

Основы космофизи

КИ

Сергей Анатольевич Красоткин

Физический факультет и НИИЯФ

MIV

SPACE TRAGEDIES Apollo 1

Challenger

Columbia













Jan 27, 1967

Jan 28, 1986

Feb 1, 2003



LOCV

Loss Of Vehicle and Crew

NASA

(1986):

in

100,000

Challenger



R.P. Feynman

in 200

January 28, 1986

«For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for nature cannot be fooled.»



Richard P. Feynman

«For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for nature cannot be fooled.»



Richard P. Feynman

LOCV

Loss Of Vehicle and Crew

Today (2001, empirical):

in

57

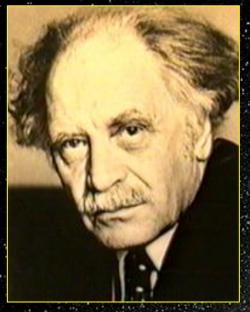
In fact, today, the empirical LOCV rate is 1 in 57.

Физические условия в космосе

- невесомость, гравитационные поля;
 - глубокий вакуум;
- метеорные потоки, космический мусор;
- тепловые потки;
- электромагнитное и корпускулярное излучение.

Физические условия в космосе

- невесомость, гравитационные поля;
 - глубокий вакуум;
- метеорные потоки, космический мусор;
- тепловые потки;
- электромагнитное и корпускупярное излучение.







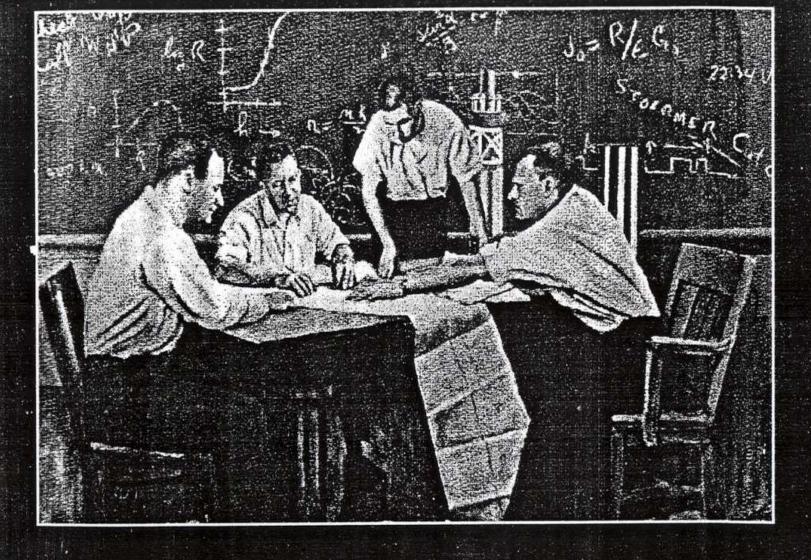


Сергей Королев





J. Van Allen

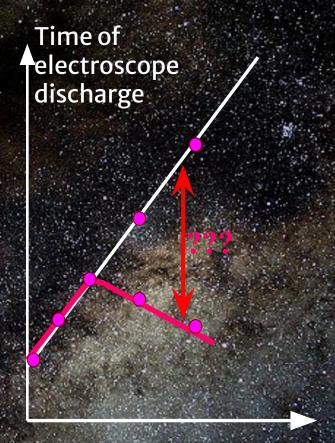


"My God, space is radioactive!" Dr. Ernest C. Ray March 28, 1958

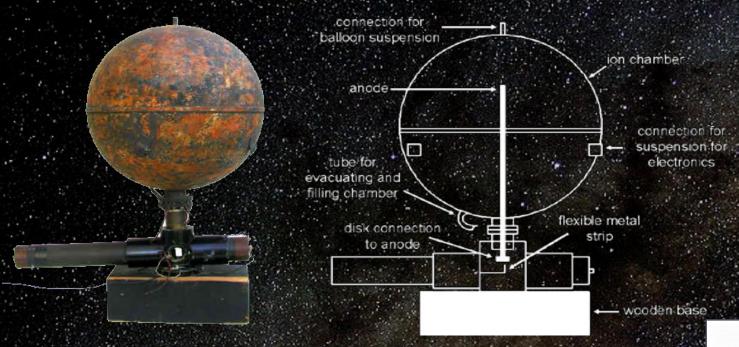
Ионизирующая радиация – из космоса ???



Victor Franz Hess balloon flight, 1912



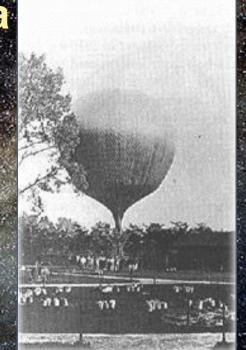
Altitude





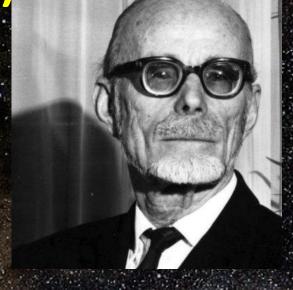
Внеземное происхождение, хим. состав (*а*-частицы, энергичные электроны,

Robert Andrews протоны, нейтроны, у-Millikan кванты).



Широкие атмосферные ливни (ШАЛ)

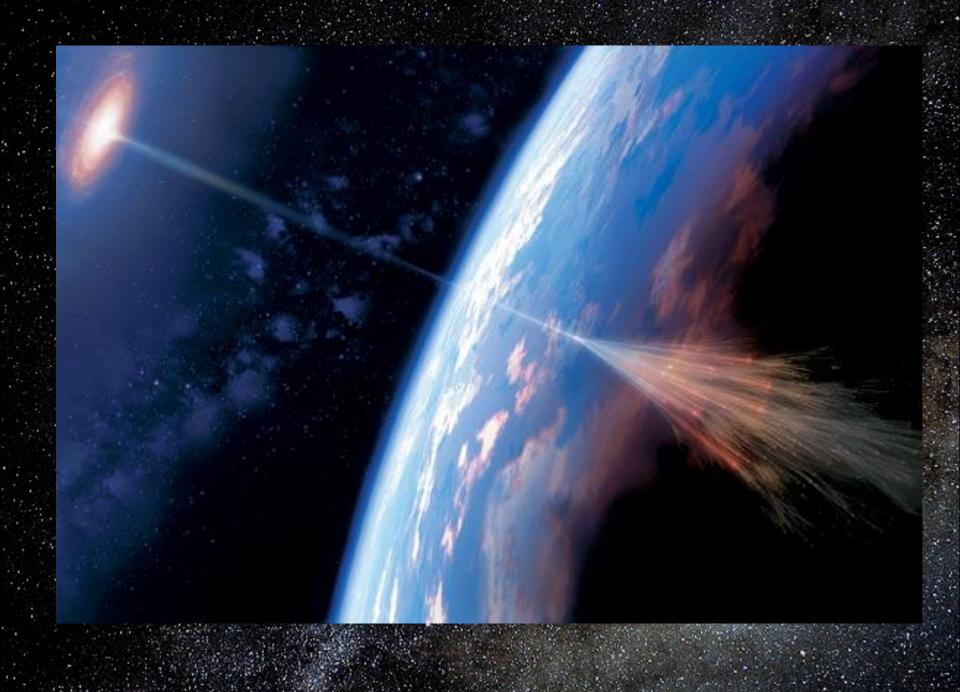


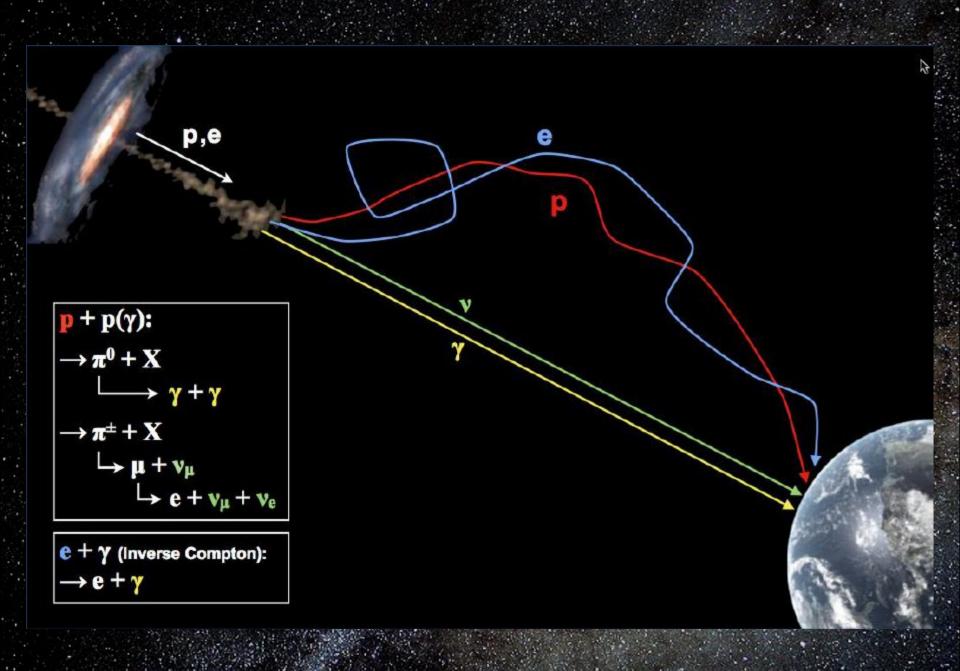


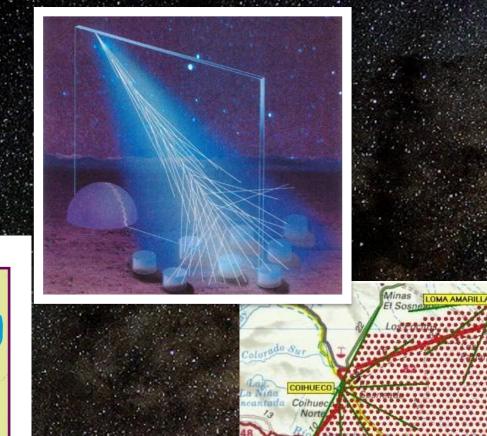
Bruno Benedetto Rossi, 1934:

Два независимых счетчика Гейгера регистрировали заряженные частицы одновременно

Рierre Victor Auger, 1937:
тот же результат на расстоянии 100 м. Вывод: ливень частиц появляется от первичной частицы сверхвысокой энергии, входящей в атмосферу Земпи







TUNKA-133 (Baikal, Russia) 133 optic detectors, 1 sq. km

Tunka-25

103° 04' 02" E 675 m a.s.l.

