Основы космофизики

Сергей Анатольевич Красоткин

Физический факультет и НИИЯФ МГУ

SPACE TRAGEDIES

Apollo 1

Jan 27, 1967

Challenger

Jan 28, 1986

Columbia

Feb 1, 2003

LOCV

Loss Of Vehicle and Crew

NASA

(1986) :

1 in 100,000

R.P. Feynman

(1986):

1 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):

1

in

57

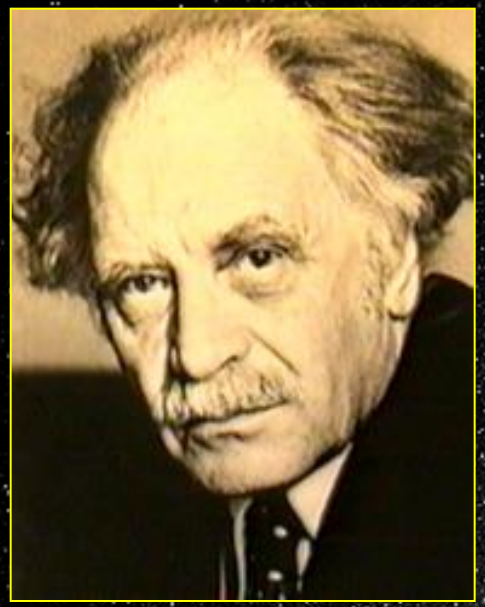
In fact, today, the empirical LOCV rate is 1 in 57.

Физические условия в космосе

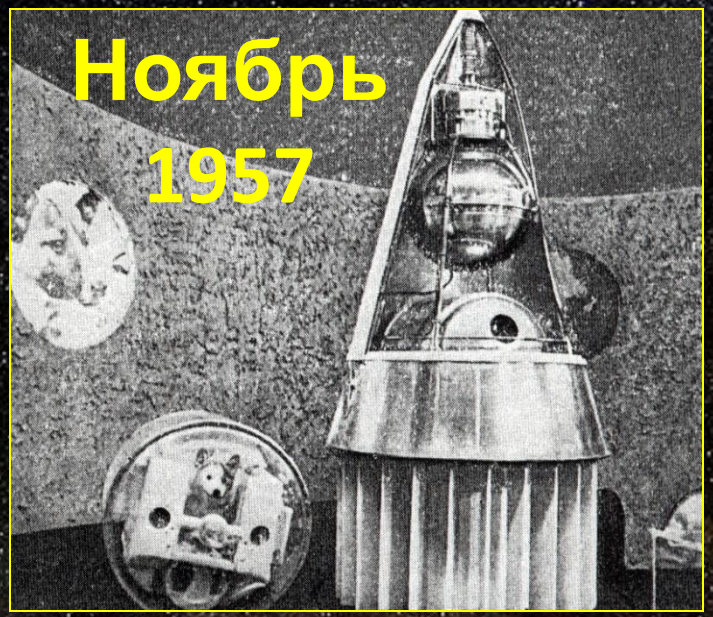
- невесомость, гравитационные поля;
- глубокий вакуум;
- метеорные потоки, космический мусор;
- тепловые потки;
- электромагнитное и корпускулярное излучение.

Физические условия в космосе

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

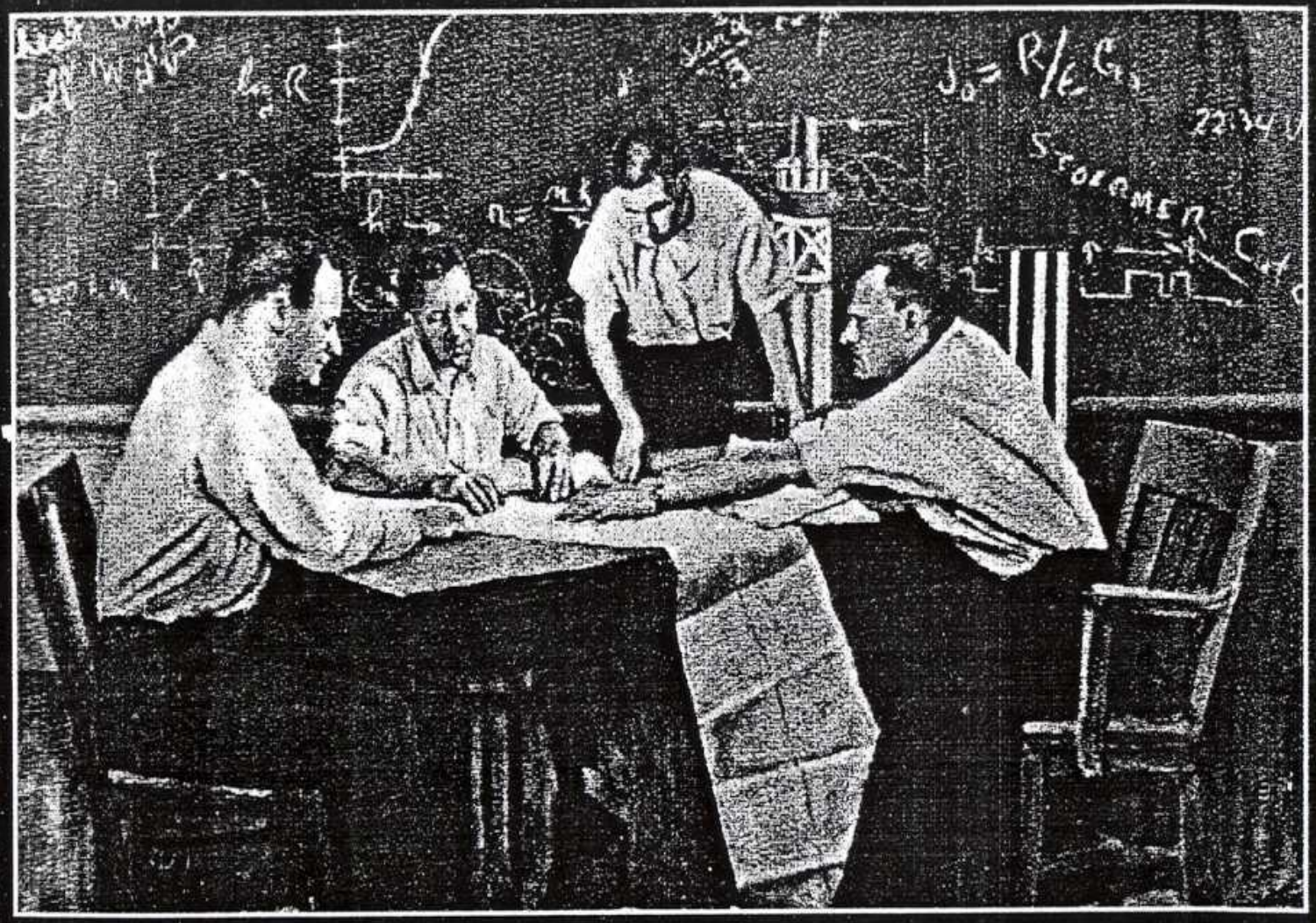


Сергей Вернов



Сергей Королев

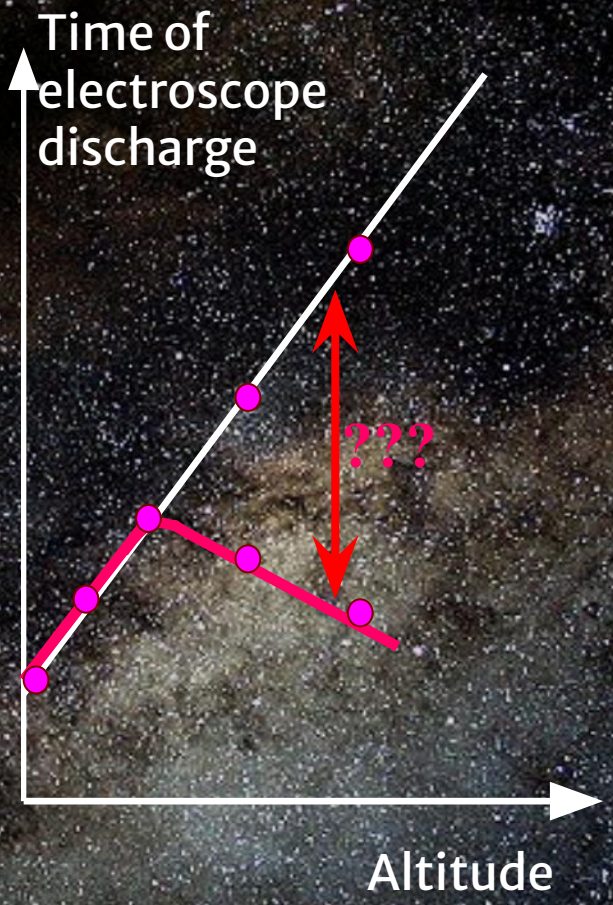
J.Van Allen

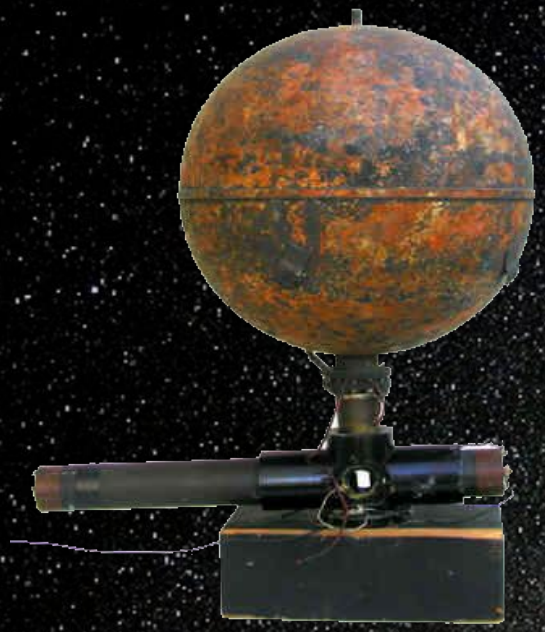


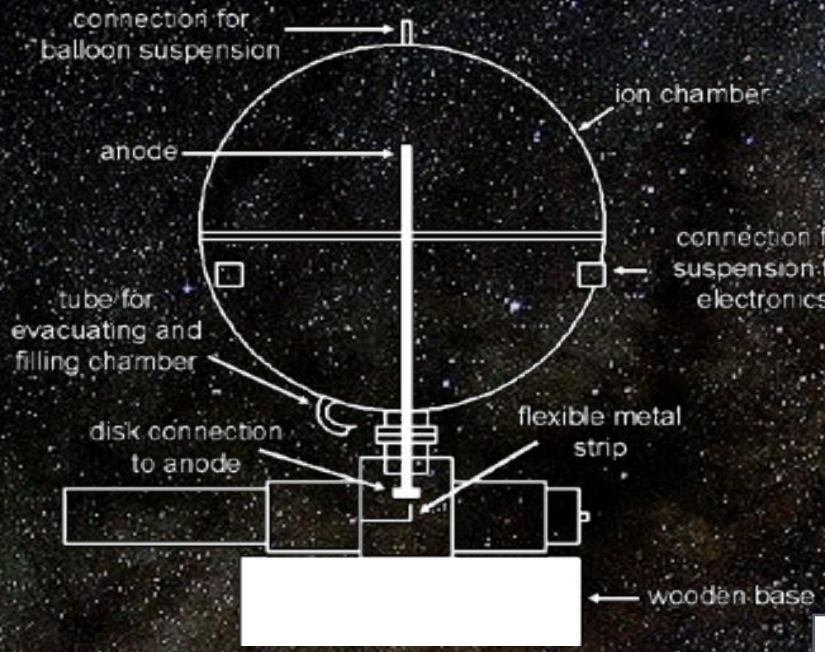
"My God, space is radioactive!" Dr. Ernest C. Ray March 28, 1958

Ионизирующая радиация – из космоса ???

