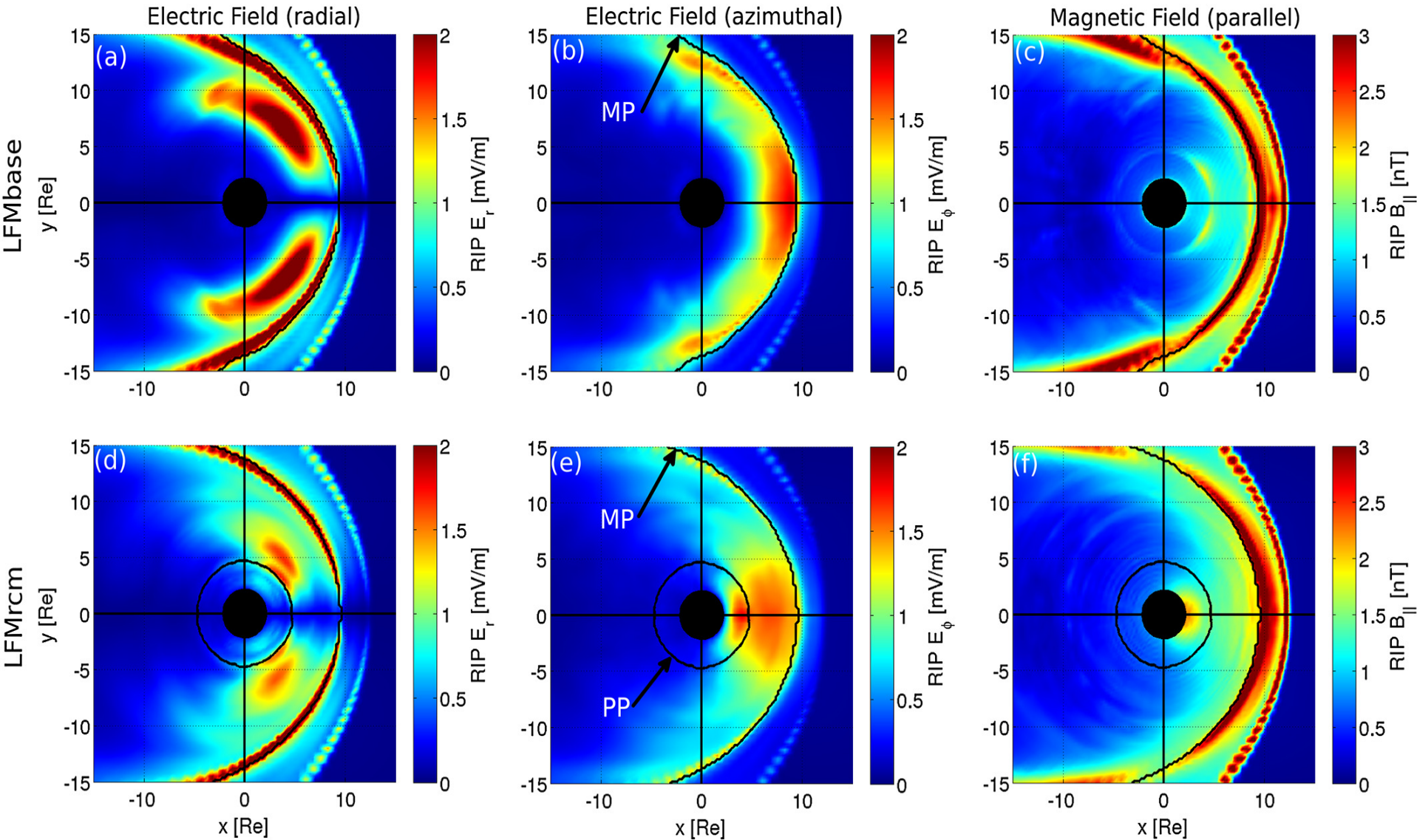
Магнитосфера (BATS-R-US) – релятивистская МГД,
 Внутренняя магнитосфера (RCMI) – распределения e и i
 Ионосфера (RIM) – токи и конвекция ионосферной плазмы.

SWMF включает >10 суб-моделей, содержит > 1 миллиона операторов Fortran/C++, скрипты Perl, Python, IDL.
 Прогонка системы SWMF **бесплатно** заказывается через CCMC в NASA (<https://ccmc.gsfc.nasa.gov/>).

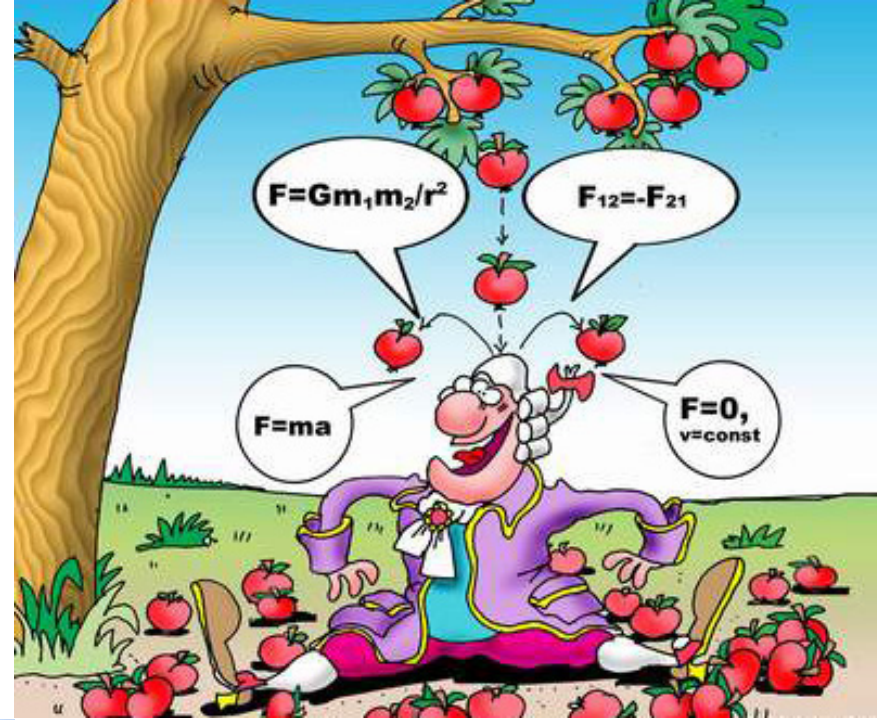


Пример глобального моделирования E и B полей УНЧ волн в околоземном пространстве (аспирантская работа)

Бог создал людей разными, но колт уравнил их..



Качественный скачок в методах анализа данных, которому некому учить.



Создавать самим!