Pierre Auger (Argentina)
1600 detectors, 3 000 sq.km

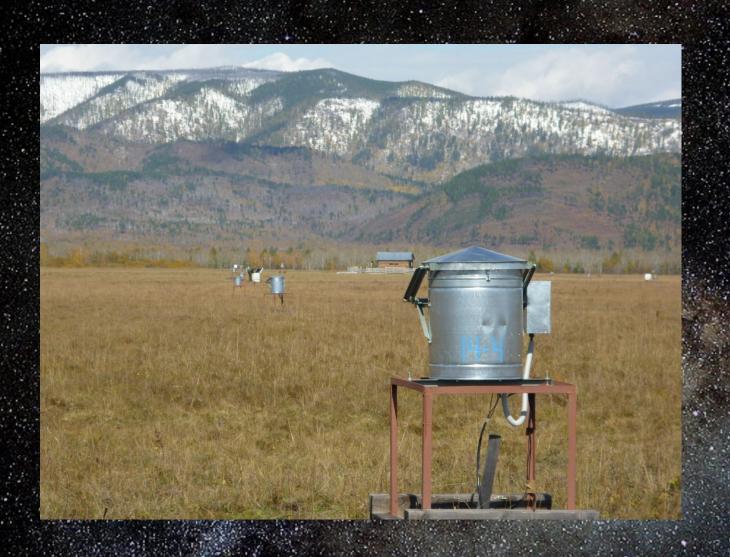
Malargüe

Auger detector



Из презентации Г.А.Шелкова (ОИЯИ, г. Дубна)

TUNKA-133



Atmospheric measurements (Antarctida)



nocmu qeckax nocoda

Характеризует состояние околоземного космического пространства (в целом или в конкретной области) на характерных временных масштабах от нескольких секунд до отд суток.

Основные составляющие космической погоды

- магнитосфера Земли;
- межпланетное магнитное поле и солнечный ветер;
- потоки заряженных частиц различных энергий:
 - в окрестностях Земли, но вне её магнитосферы,
 - •в различных областях в пределах магнитосферы Земли

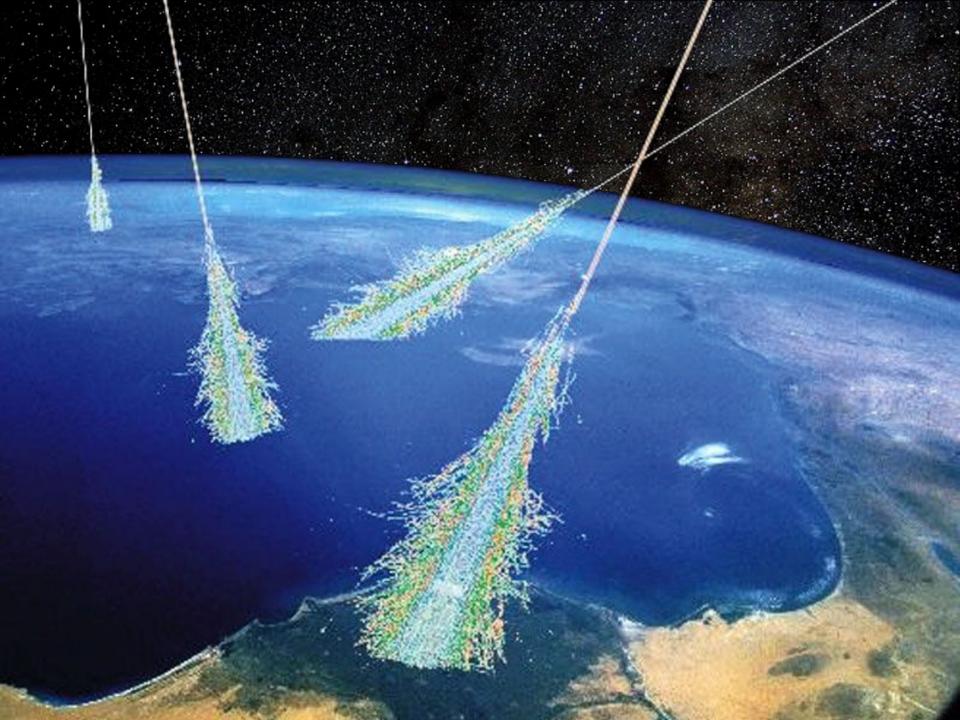
Ионизирующая радиация

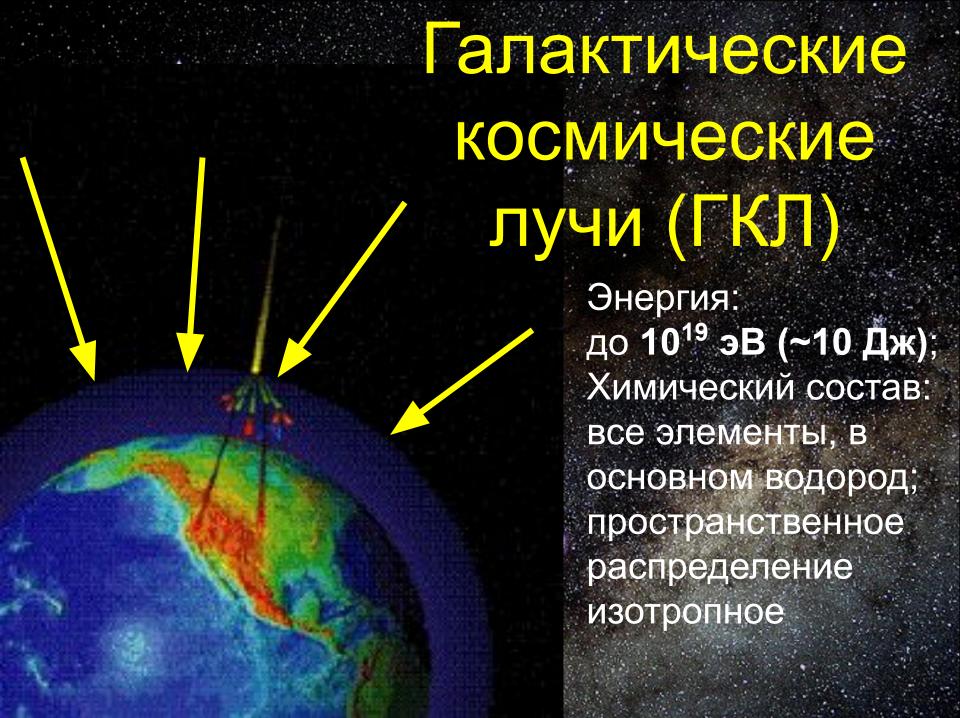
- Галактические космические лучи (ГКЛ) до 10¹⁹ эВ
- Солнечные космические лучи (СКЛ) до 10⁹ эВ
- Радиационные пояса Земли (РПЗ) электроны до 10⁷ эВ, протоны и ионы до 0.5*10⁹ эВ
- Гамма и рентгеновское излучение
- Гелиосферная плазма и магнитные поля (вкл. солнечный ветер)

Космическая погода влияет на

- Геомагнитные эффекты
- Магнитные бури
- Суббури
- Геоиндуцированные электрические токи
- Электрические токи в магнитосфере и ионосфере;
- Вариации магнитного и электрического полей Земли

Космическая погода влияет на Состояние ионосферы и распространение радиоволн; Характеристики верхней атмосферы; Биологические эффекты; Геофизические условия (включая теллурические токи), ПОГОДУ И климатические условия на Земле.





Солнечные космические лучи (СКЛ)



Энергия до 10⁹ эВ

Ускоренные частицы солнечного вещества появляются в результате локальных взрывных процессов в солнечных активных областях и ускоряются в процессе распространения в межпланетном пространстве.

Космические

Взрывы сверновых УУЧИ

Ускоряются магнитными полями

Галлактическ

1 ~ 1 cm⁻²⋅s⁻¹

Nuclei

~90% protons, ~10% He nuclei,

~1% hard nuclei

Electrons (~1 % of nuclei)

Positrons (~0.1 % of nuclei)

Antihadrons < 1 %

10⁶ - 10¹⁹ eV up to10²¹ eV for HEGCR Ядерные реакции в солнечном ядре

Солнечная активности:

Солненчы

поток

состав

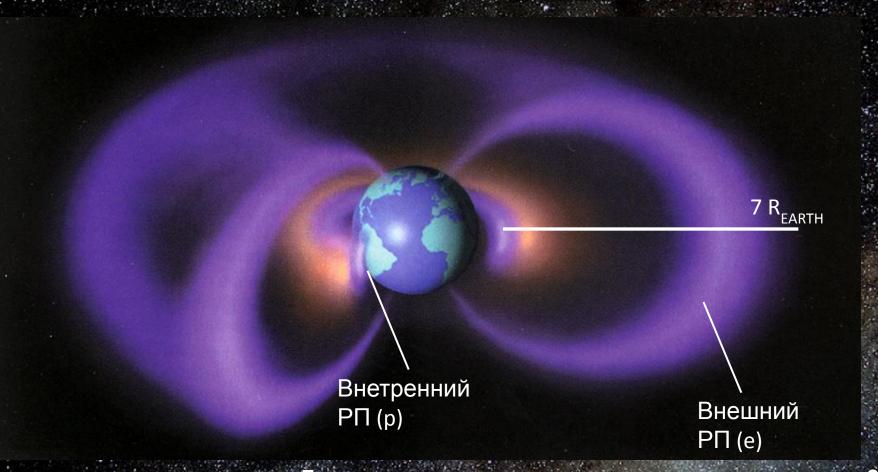
энергия

Up to-10⁶ cm⁻²·s⁻¹

98-99% protons, ~1.5% He nuclei

10⁵ - 10¹¹ eV

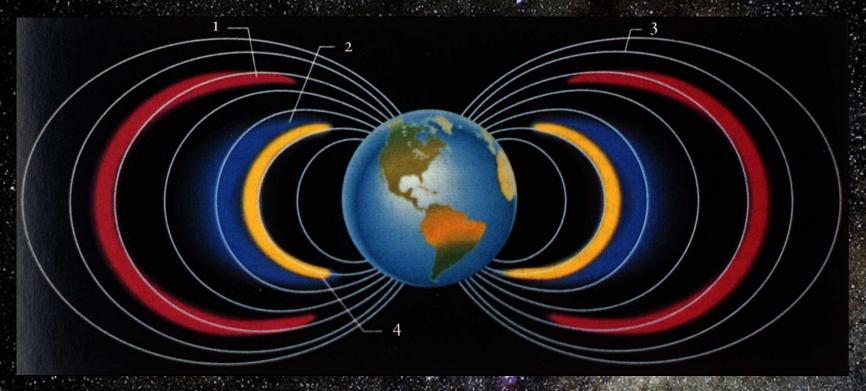
Радиационные пояса Земли



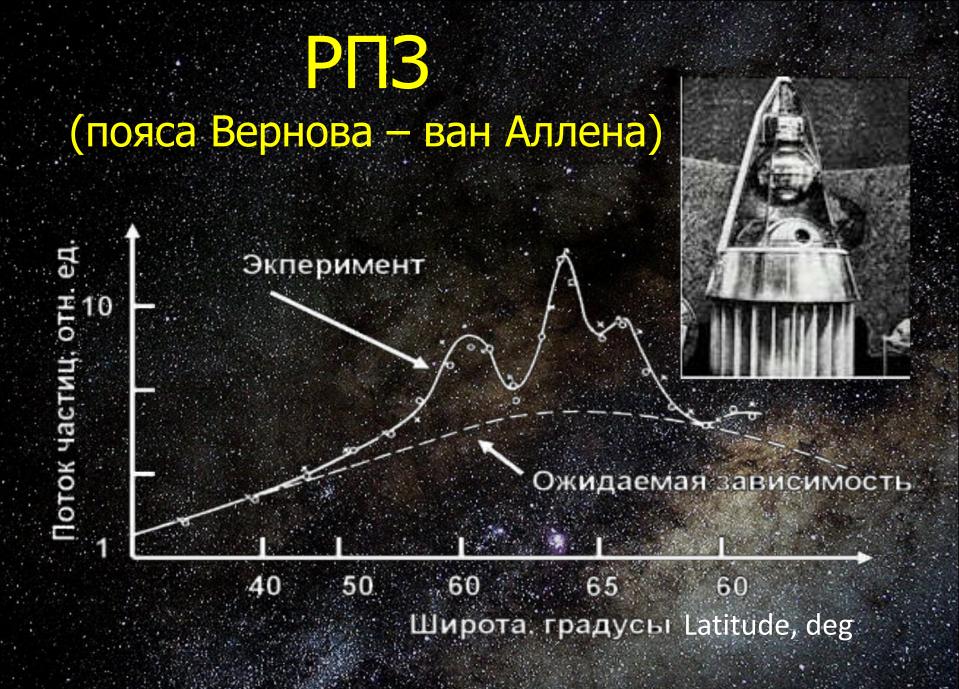
электроны до 10⁷ эВ, протоны о ионы до 0.5*10⁹ эВ