Victor Franz Hess
balloon flight, 1912







Ионизационная камера

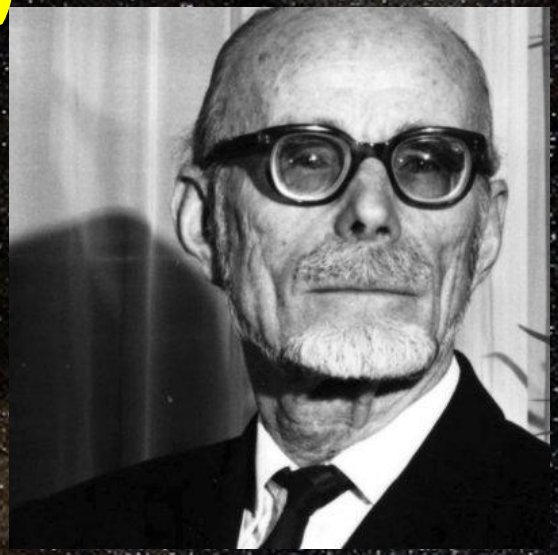
на воздушных шарах (1925-27)

Высота 15-20 км.

Robert Andrews Millikan

Внеземное происхождение, хим. состав (α-частицы, энергичные электроны, протоны, нейтроны, γ-кванты).

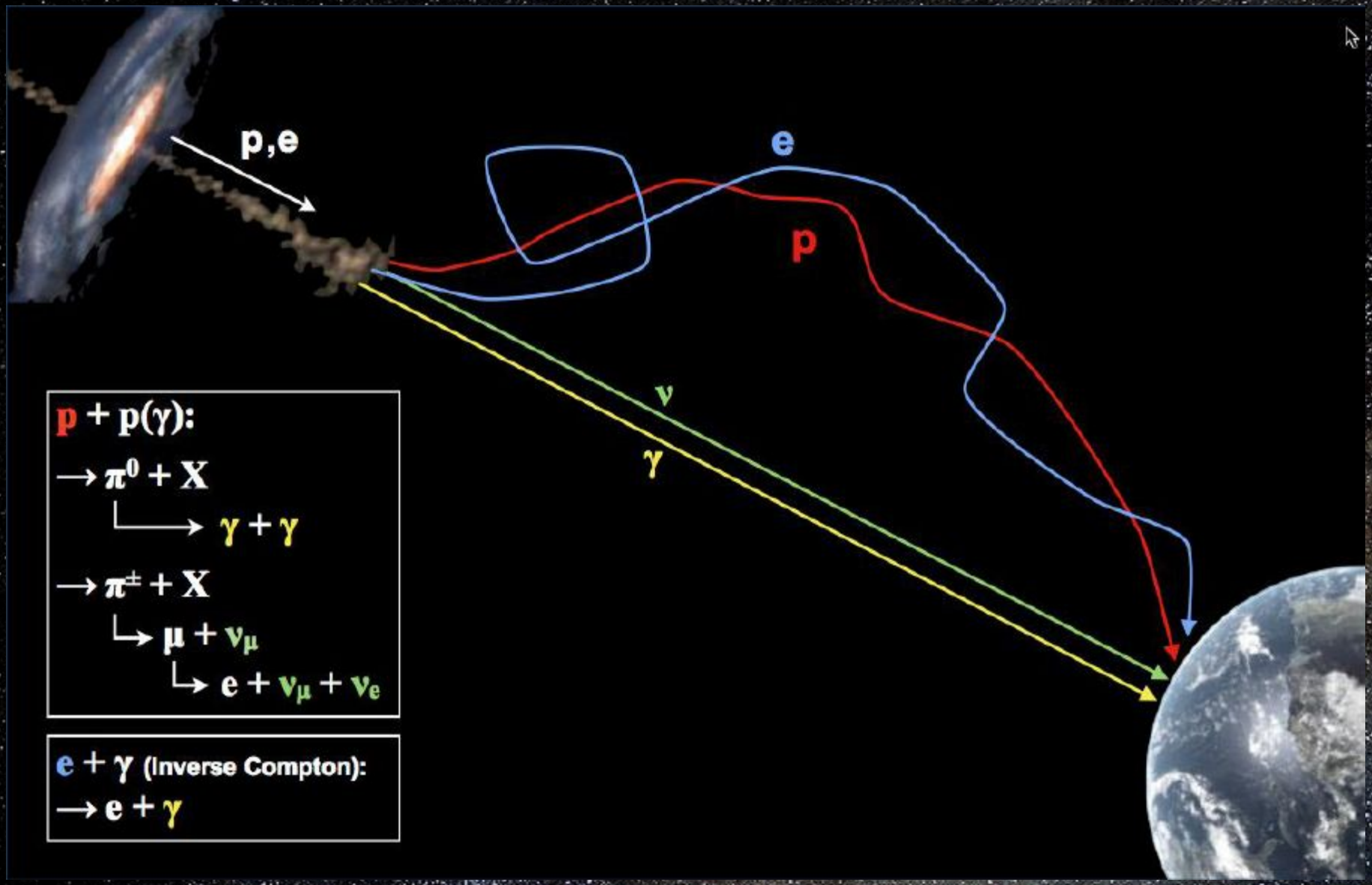
Широкие атмосферные ливни (ШАЛ)

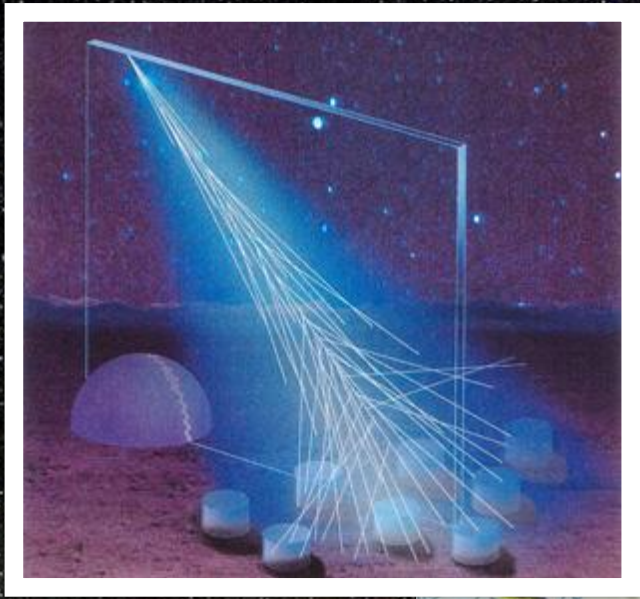


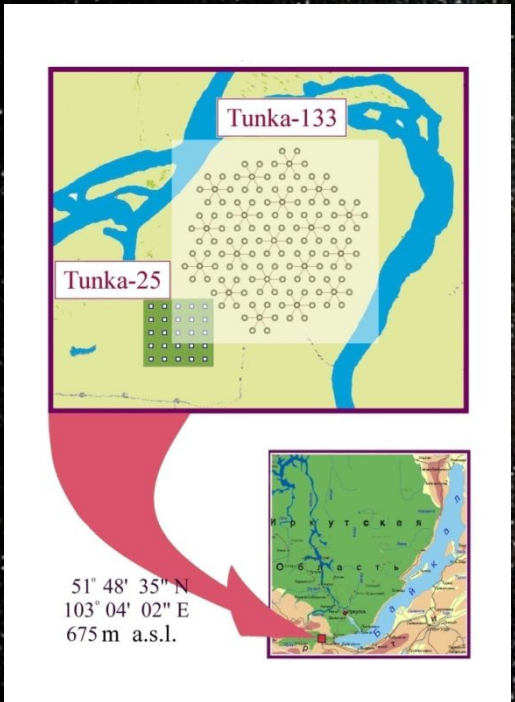
Bruno Benedetto Rossi, 1934:

Два независимых счетчика Гейгера регистрировали заряженные частицы одновременно

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


p,e
e
p
ν
γ
p + p(γ):
→ π⁰ + X
→ γ + γ
→ π± + X
→ μ + νμ
→ e + νμ + νe
e + γ (Inverse Compton):
→ e + γ





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

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

Auger detector

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

TUNKA-133

Atmospheric measurements (Antarctida)

Космическая погода

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
  -

Космическая погода *включает*

Ионизирующая радиация

- Галактические космические лучи (ГКЛ)
  до 10^{19} эВ
- Солнечные космические лучи (СКЛ)
  до 10^{9} эВ
- Радиационные пояса Земли (РПЗ)
  электроны до 10^{7} эВ,
  протоны и ионы до $0.5*10^{9}$ эВ
- Гамма и рентгеновское излучение
- Гелиосферная плазма и магнитные поля (вкл. солнечный ветер)