Earth Radiation Belts

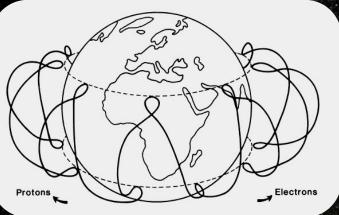
(Vernov - van Allen Belts)



- 1 Outer RB (up to 40 000 km).
- 2 Inner RB (up to 30 000 km).
- 3 Lines of magnetic force.
- 4- Third RB formed from ExtraGalactic CR.

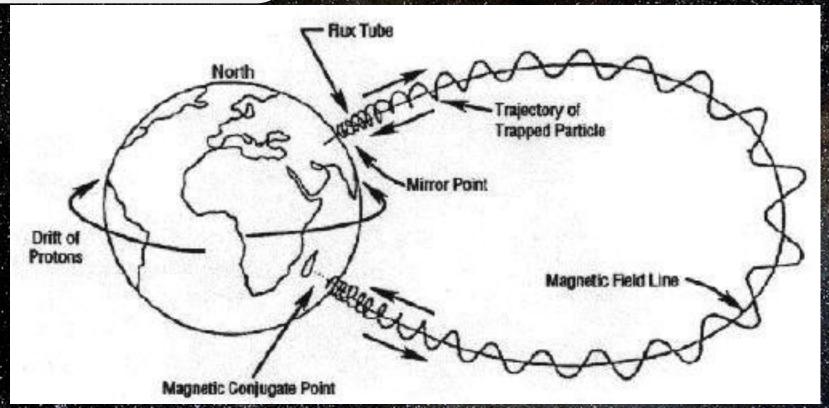


Earth Radiation Belts

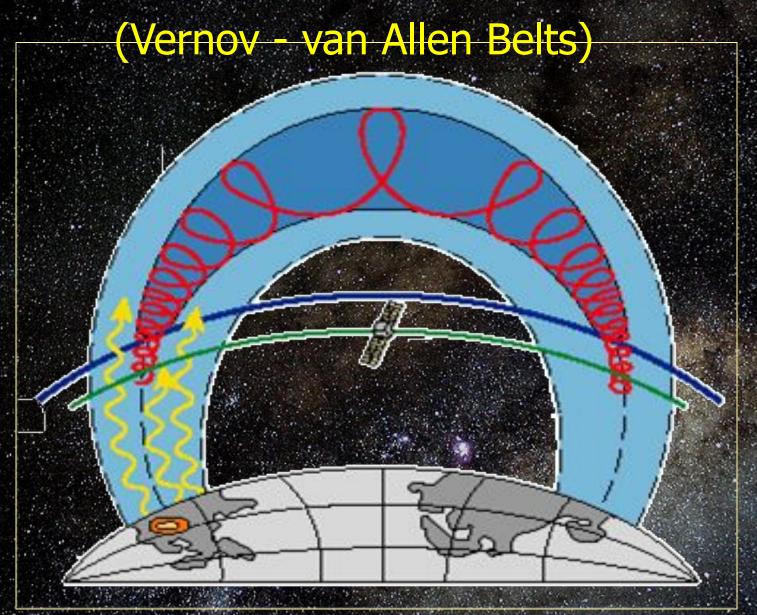


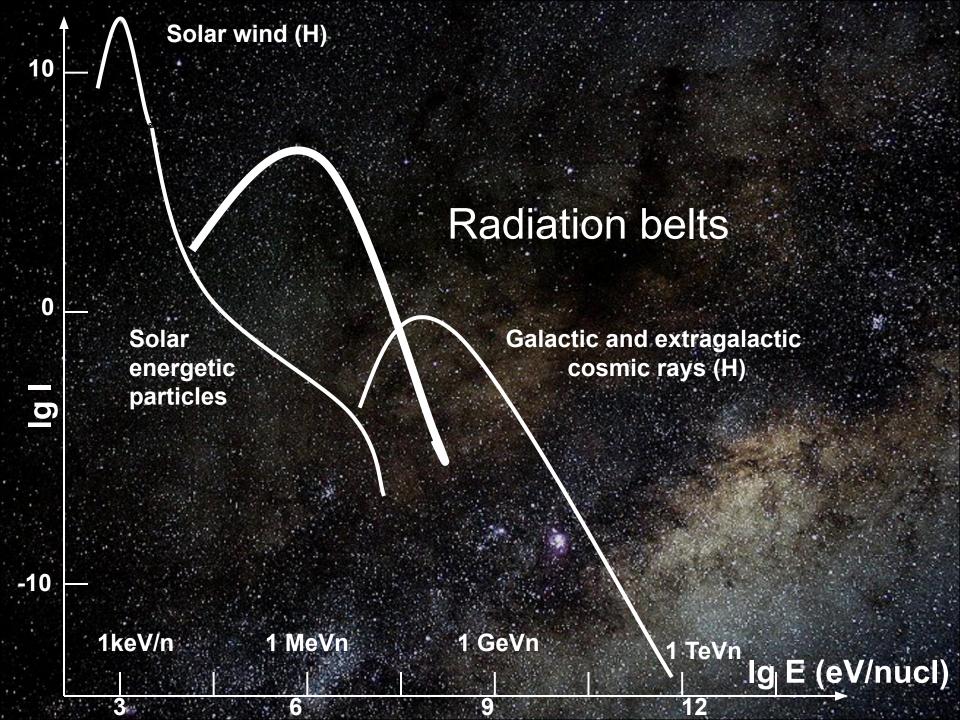
(Vernov - van Allen Belts)

Larmor magnetic precession of particles (e & p)



Earth Radiation Belts





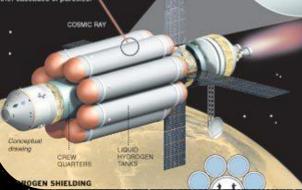


C RADIATION

iver milions of years, distant, exploding tars eject matter at high speeds.

Some ions in this matter are accelerated to hearly the speed of light, moving so fast hey are stripped of their electrons.

When these cosmic rays, mostly protons, hit a standing nucleus, they produce a shower of fast secondary articles, which may in turn produce urther cascades of particles.