Космическая погода *влияет на*

Геомагнитные эффекты

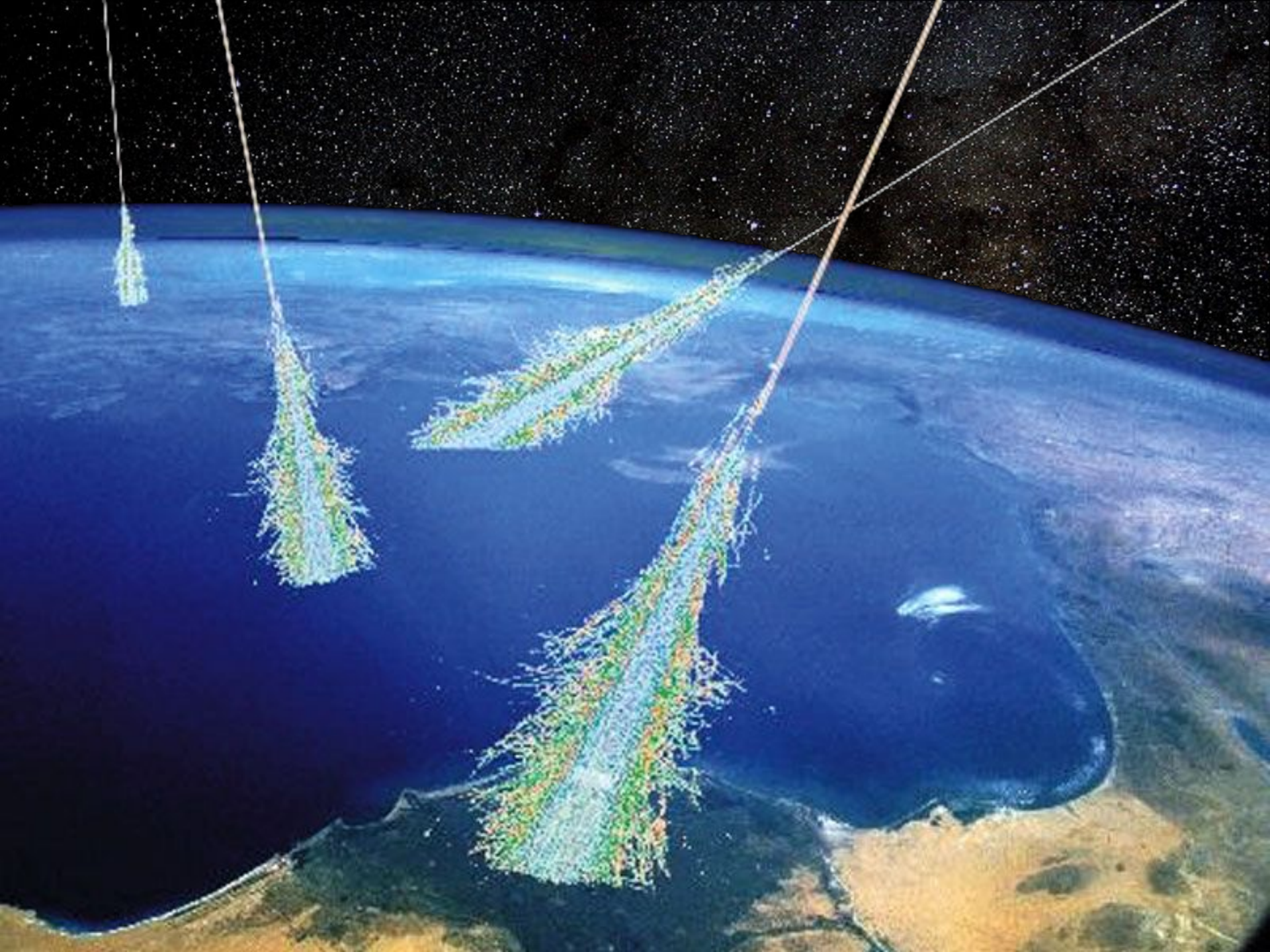
- Магнитные бури
- Суббури

Геоиндуцированные электрические токи

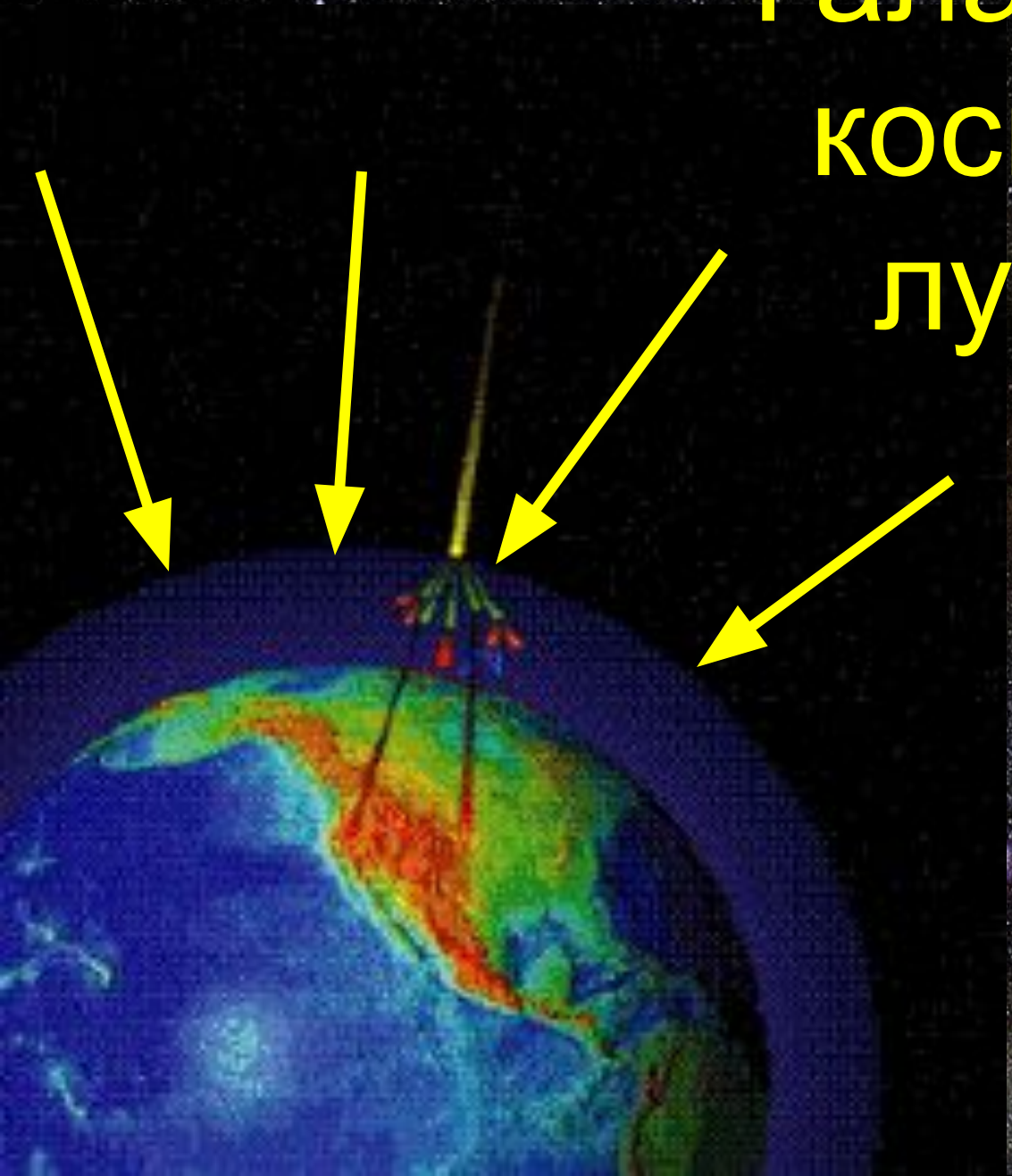
- Электрические токи в магнитосфере и ионосфере;
- Вариации магнитного и электрического полей Земли

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.

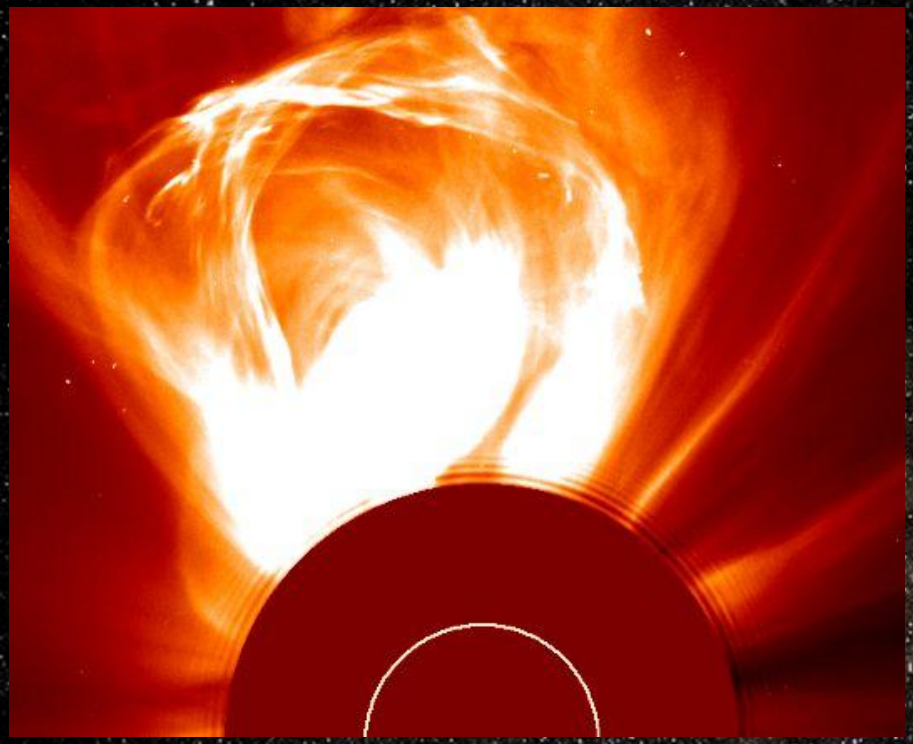


Галактические космические лучи (ГКЛ)



Энергия:
до **10^{19} эВ (~10 Дж)**;
Химический состав:
все элементы, в основном водород;
пространственное распределение изотропное

Солнечные космические лучи (СКЛ)



Энергия до 10^9 эВ

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

Космические лучи

Взрывы сверновых

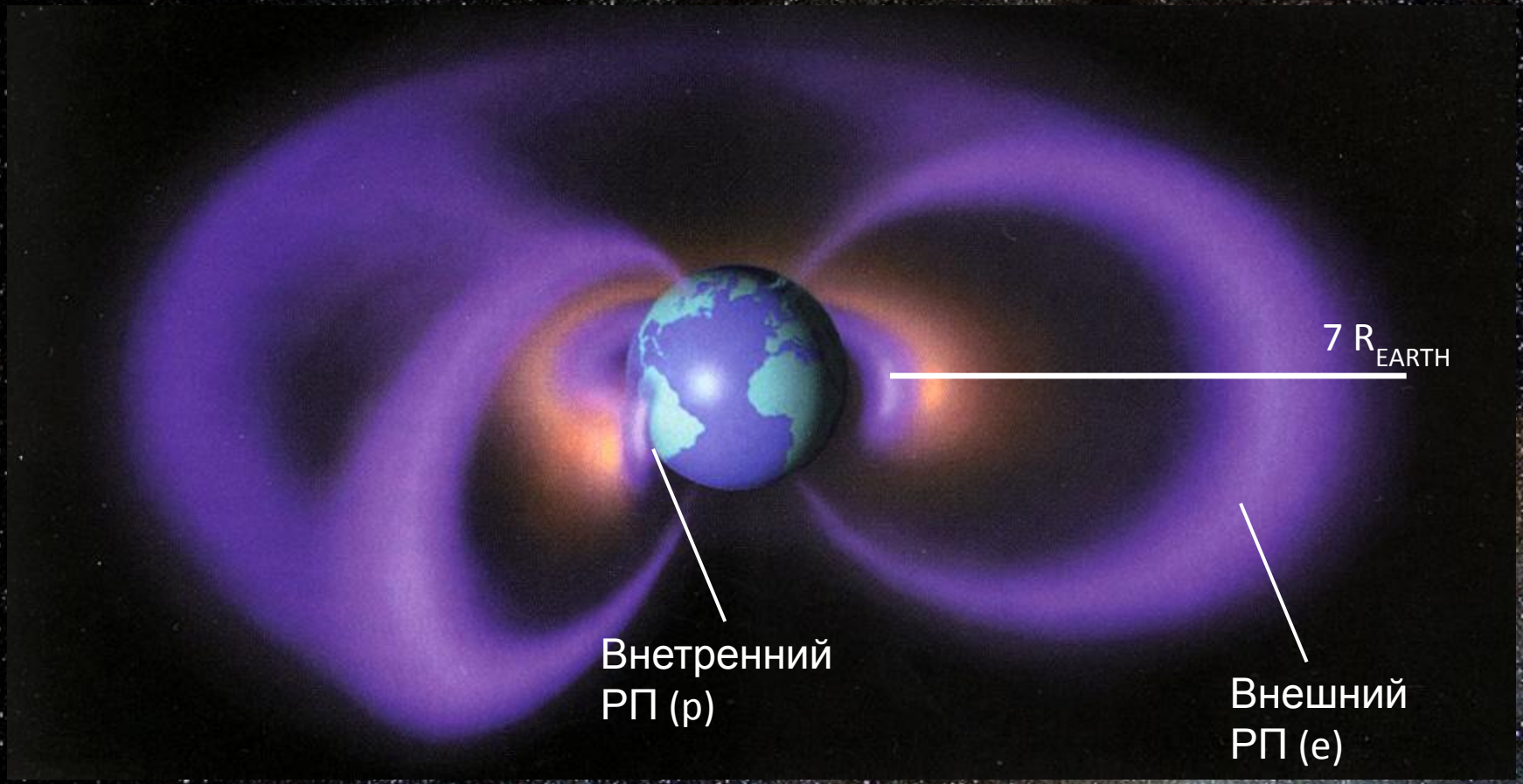
Ускоряются магнитными полями

Ядерные реакции в солнечном ядре

Солнечная активности

	Галлактические		Солненчые
	~ 1 $cm^{-2}\cdot s^{-1}$	поток	Up to ~10^6 $cm^{-2}\cdot s^{-1}$
	Nuclei ~90% protons, ~10% He nuclei, ~1% hard nuclei **Electrons** (~1 % of nuclei) **Positrons** (~0.1 % of nuclei) **Antihadrons** < 1 %	состав	**98-99% protons,** **~1.5% He nuclei**
	10^6 - 10^{19} eV up to10^{21} eV for HEGCR	энергия	10^5 - 10^{11} eV