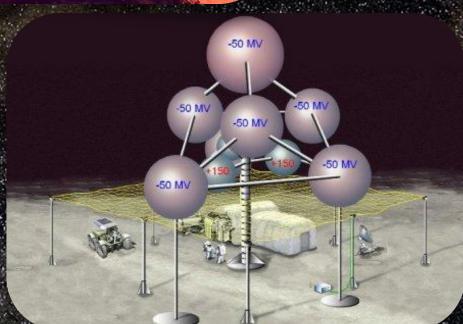


LIGHTER IS BETTER

CASCADE

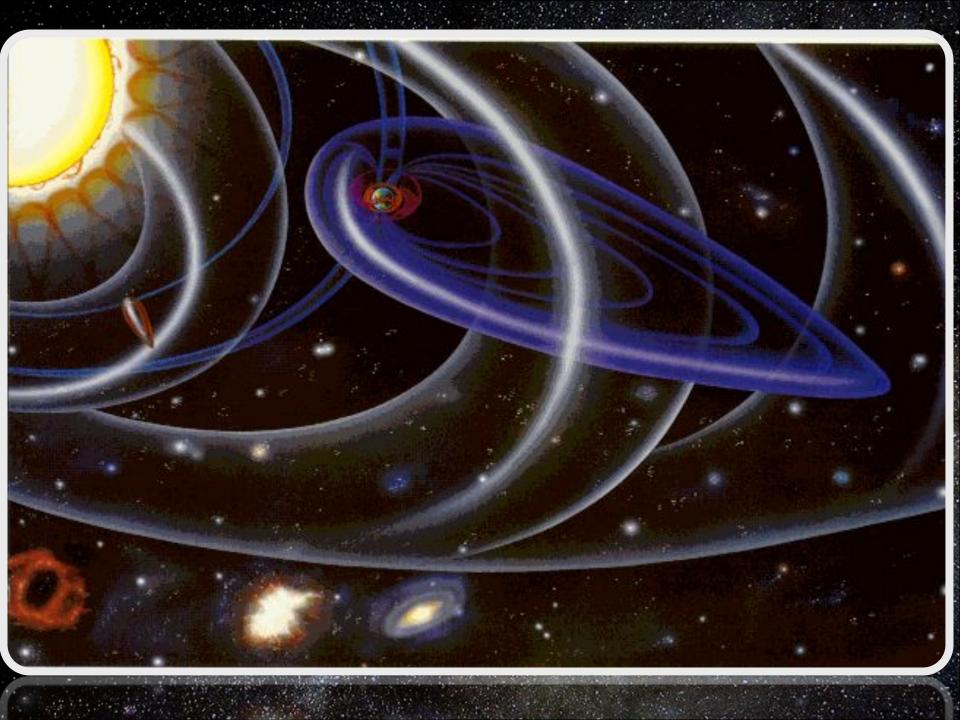
LIQUID HYDROGEN

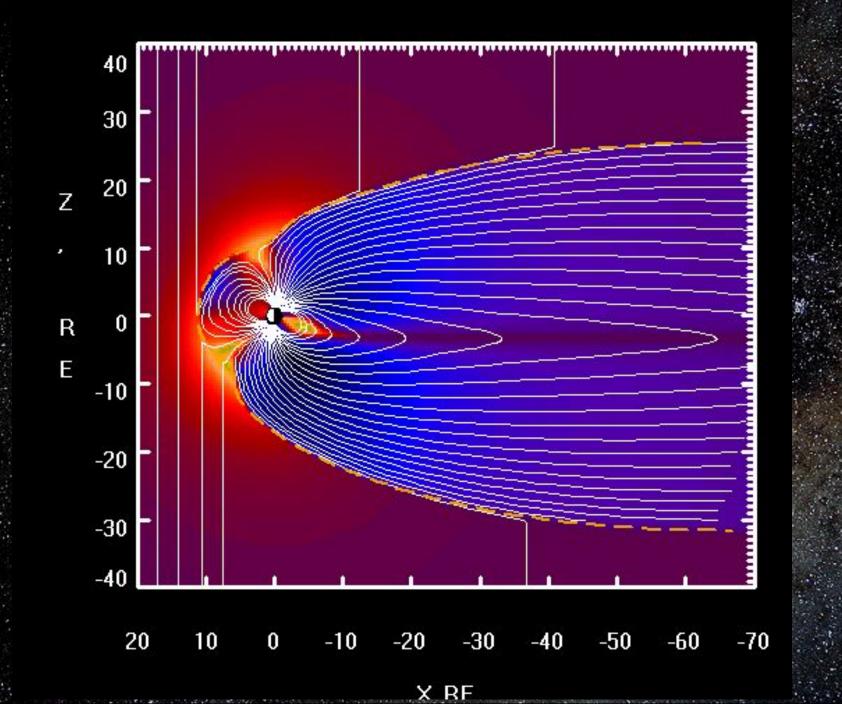
Cosmic rays lose some energy when they collide with a proton of another atom. Because hydrogen has one proton in its nucleus, each proton has the potential to stop incoming radiation. In elements with a heavier nucleus, some protons are hidden behind others in clumps and cannot be hit by ocemic rays.

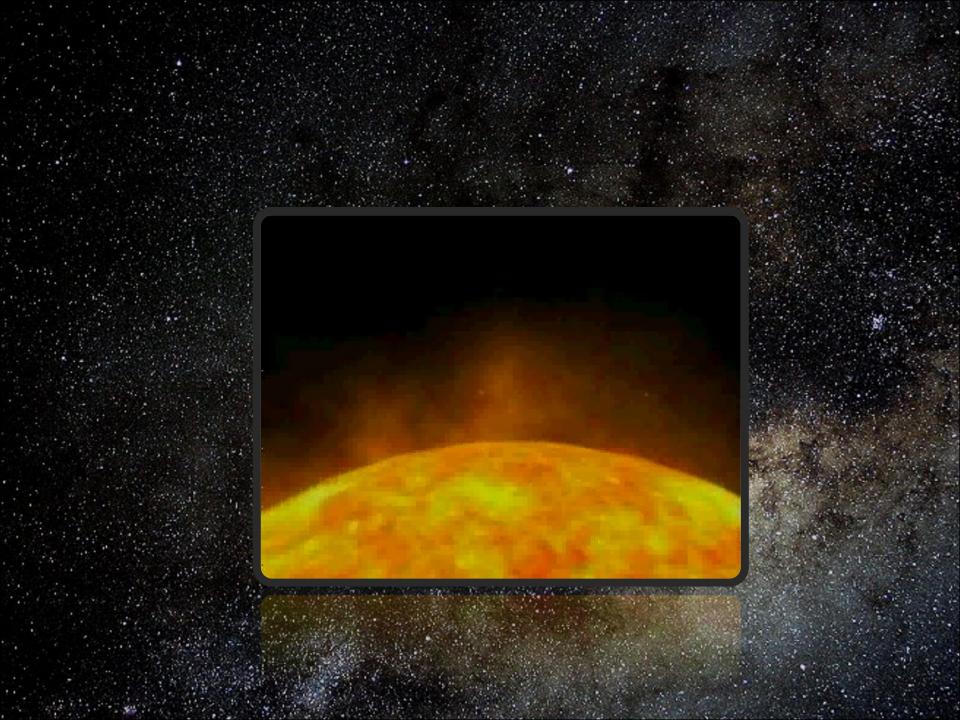


что защищает нас на Земле?

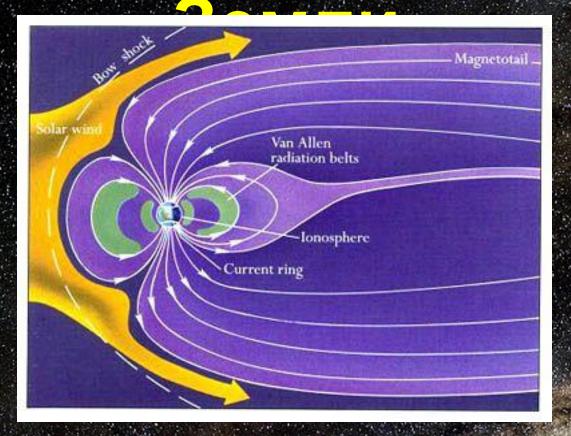
UTO защищает нас на Marhitocopepa иатмосфера Земли











Область ОКП, условия в которой определяются наличием геомагнитного поля: балансом динамического давления солнечного ветра и геомагнитного поля.

Граница магнитосферы: 10-13 R_⊕ на дневной стороне и 10³ R_⊕ на ночной (хвост магнитосферы), диаметр ≈40 R_⊕.

Каковы источники:

- солнечных космических лучей;
- изменений геомагнитного поля;
- модуляции галлактических космических лучей

Что вызывает изменения космической погоды?

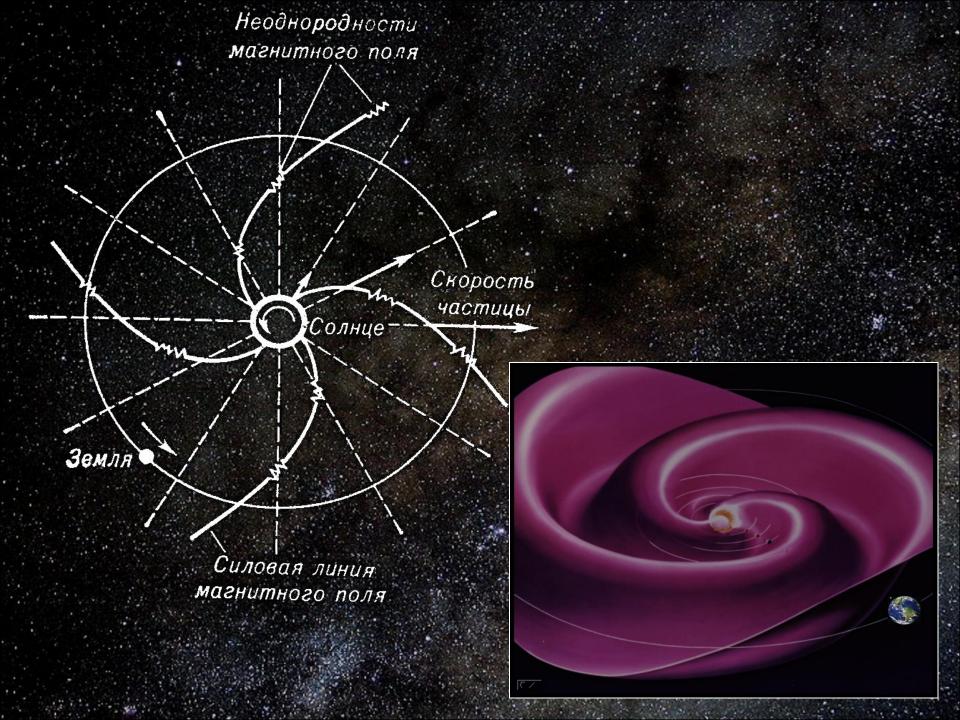
Что вызывает изменения космической погоды?

COJHLE

OJHEHRAA

AKTUBHOCTE

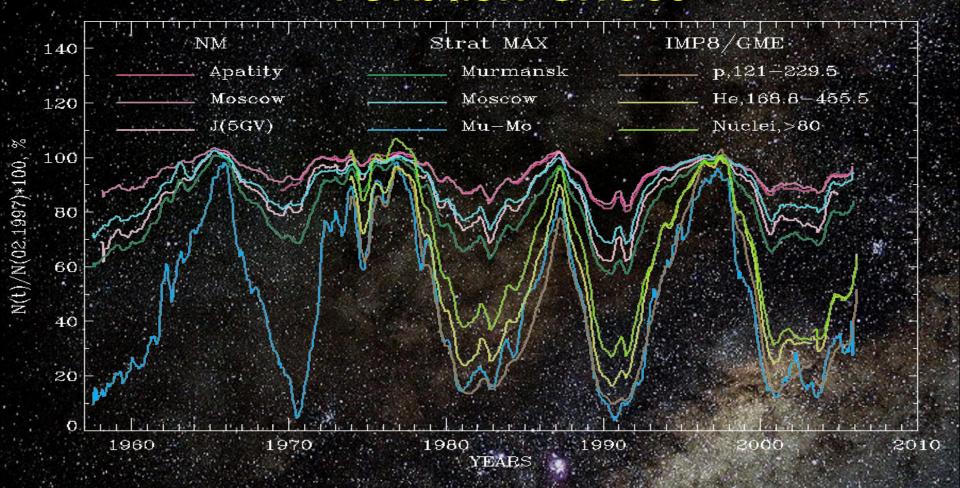






Корональные выбросы массы (КВМ, СМЕ) – струи и облака солнечной плазмы, движущиеся со скоростью до 1000 км/с и обычно наблюдаемые плсде мощных солнечных вспышек

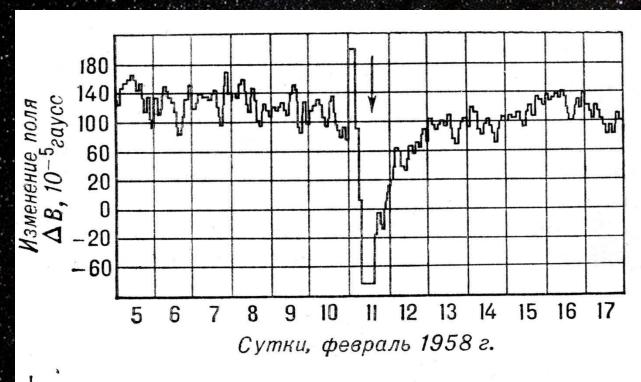
Forbush-effect

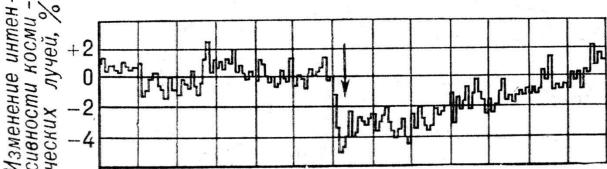


Уменьшение потока ГКЛ в результате увеличения рассеяния (отклонения) ГКЛ на неоднородностях ММП, уносимого солнечным

DOTOOM OT CORLING

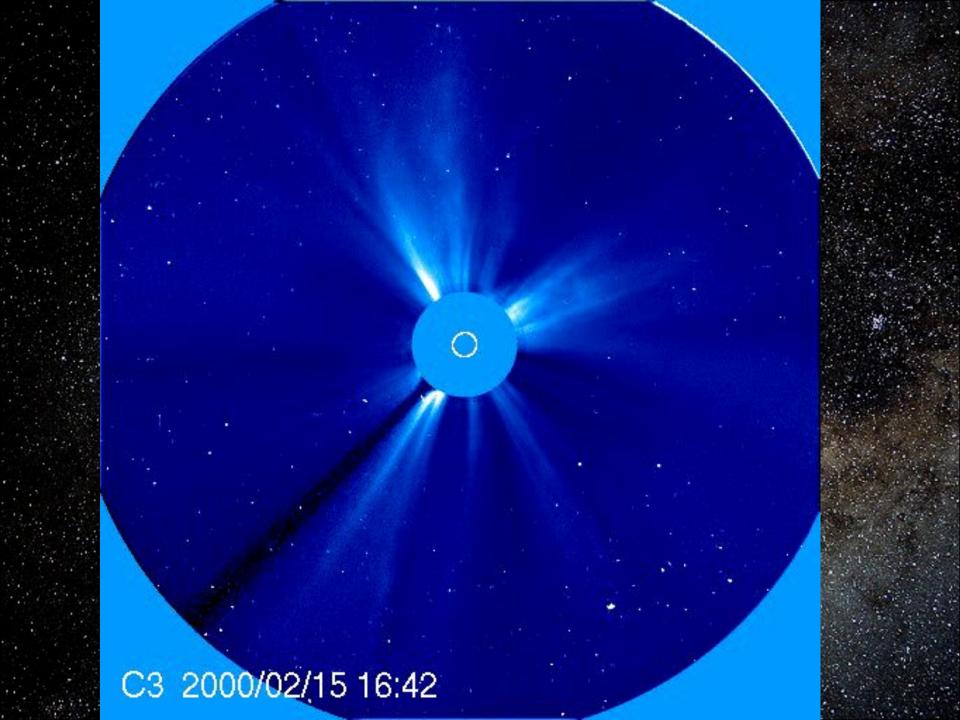
Forbush-effect





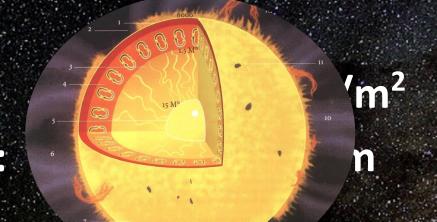
Solar plasma flow influences the Earth magnetosphere.

Simultaneously, the intensity of GCR decreases.



Solar constant:

Radius of 1 a.u.:



3.84*10²⁶ Wt Total solar energy emission:

6.96*10⁸ m Solar radius:

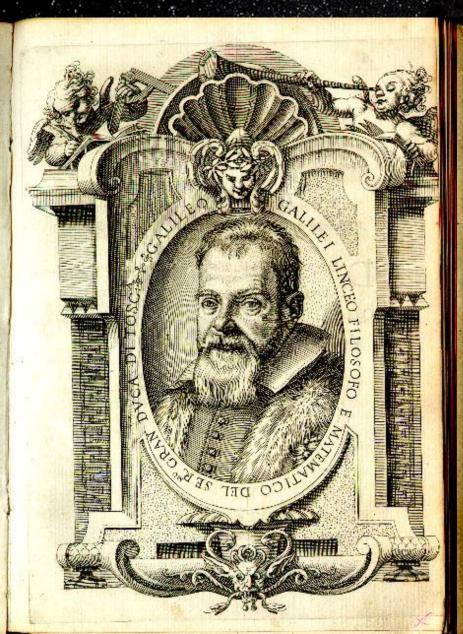
Solar nucleus radius (0.2 solar radius): 1.39*10⁸ m

1.13*10²⁵ m³ Solar nucleus volume:

Average energy emission

of 1 m 3 of the solar nucleus matter: 34.10

Galileo Galilei (1564 – 1642)



ISTORIA E DIMOSTRAZIONI

E LORO ACCIDENTI

COMPRESE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL'ILLYSTRISSIMO SIGNOR

MARCO VELSERI LINCEO
DVVMVIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MADISTA CHSARGA

DAL SIGNOR

GALILEO GALILEI LINCEO

Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Sevenist.

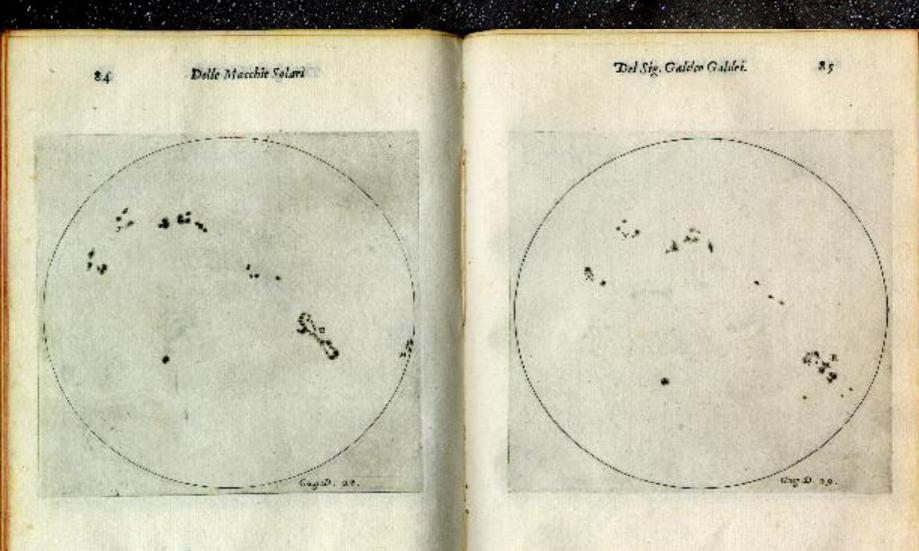
D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.

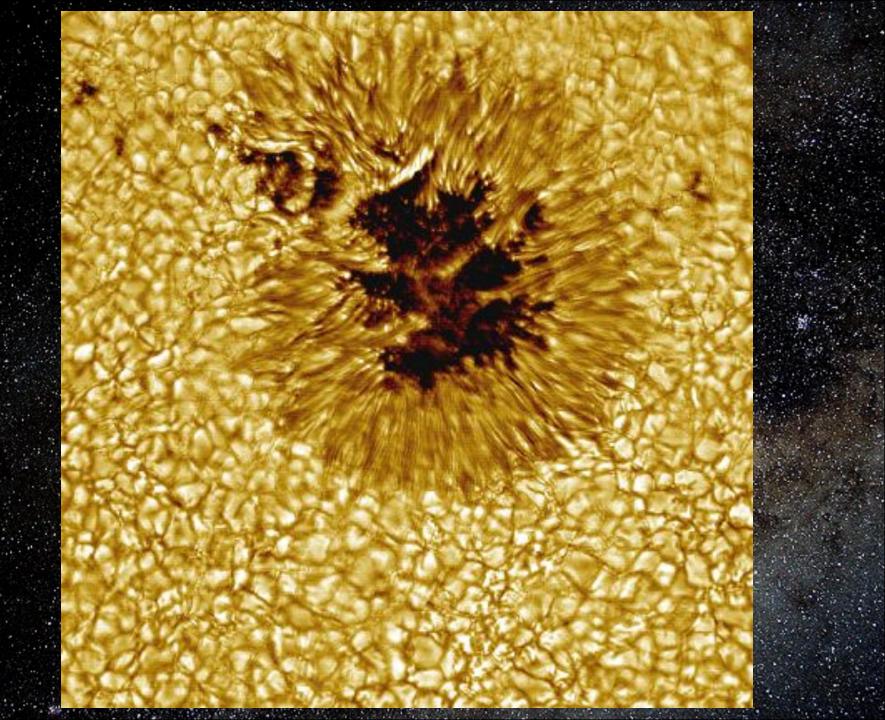
Si aggiungono nel fine le Lettere, e Difquifizioni del finto Apelle.



IN ROMA, Apprefio Giacomo Maleardi. MDCXIII, CON LICENZA DE SVPERIORI.

Sunspot group sketches by Galileo (Aug, 1611)



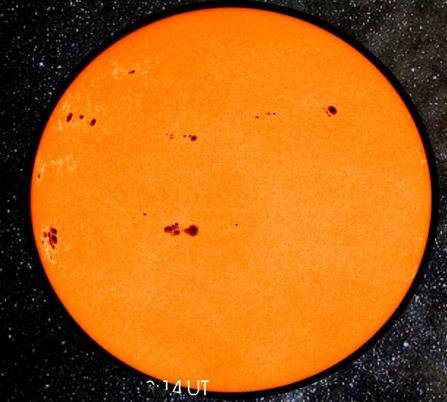


The relative number of sunspots –

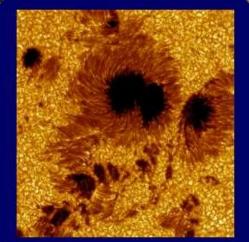
Wolf number

is the main index of solar activity

W=k(f+10g)



f – number of individual sunspots observed by particular observer, **g** – number of sunspot groups in which the sunspots are grouped, **k** – the standardizing coefficient for unification of particular observers observations

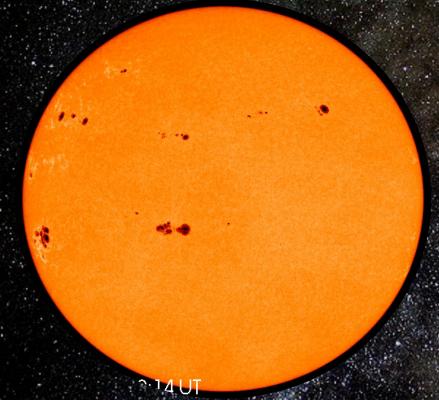


The relative number of sunspots -

Wolf number

is the main index of solar activity

W=k(f+10g)

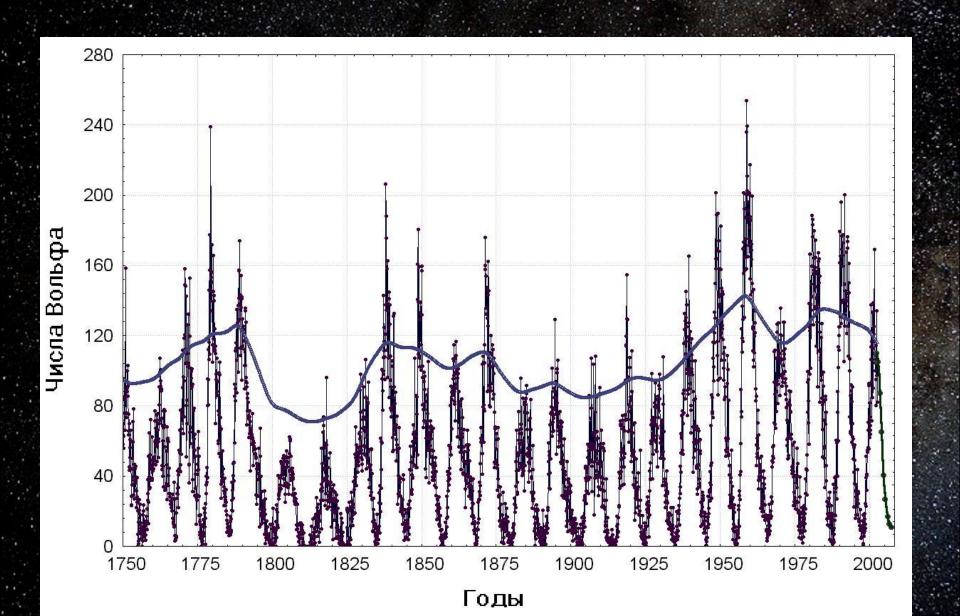


f – number of individual sunspots observed by particular observer, **g** – number of sunspot groups in which the sunspots are grouped, **k** – the standardizing coefficient for unification of particular observers observations