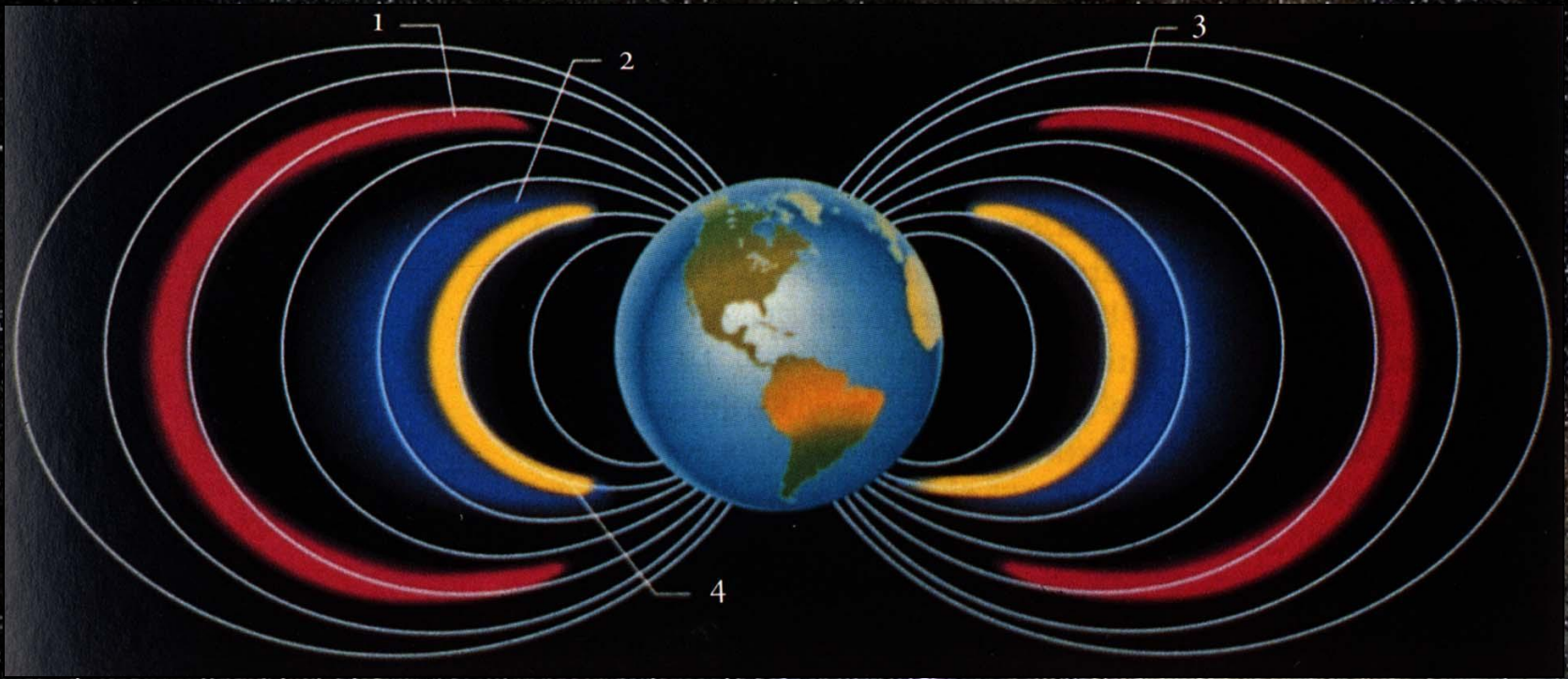
Радиационные пояса Земли



электроны до 10^7 эВ, протоны о ионы до $0.5*10^9$ эВ

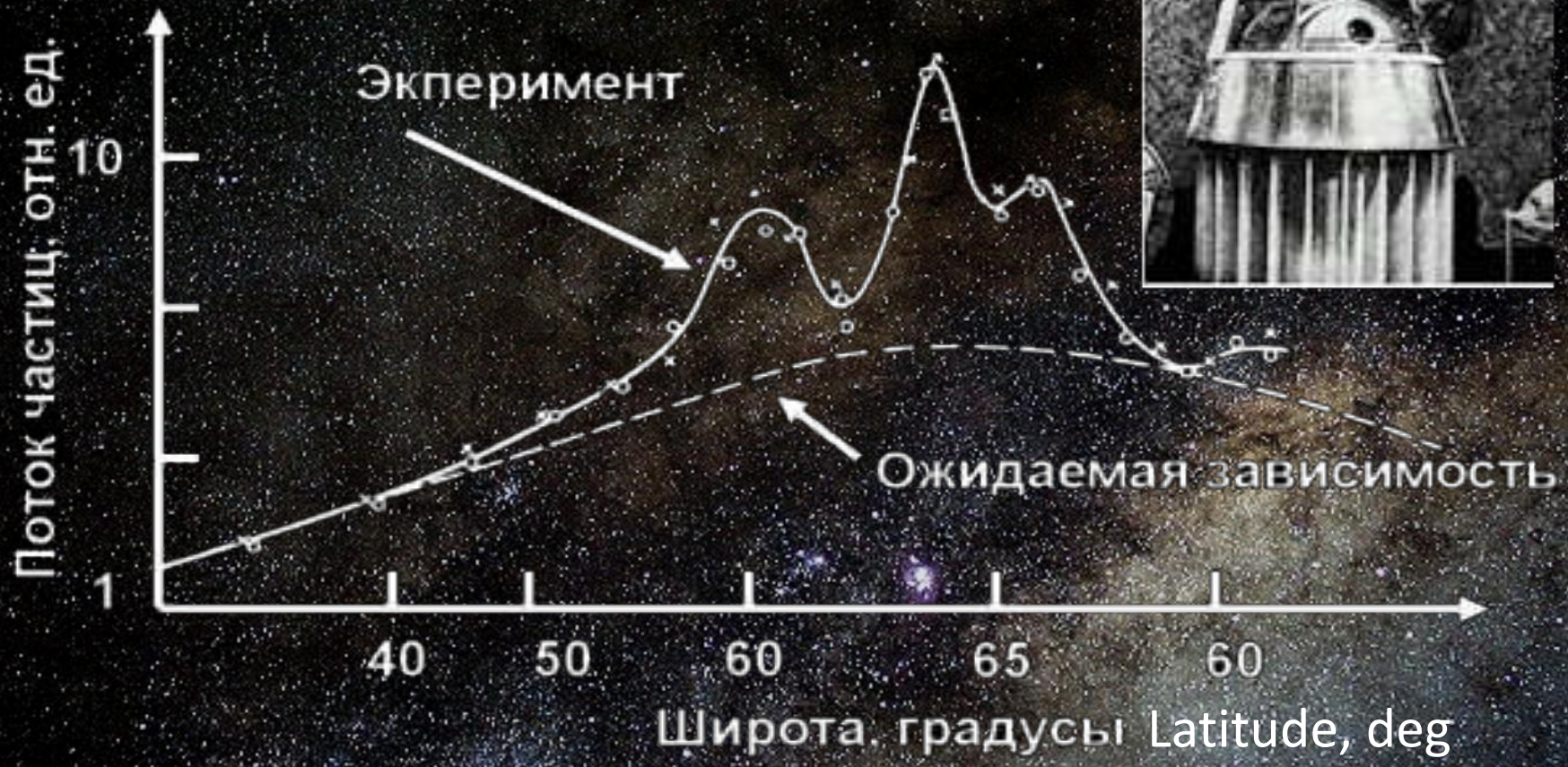
Earth Radiation Belts

(Vernov - van Allen Belts)



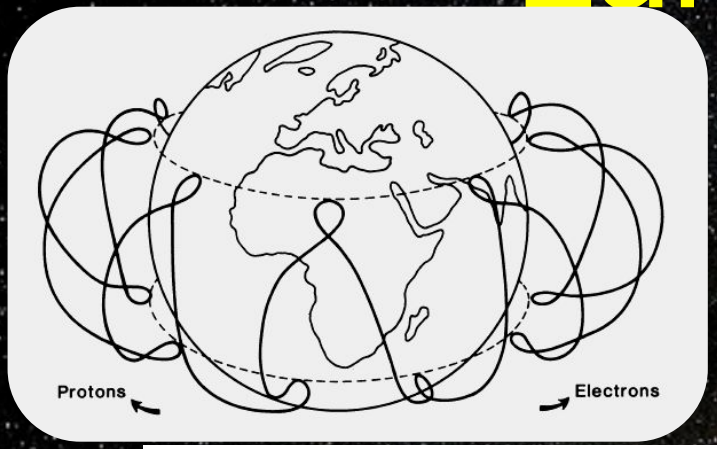
1 – Outer RB (up to 40 000 km).
2 – Inner RB (up to 30 000 km).
3 – Lines of magnetic force.
4– Third RB formed from ExtraGalactic CR.

РПЗ
(пояса Вернова – ван Аллена)

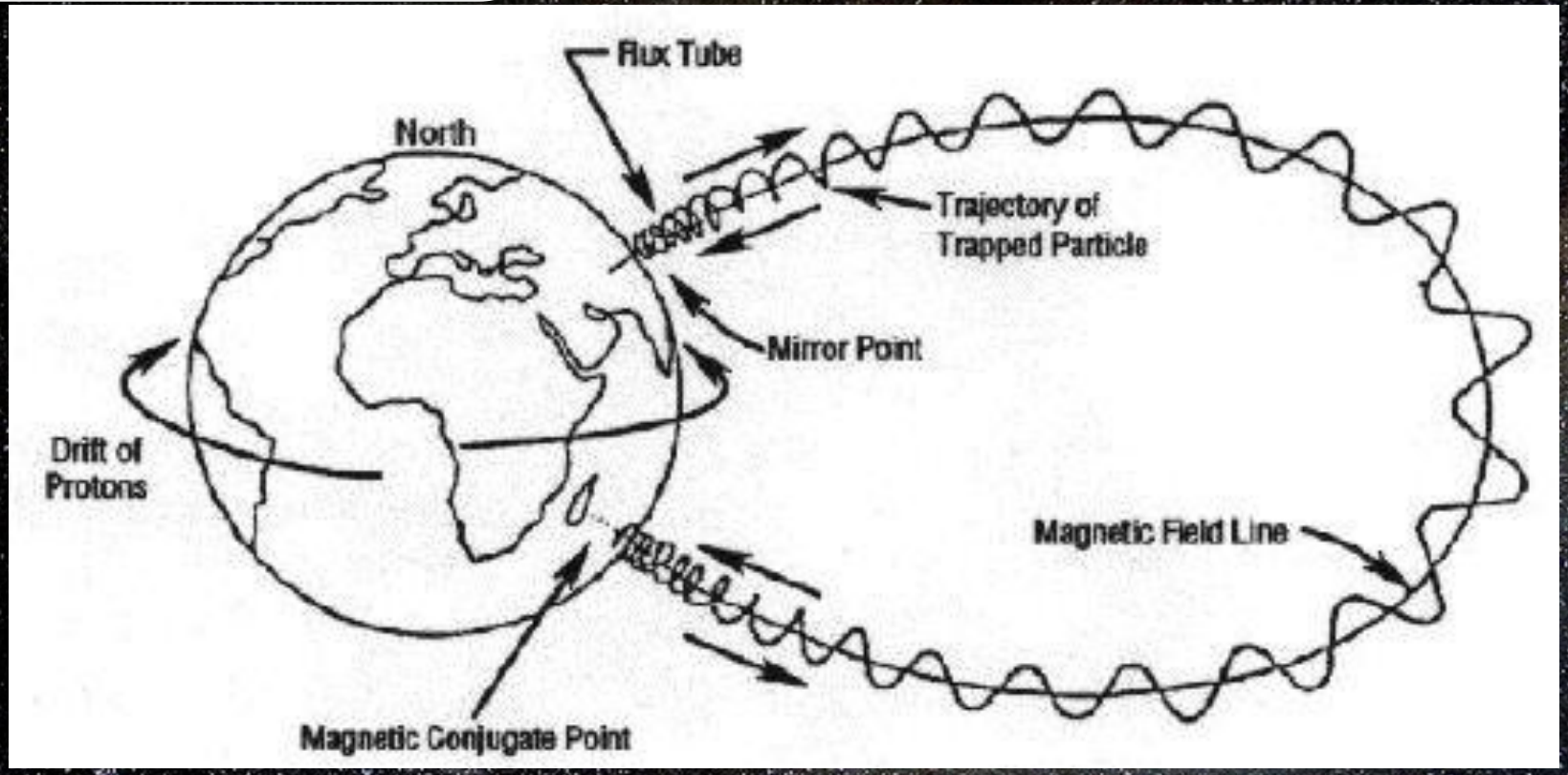


Earth Radiation Belts

(Vernov - van Allen Belts)