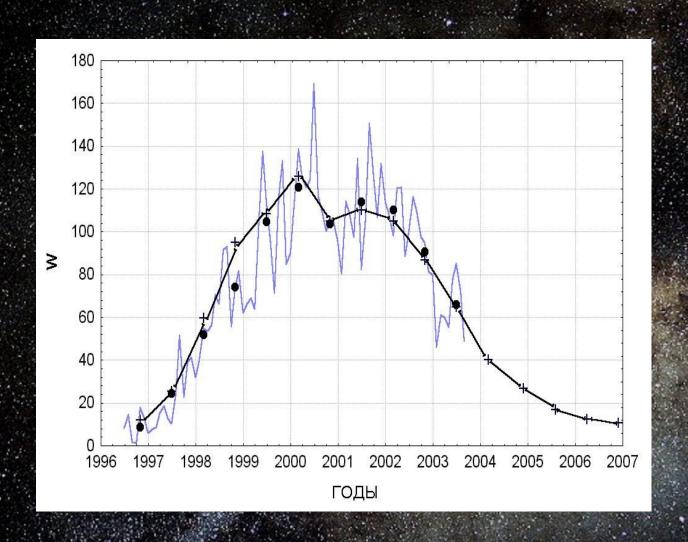
Looks strange?
But long!

(since 1749)

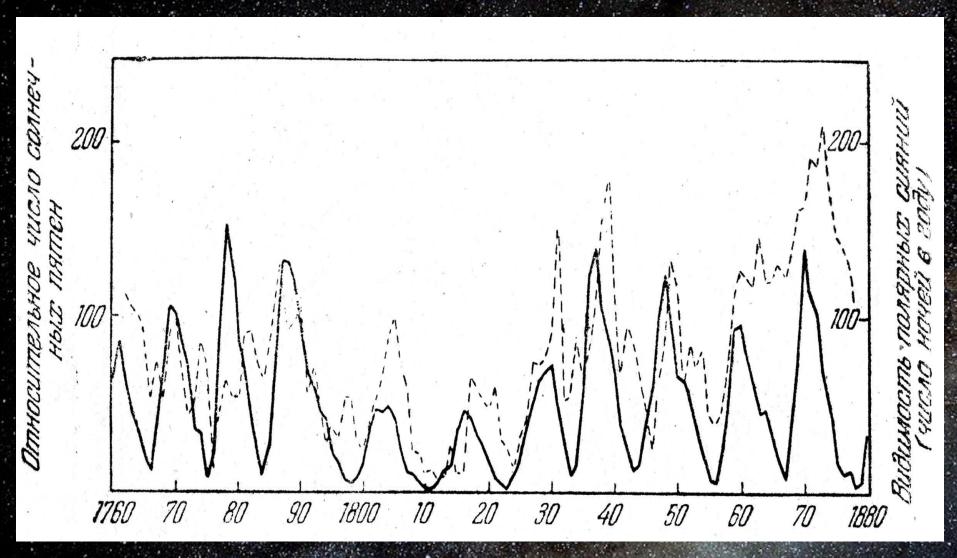
Solar activity cyclicity



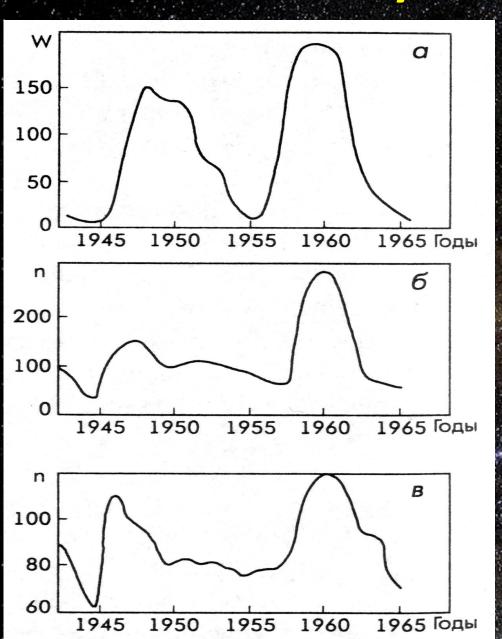
Typical structure of solar cycle



Solar activity and Aurora borealis



Solar activity and traffic accidents

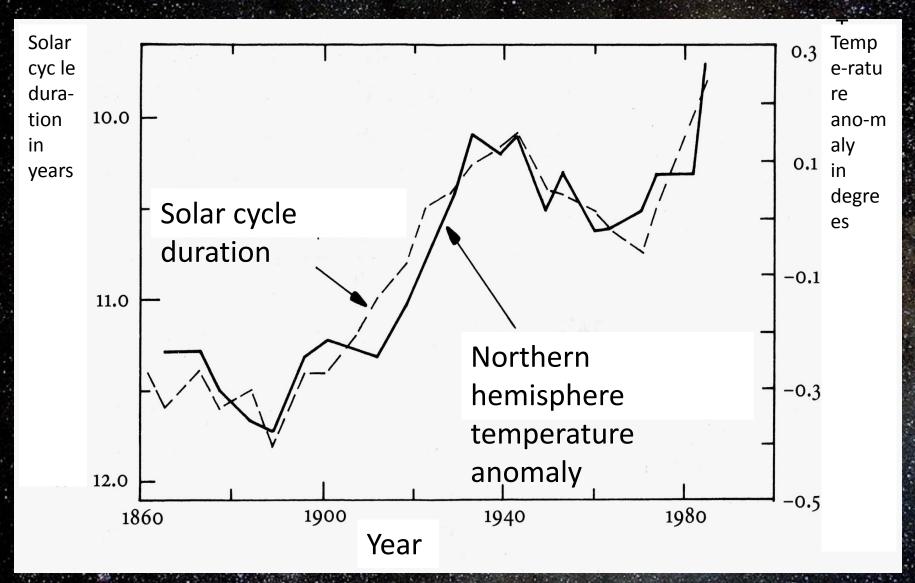


Wolf numbers for Solar activity.

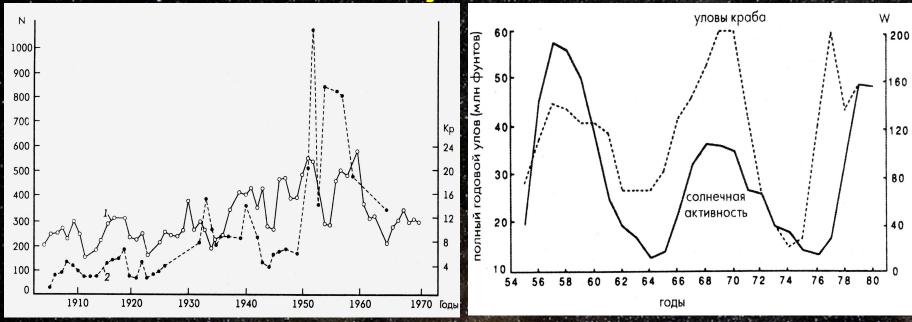
Number of traffic accidents per 100 auto all around Japan.

Number of traffic accidents per 100 auto for Tokyo city only.

Solar activity and Earth temperature variations

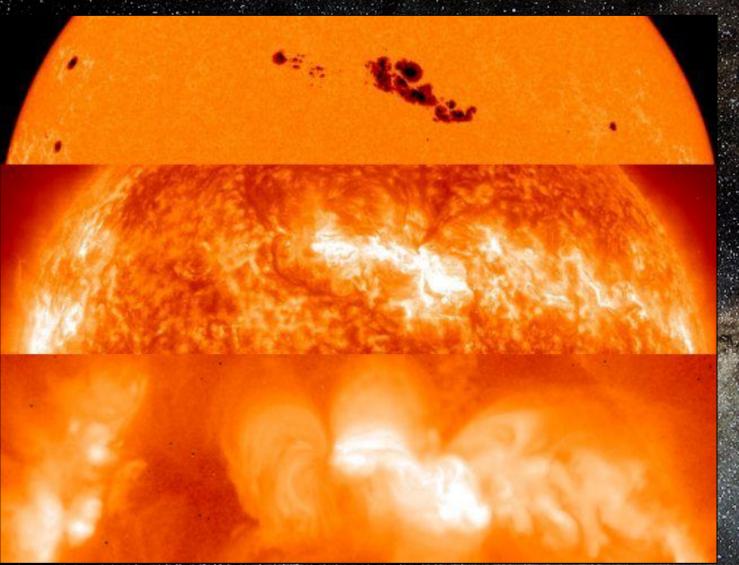


Solar activity and fish catch



Left panel – comparison of annual herring catches in the Norwegian Sea (black dots, left scale) with *Kp* index of geomagnetic activity (open circles, right scale). Right panel – comparison of catches of crabs on USA west coast (dotted line, left scale) and Wolf numbers (W, solid line, right scale). Years are on the x-axis.