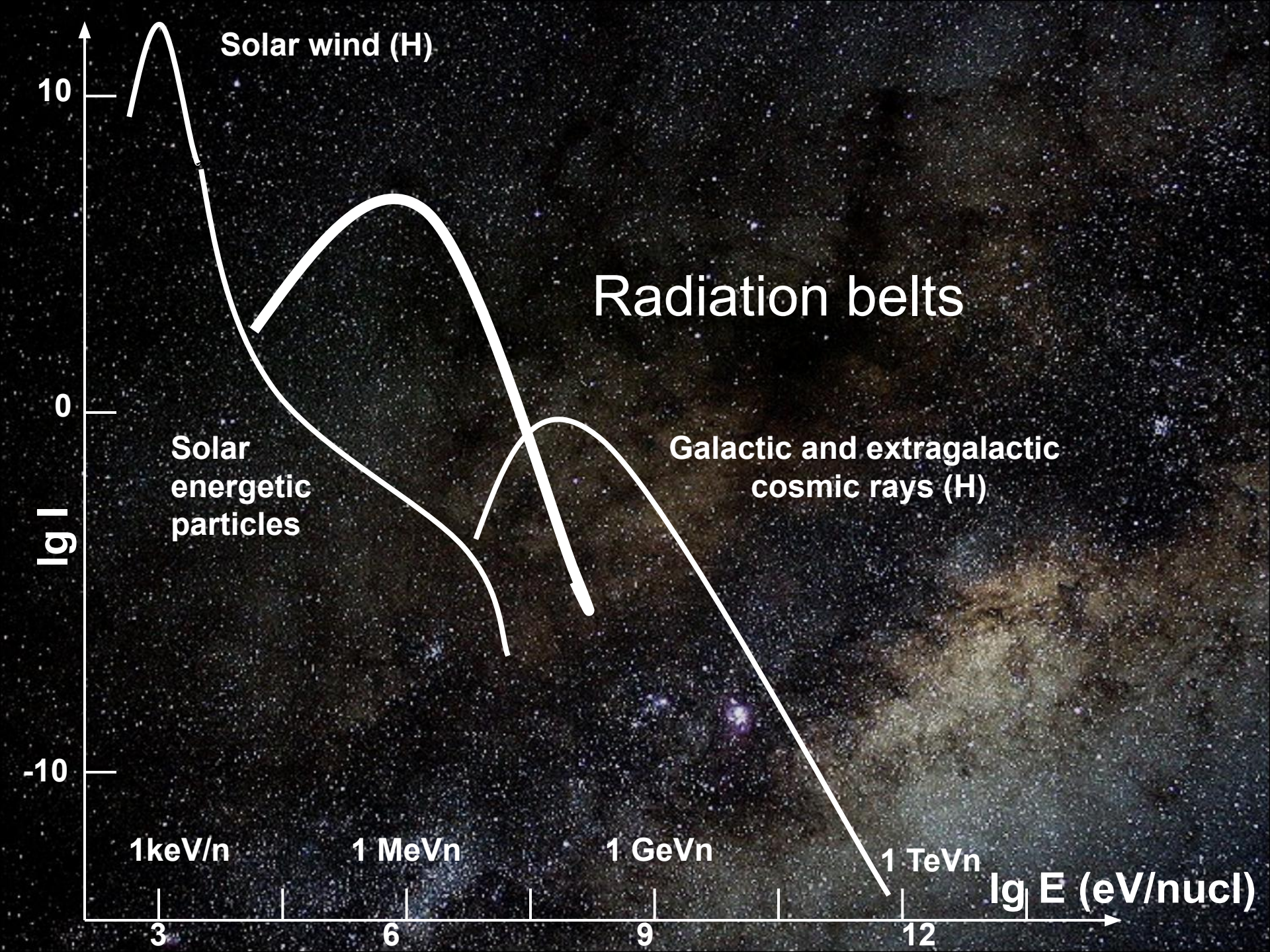


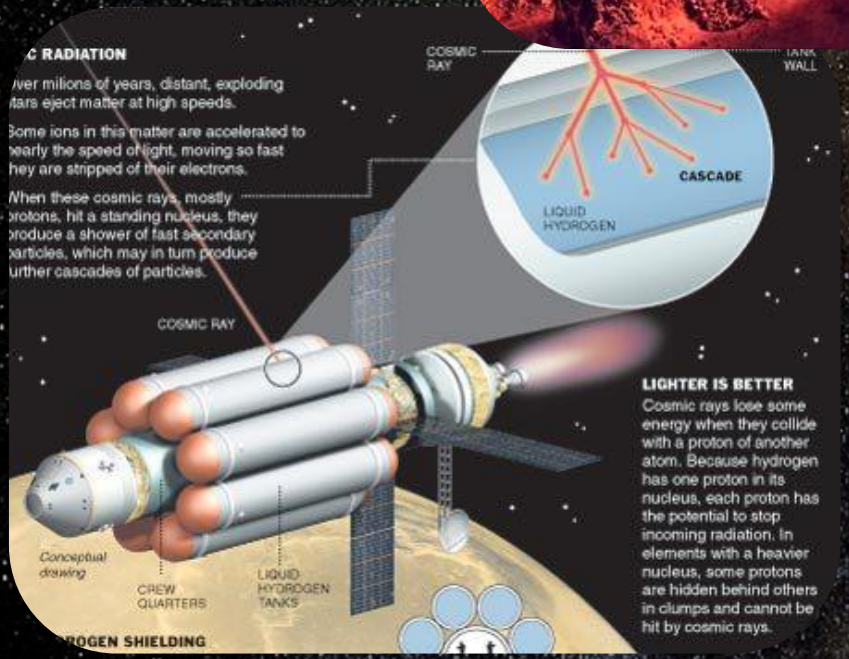
Larmor magnetic precession of particles (e & p)

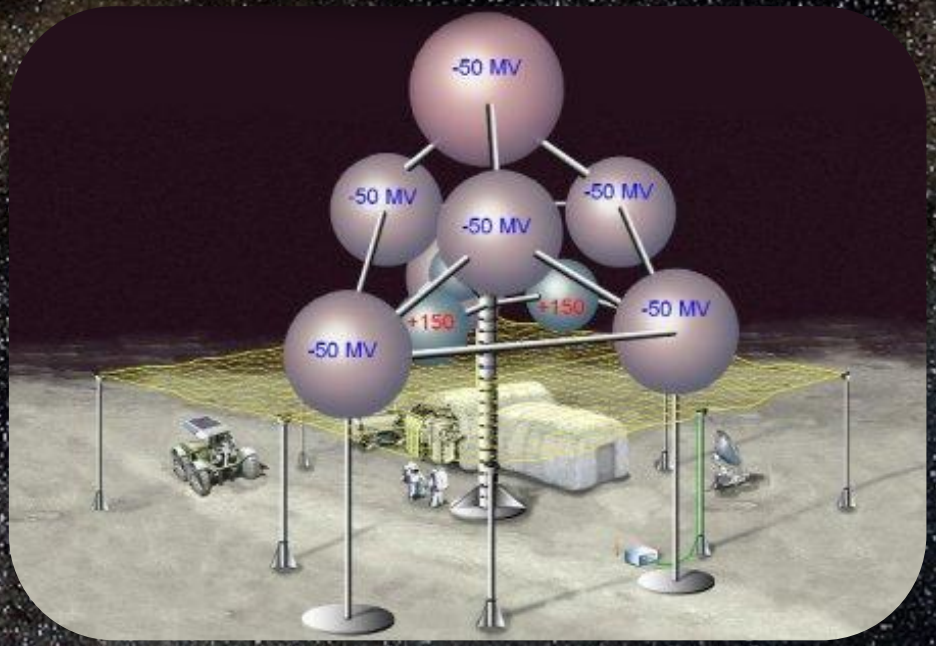


Earth Radiation Belts

(Vernov - van Allen Belts)


Solar wind (H)
10
0
-10
lg I
Radiation belts
Solar
energetic
particles
Galactic and extragalactic
cosmic rays (H)
1keV/n
1 MeVn
1 GeVn
1 TeVn
lg E (eV/nucl)
3
6
9
12