Magnetic field inhomogeneities are manifested in all levels of the atmosphere

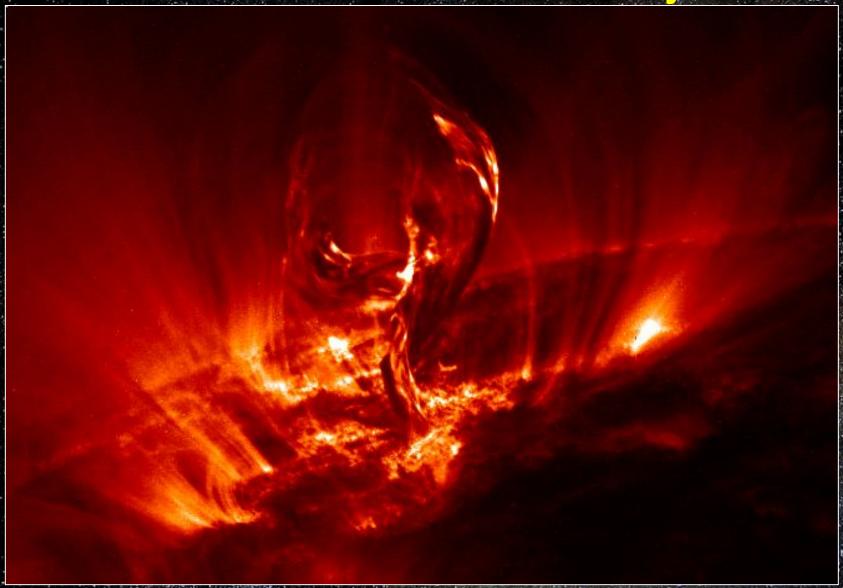


photosphere

chromosphere

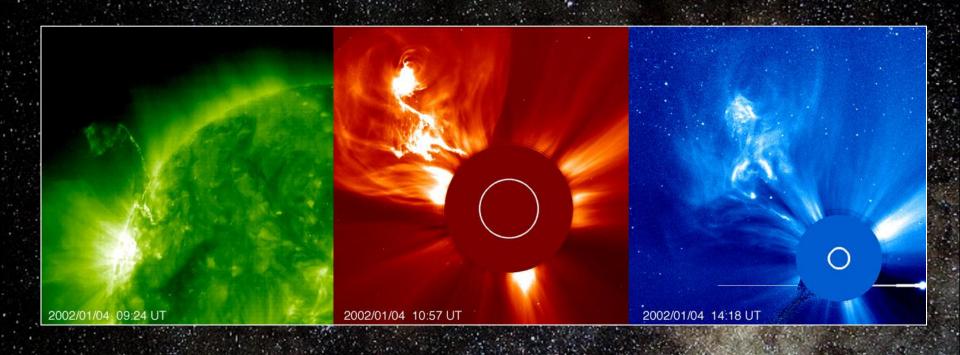
corona

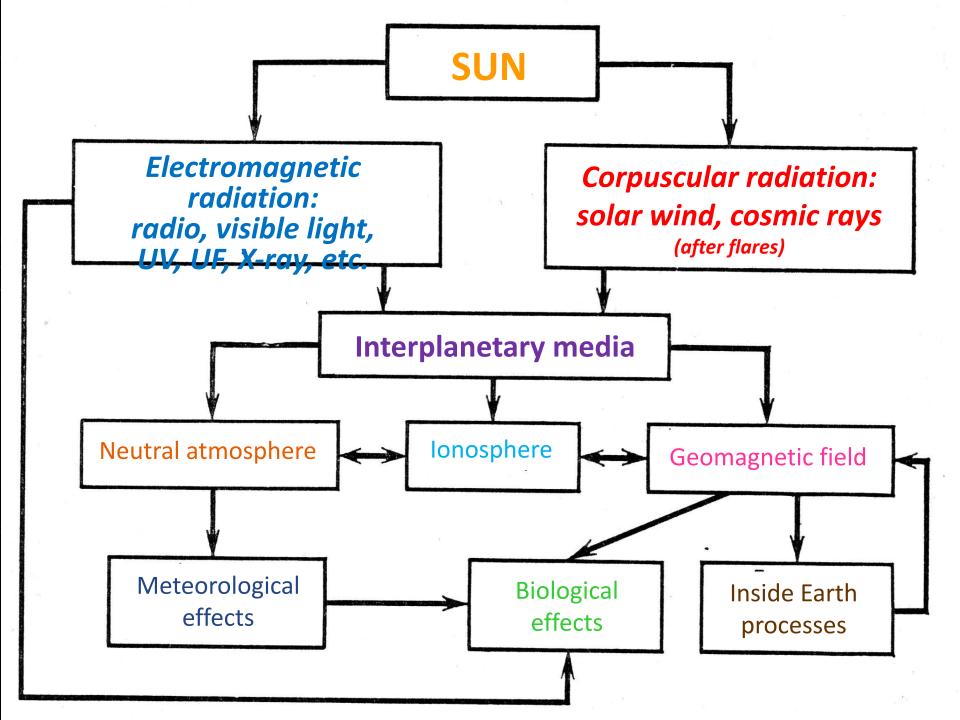
Solar flares and Coronal Mass Ejections



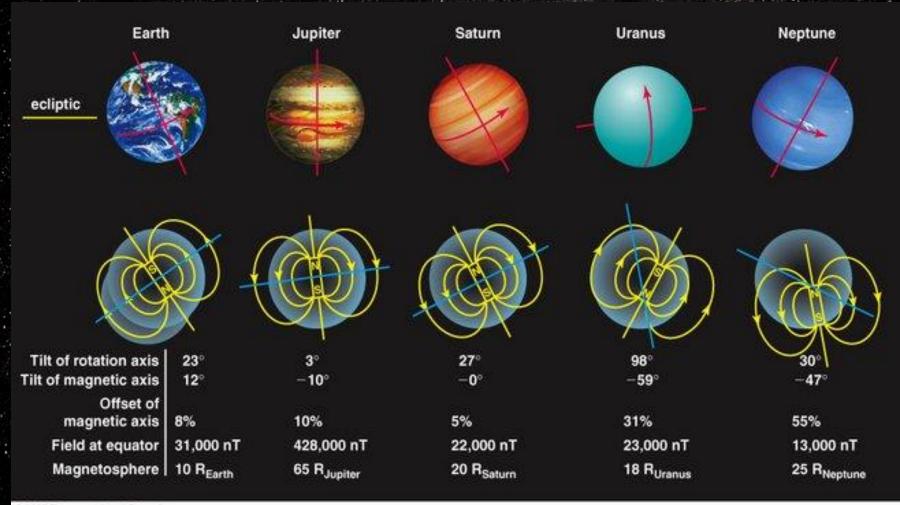


Limb flares and CME





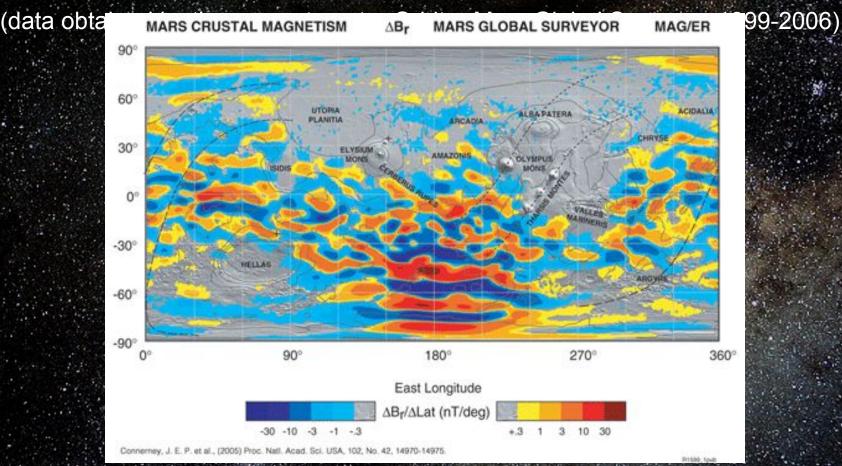
Solar system celestial bodies magnetic fields



Mars magnetic field

No global magnetic field (dipole) that could protect the planet from the solar wind.

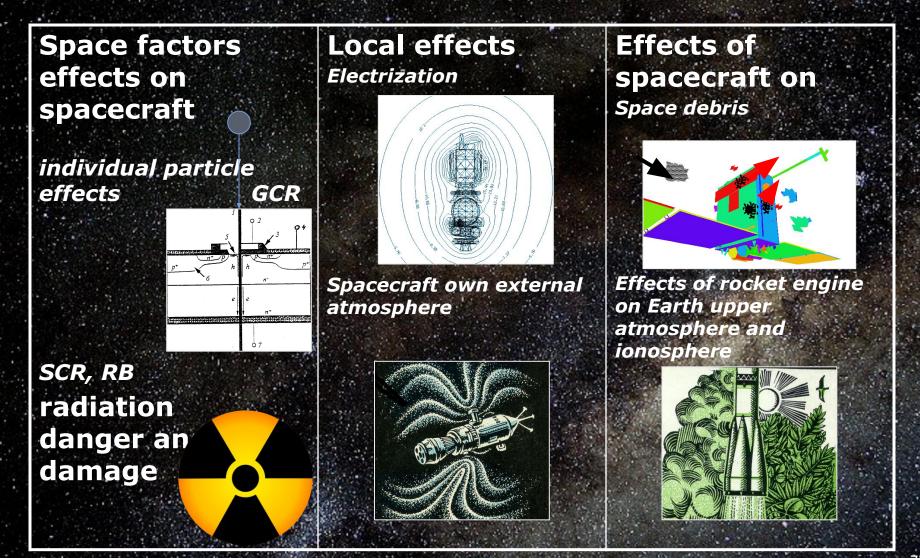
However, there are localized areas with strong magnetic fields



Spacecraft effects of space radiation

- One of the main cause of the spacecraft systems failures is the exposure to cosmic radiation. The radiation conditions in space are determined by a combination of charged particles and photons flows (energy range ~10³–10²¹ eV).
- Reversible and irreversible effects appear as a result of radiation influence on materials and equipment:
 - due to the total absorbed dose of cosmic radiation (in some cases, should be seen as effects related to the absorbed dose rate);
 - caused by hitting the hardware elements of single charged particles.
- Dose effects are manifisted in a gradual degradation of materials.
- The effects caused by individual charged particles are dangerous first of all for the elements of modern microelectronics, and occur immediately after exposure.

Spacecraft interaction with environment



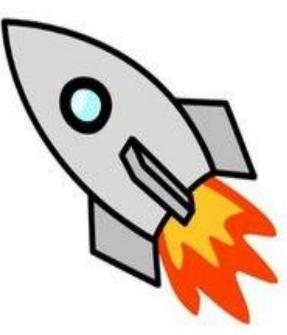
Maat tor would man fly to Moon, Mars, etc.



Your mobile phone has more computing power than all of

NASA in 1969.



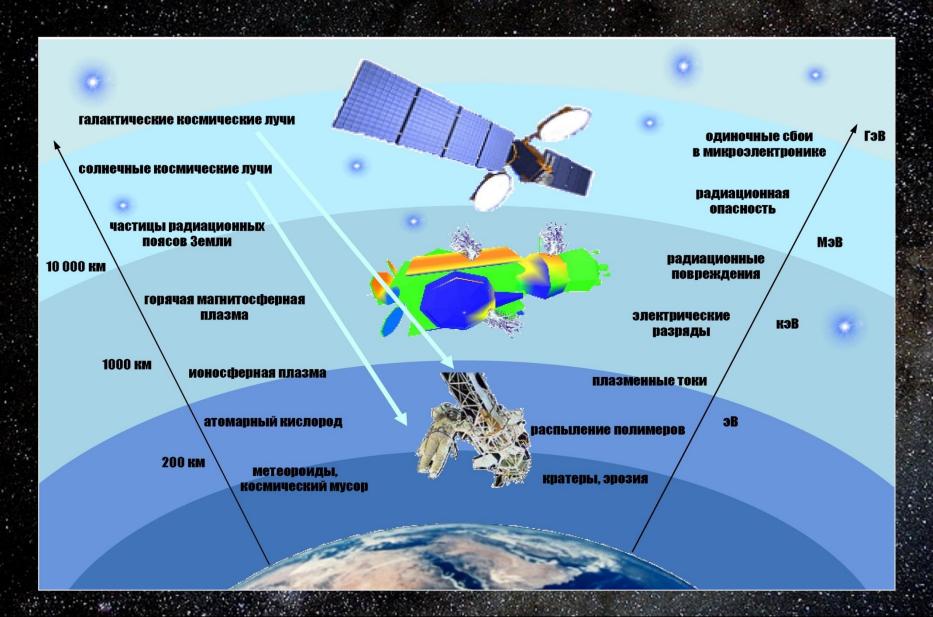


«For a successful technology, reality must take precedence over public relations, for nature cannot be fooled.»