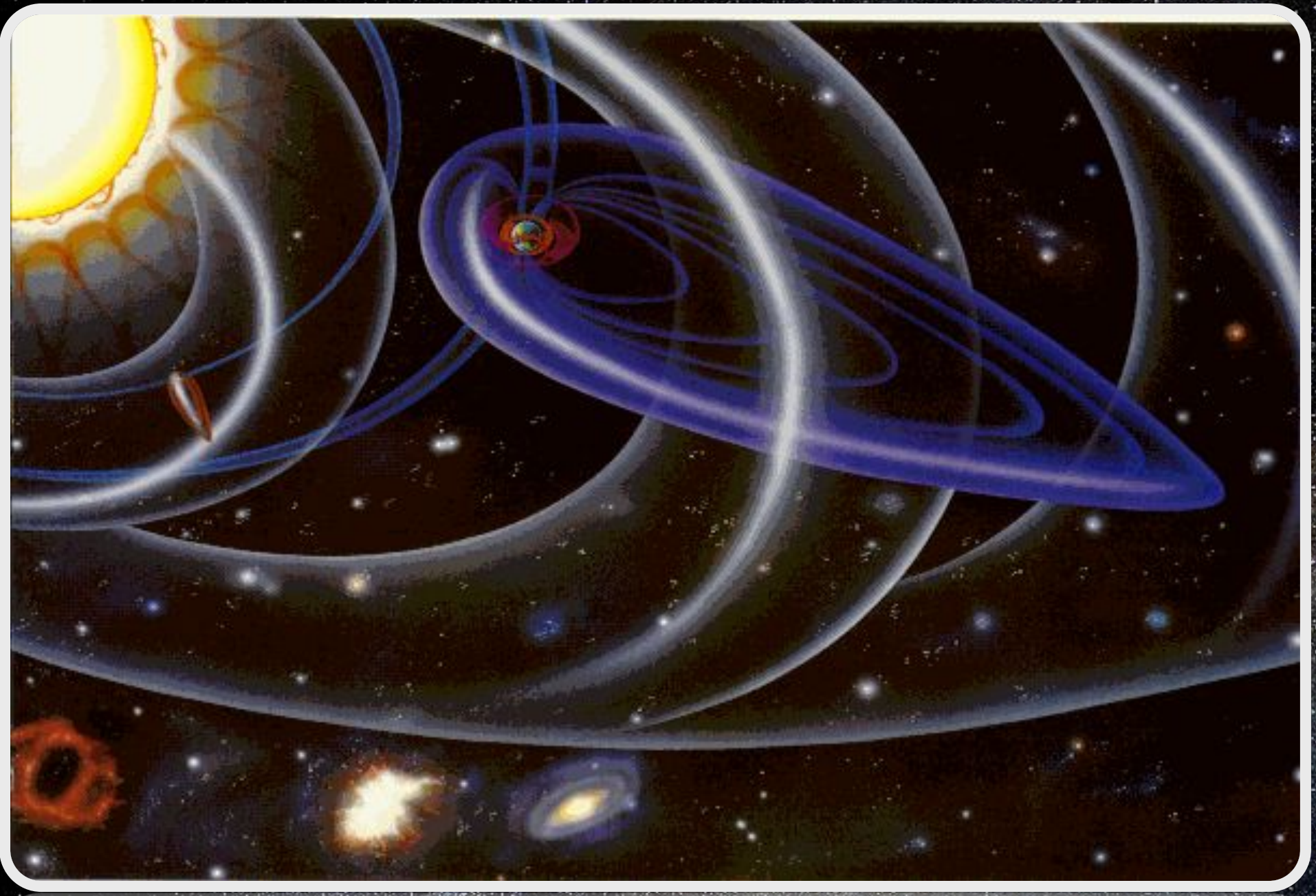

C RADIATION
ver milions of years, distant, exploding tars eject matter at high speeds.
Some ions in this matter are accelerated to early the speed of light, moving so fast hey are stripped of their electrons.
When these cosmic rays, mostly rotons, hit a standing nucleus, they roduce a shower of fast secondary articles, which may in turn produce urther cascades of particles.
COSMIC RAY
CASCADE
LIQUID HYDROGEN
COSMIC RAY
Conceptual drawing
CREW QUARTERS
LIQUID HYDROGEN TANKS
ROGEN SHIELDING
LIGHTER IS BETTER
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 cosmic rays.

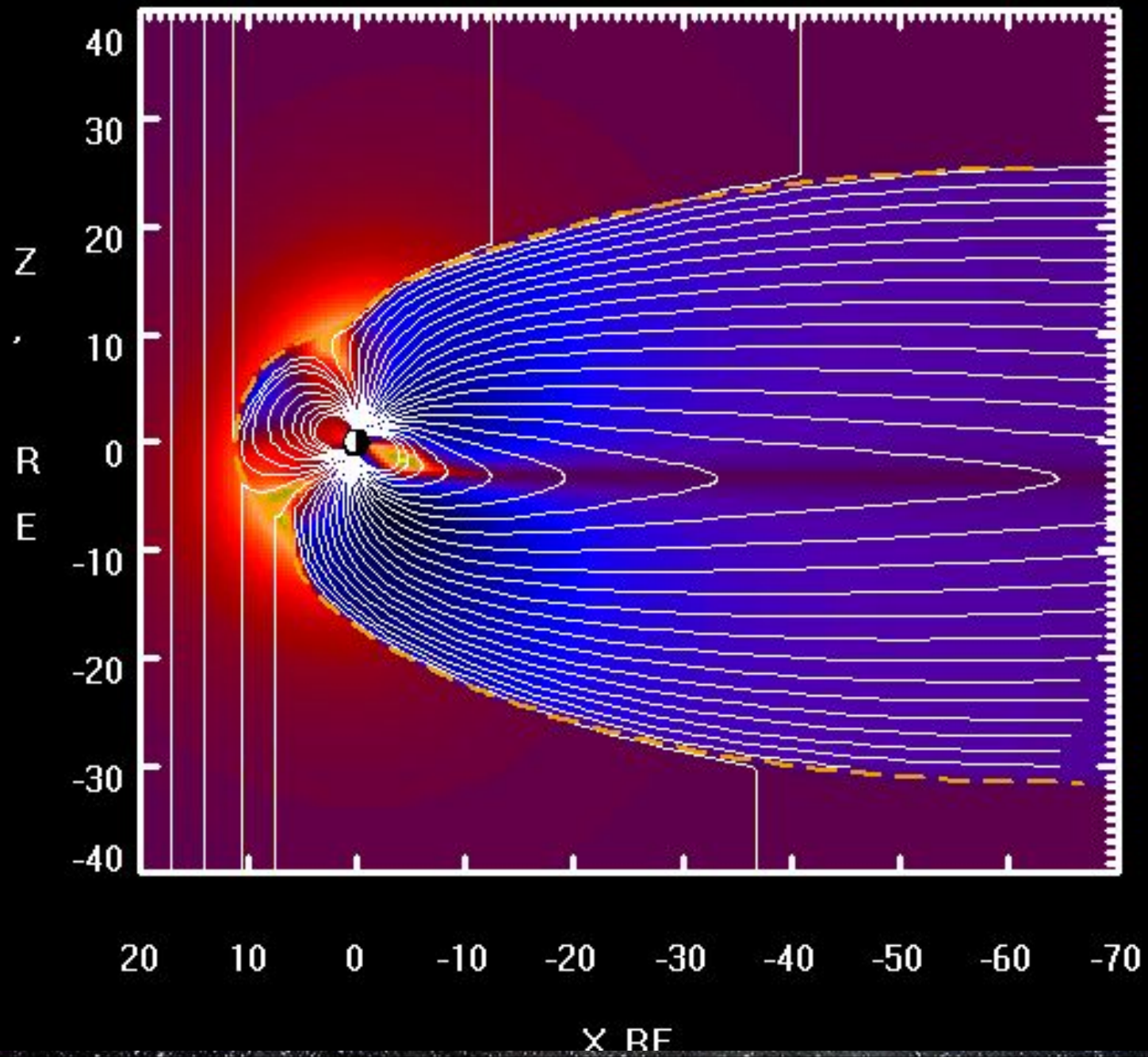

-50 MV
-50 MV
-50 MV
-50 MV
+150
+150
-50 MV
-50 MV

ЧТО защищает нас на Земле?

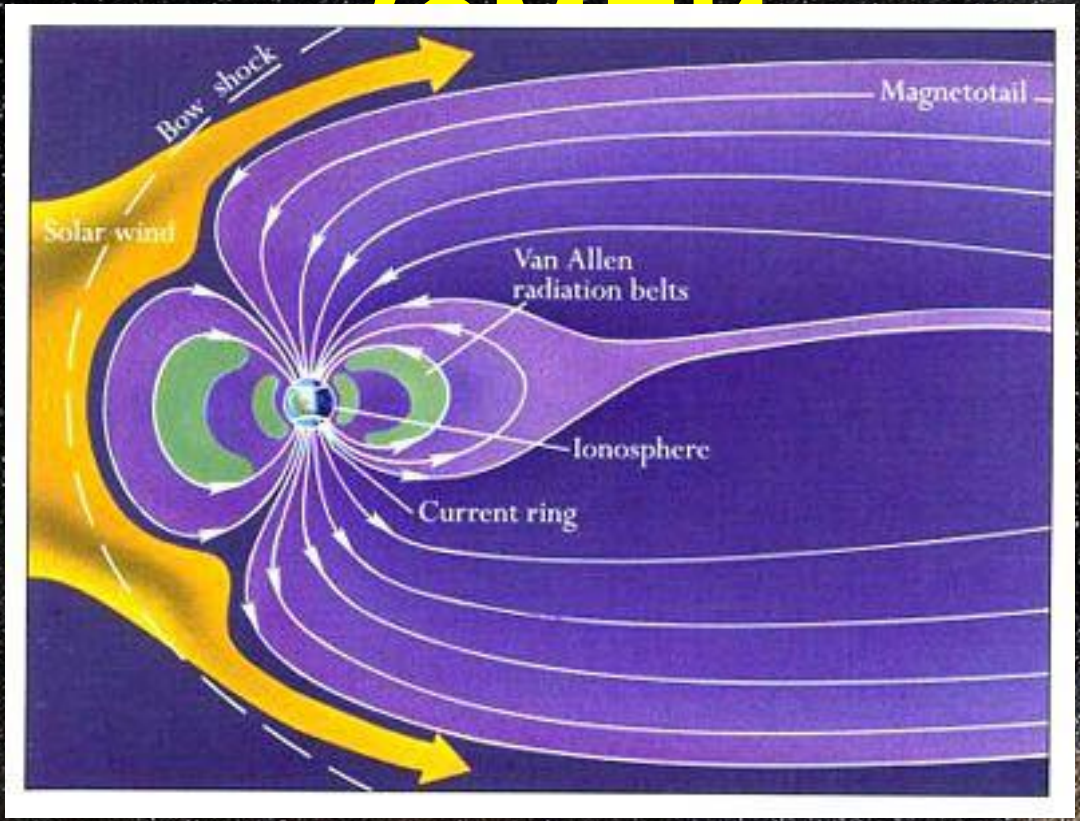
ЧТО
защищает нас на
Земле?

Магнитосфера
и атмосфера
Земли




40
30
20
10
0
-10
-20
-30
-40
Z
,
R
E
20
10
0
-10
-20
-30
-40
-50
-60
-70
X RE

Магнитосфера Земли



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

Граница магнитосферы: 10-13 $R_\oplus$ на дневной стороне и 10^3 $R_\oplus$ на ночной (хвост магнитосферы), диаметр ≈40 $R_\oplus$.

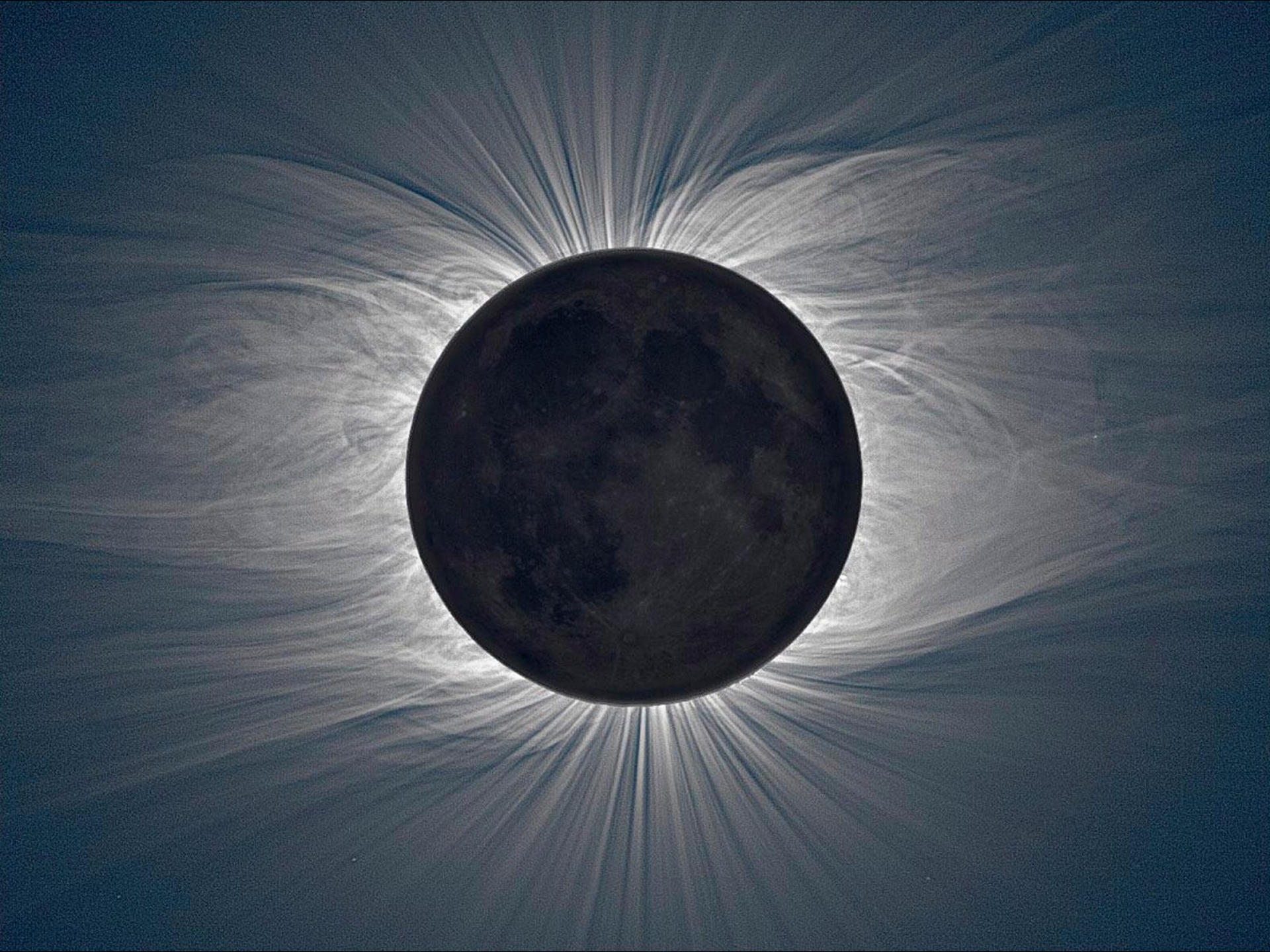
Каковы источники:

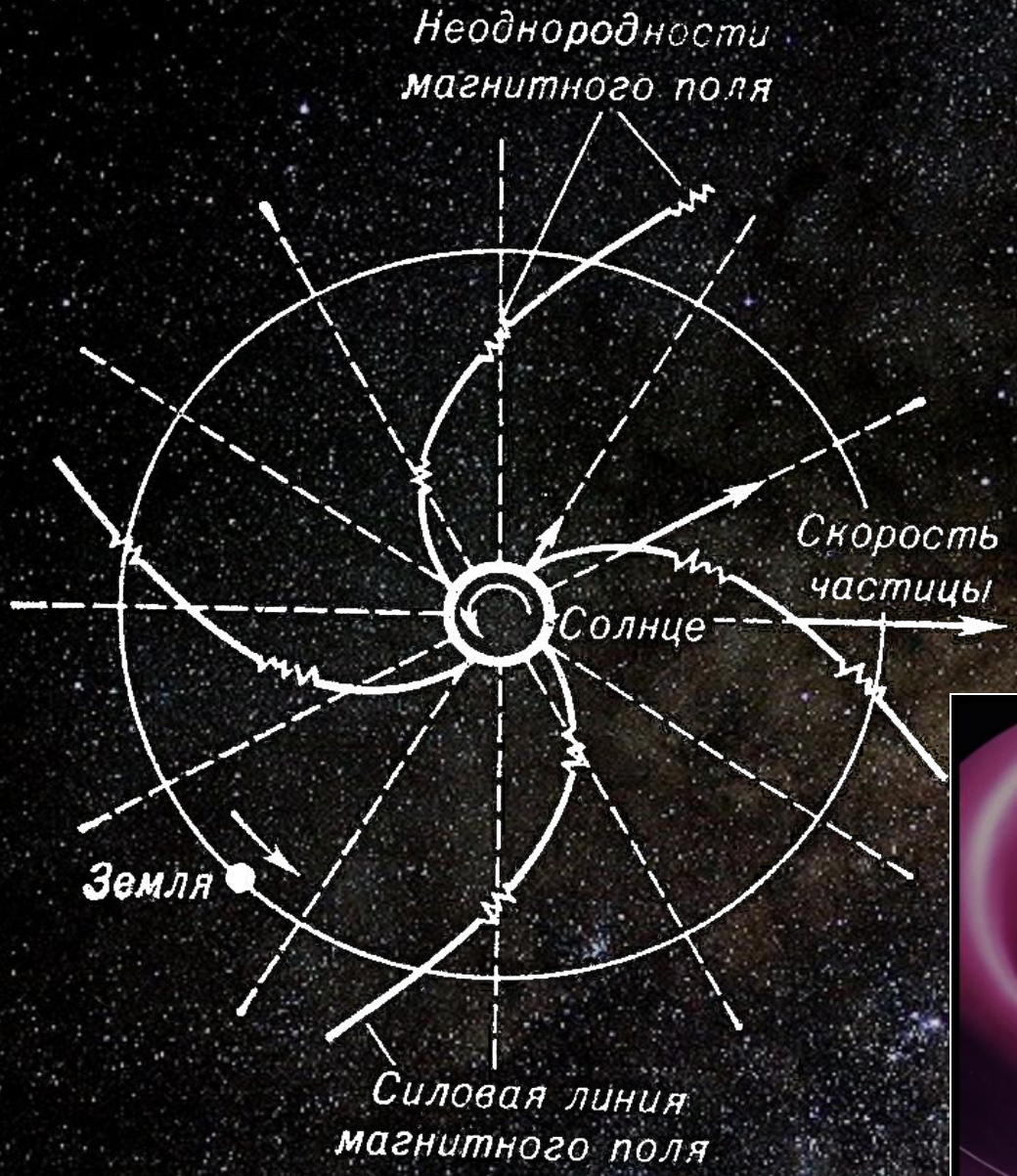
- солнечных космических лучей;
- изменений геомагнитного поля;
- модуляции галлактических космических лучей

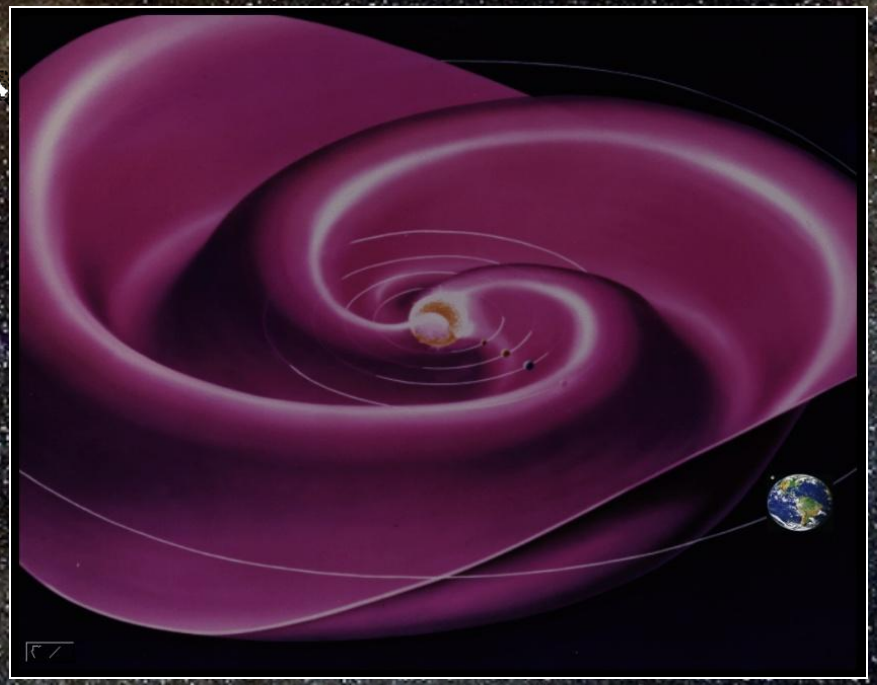
Что вызывает изменения космической погоды?

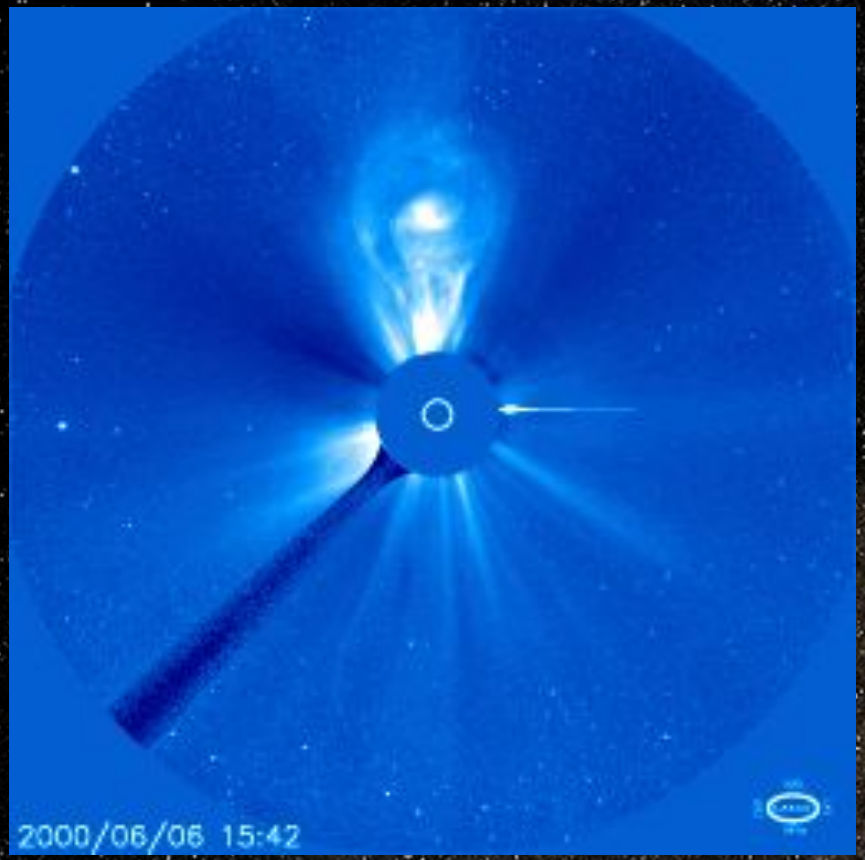
Что вызывает изменения космической погоды?