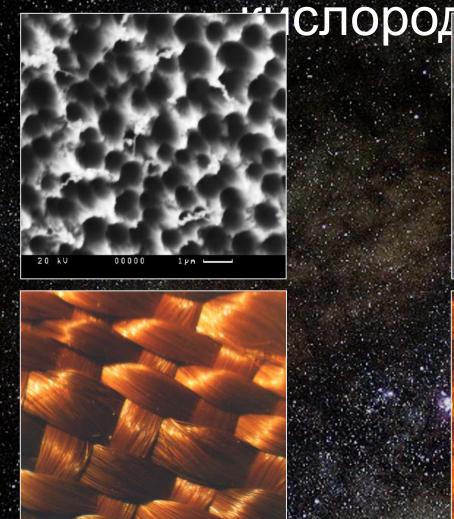
Richard P. Feynman

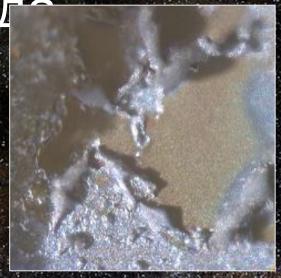
Outer space factors

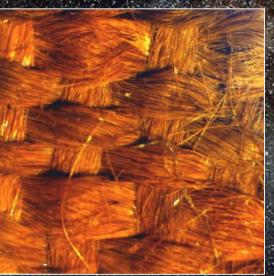




Структура материалов до и после воздействия атомарного

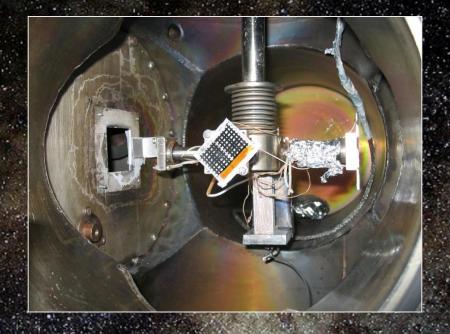






Плазменная струя и исследуемый образец в вакуумной камере





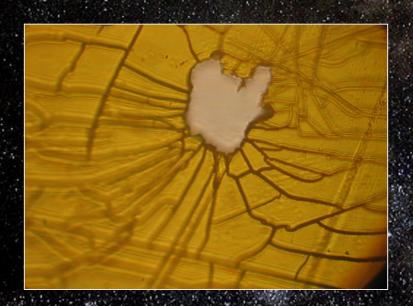
Струя плазмы, выходящая из ускорителя, фокусируется на поверхность исследуемого образца. Свечение струи зависит от состава и степени ионизации плазмы

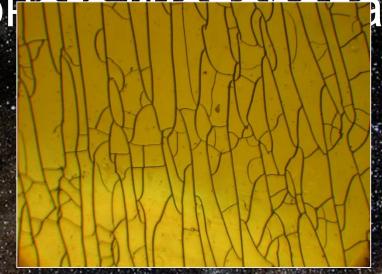
Исследуемый образец крепится на специальном держателе, обеспечивающем возможность его вращения в разных плоскостях и термостатирование 80

Характер повреждений тонкопленочного покрытия под

действием атомарн

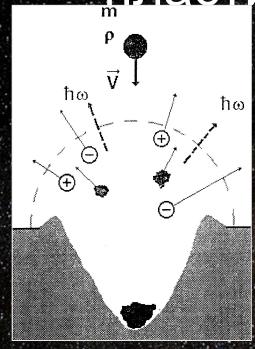
The oxygen plasma processing causes the substrate film etching under defect of protection and microcracks formation in silica layer. 200 micron field of vision







Образование кратеров в пластичных мишенях



 $\frac{d}{d} = k \rho_{Y}^{\alpha} v^{\beta}$ k = 0,3-0,6; $\alpha = 1/3 - 1/2;$ $\beta \approx 2/3.$

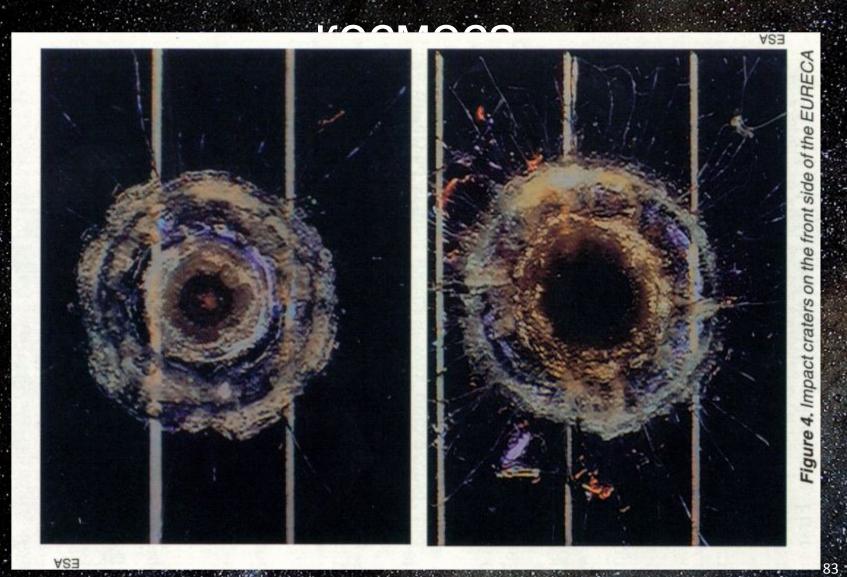
Формирование кратера, выброс плазмы и электромагнитное излучение из зоны удара

Глубина кратера – *Н* Диаметр частицы – *d* Плотность материала частицы - *r*_u

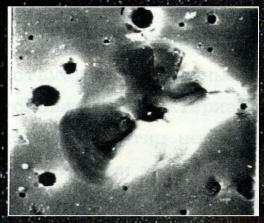


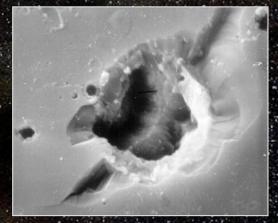
Кратер в металлическом образце от удара космической частицы 82

Кратеры в элементах солнечной батареи, возвращенной из

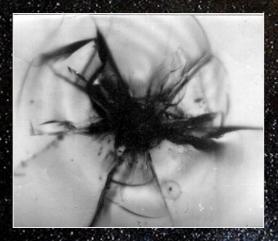


Кратеры в хрупких материалах





Удары частиц Ті (d~0,5-1,5 мкм; v~4-6 км/с) по пластинам Ge



Кратер в стекле от удара частицы Al с v~8 км/с

$$D_{\mathcal{H}}=0$$
, $d
ho^{-2/3}
ho^{-1/2}v^{2/3}$ $D_{\mu}=(2-5)D_{\mu},\;d$ – диаметр частицы,

Глубина кратера

$$H = 0.6 d \left(\frac{\rho_{v_l}}{\rho_M}\right)^{\frac{1}{2}} v^{2/3}$$

Результат лабораторных испытаний трехслойного экрана



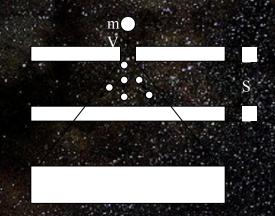


Разрушение мишеней при ударах массивных частиц





Кратеры в толстой мишени из полиметилметакрилата



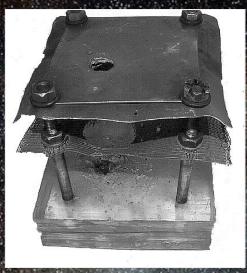
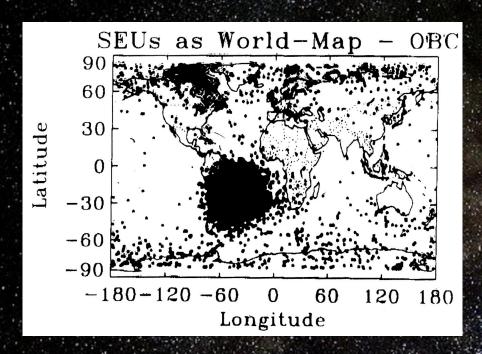
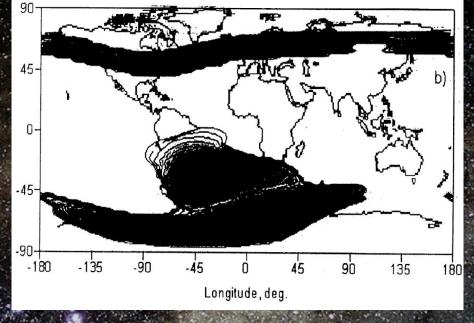


Схема и результат испытаний многослойного защитного экрана

Локализация сбоев в работе электронного оборудования низкоорбитального КА



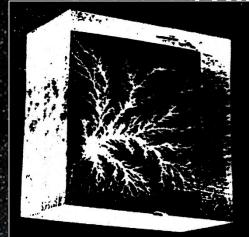


Локализация сбоев в области Южно-Атлантической магнитной аномалии и высокоширотных зонах проникновения частиц РПЗ

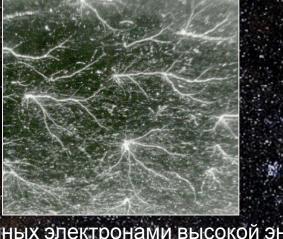
Пространственное распределение потока частиц РПЗ на высоте орбиты КА (700 км)

Объемный заряд в

пиэлектриках



а б



Фигуры разрядных каналов в стеклянных образцах, облученных электронами высокой энергии: а – при самопроизвольном возникновении разряда; б – при инициировании локальных разрядов ударами высокоскоростных твердых частиц



Структура разрядного канала в стекле, облученном протонами с энергией 100 МэВ: канал выходит на нижнюю облучавшуюся плоскость образца; в верхней части рисунка видна воронкообразная область, через которую заряд при пробое стекает в канал

Излучения:

энергия в эргах

гамма $\lambda < 0.01$ нм

OI III

10²⁵

 $\lambda < 0.01 - 10 \text{ HM}$

 $10^{24} - 10^{26}$

 $\lambda < 10 - 300 \text{ HM}$

 $10^{29} - 10^{31}$

видимое

 $10^{26} - 10^{31}$

радио

 $10^{22} - 10^{24}$

Быстрые частицы:

электроны (> 20 кэВ)

 $10^{27} - 10^{31}$

протоны (> 20 МэВ)

10³¹

движения и выбросы СМЕ

 $10^{29} - 10^{32}$