СОЛНЦЕ
и
СОЛНЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ



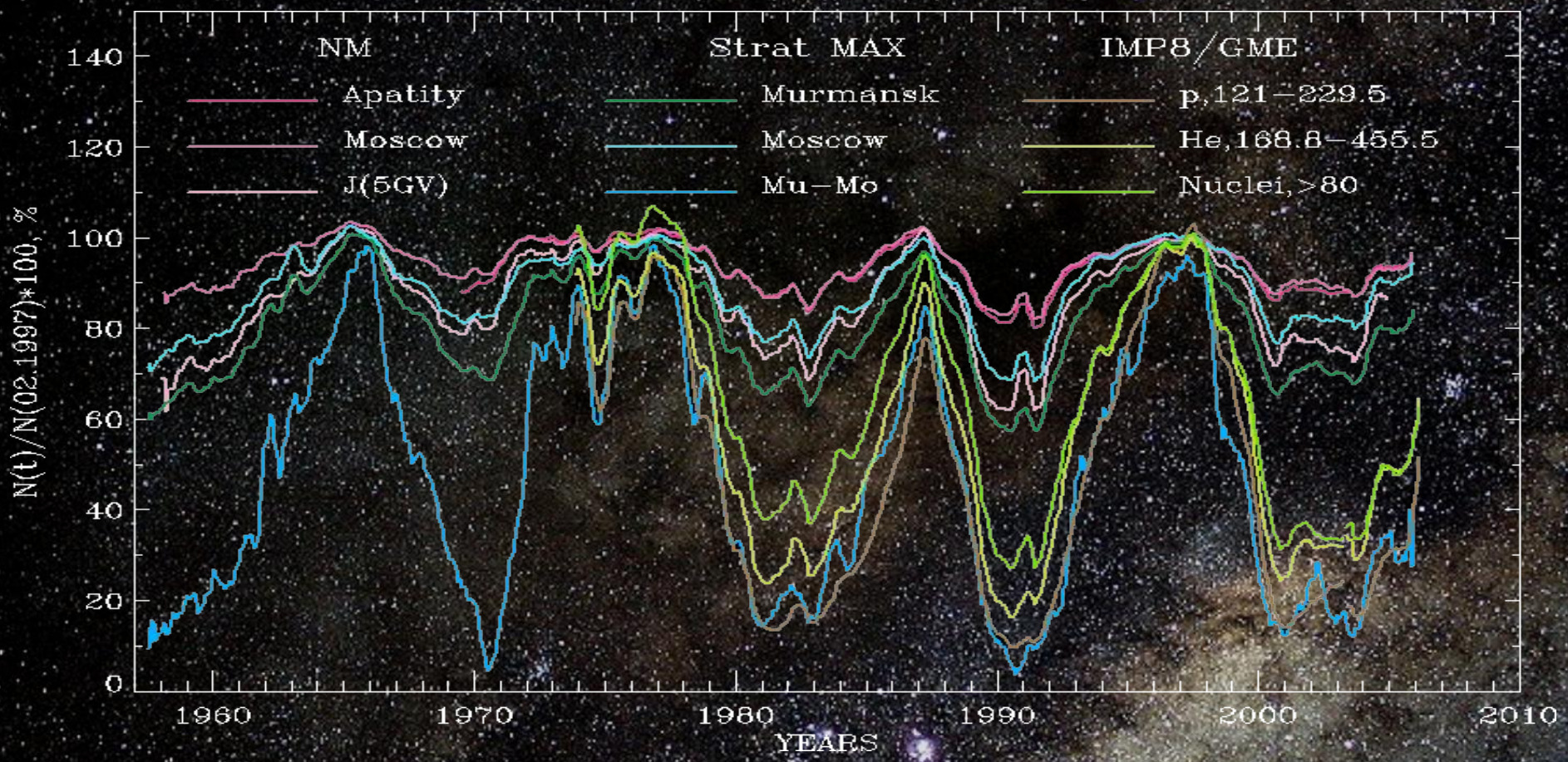

Неоднородности
магнитного поля
Скорость
частицы
Солнце
Земля
Силовая линия
магнитного поля





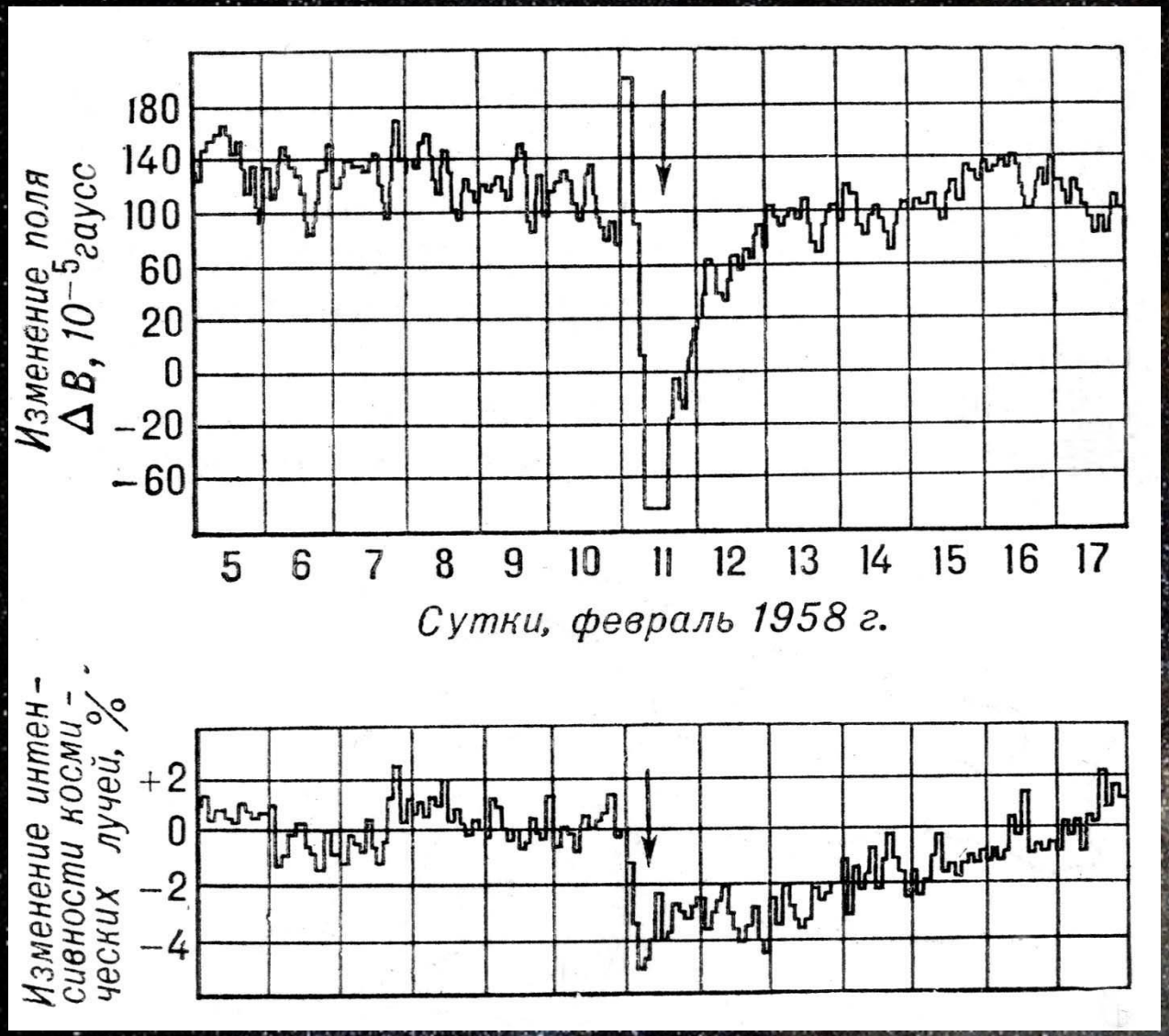
Корональные выбросы массы (КВМ, CME) – струи и облака солнечной плазмы, движущиеся со скоростью до 1000 км/с и обычно наблюдаемые плсде мощных солнечных вспышек

Forbush-effect



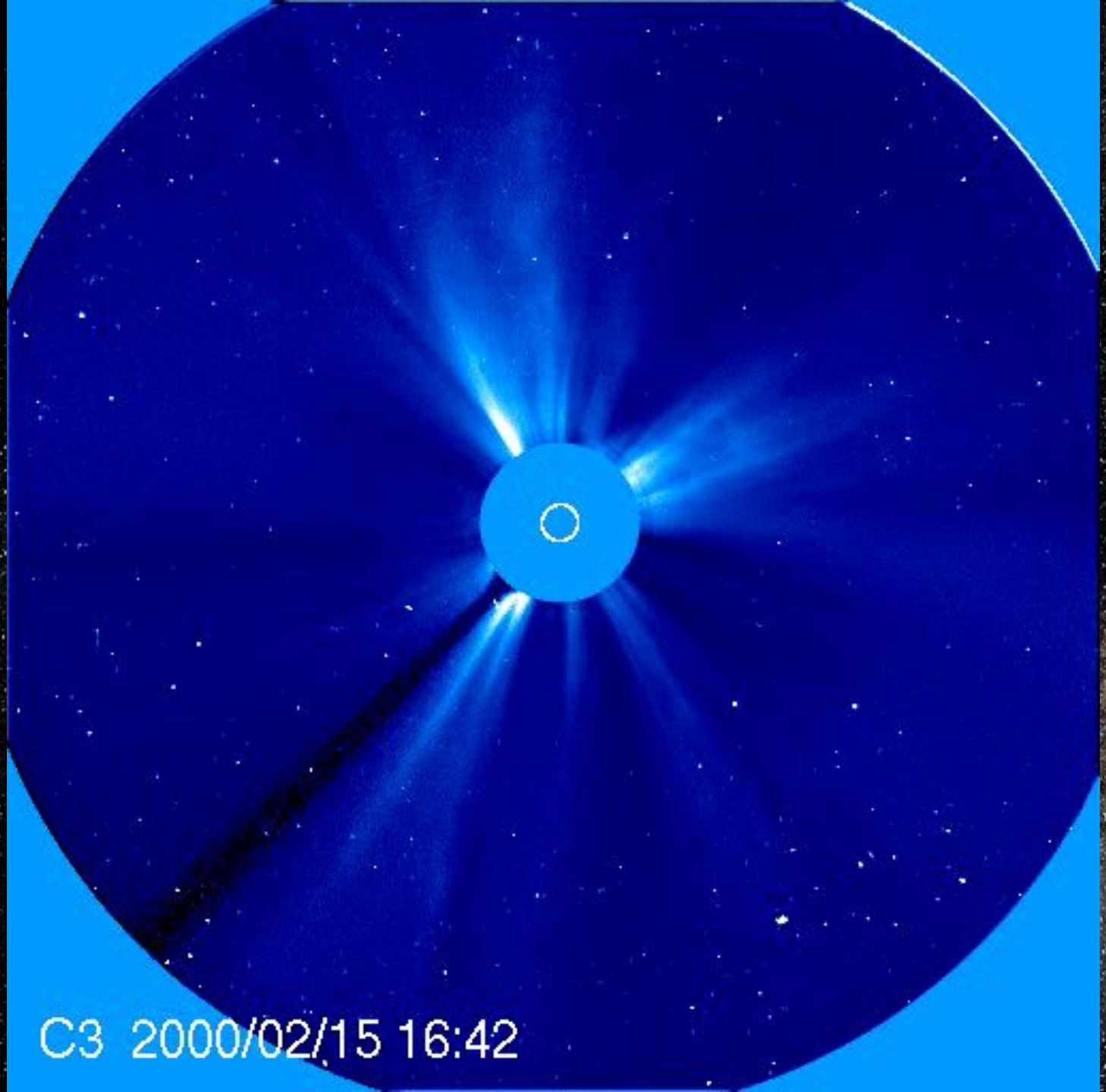
Уменьшение потока ГКЛ в результате увеличения рассеяния (отклонения) ГКЛ на неоднородностях ММП, уносимого солнечным ветром от Солнца

Forbush-effect



Solar plasma flow influences the Earth magnetosphere.

Simultaneously, the intensity of GCR decreases.

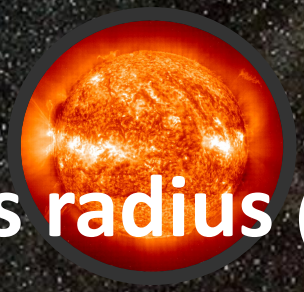

C3 2000/02/15 16:42

Solar constant: $'m^2$

Radius of 1 a.u.: n

Total solar energy emission: $3.84*10^{26}$ Wt

Solar radius: $6.96*10^{8}$ m



Solar nucleus radius (0.2 solar radius): $1.39*10^{8}$ m

Solar nucleus volume: $1.13*10^{25}$ m^3

Average energy emission

of 1 m^3 of the solar nucleus matter: **34.10**

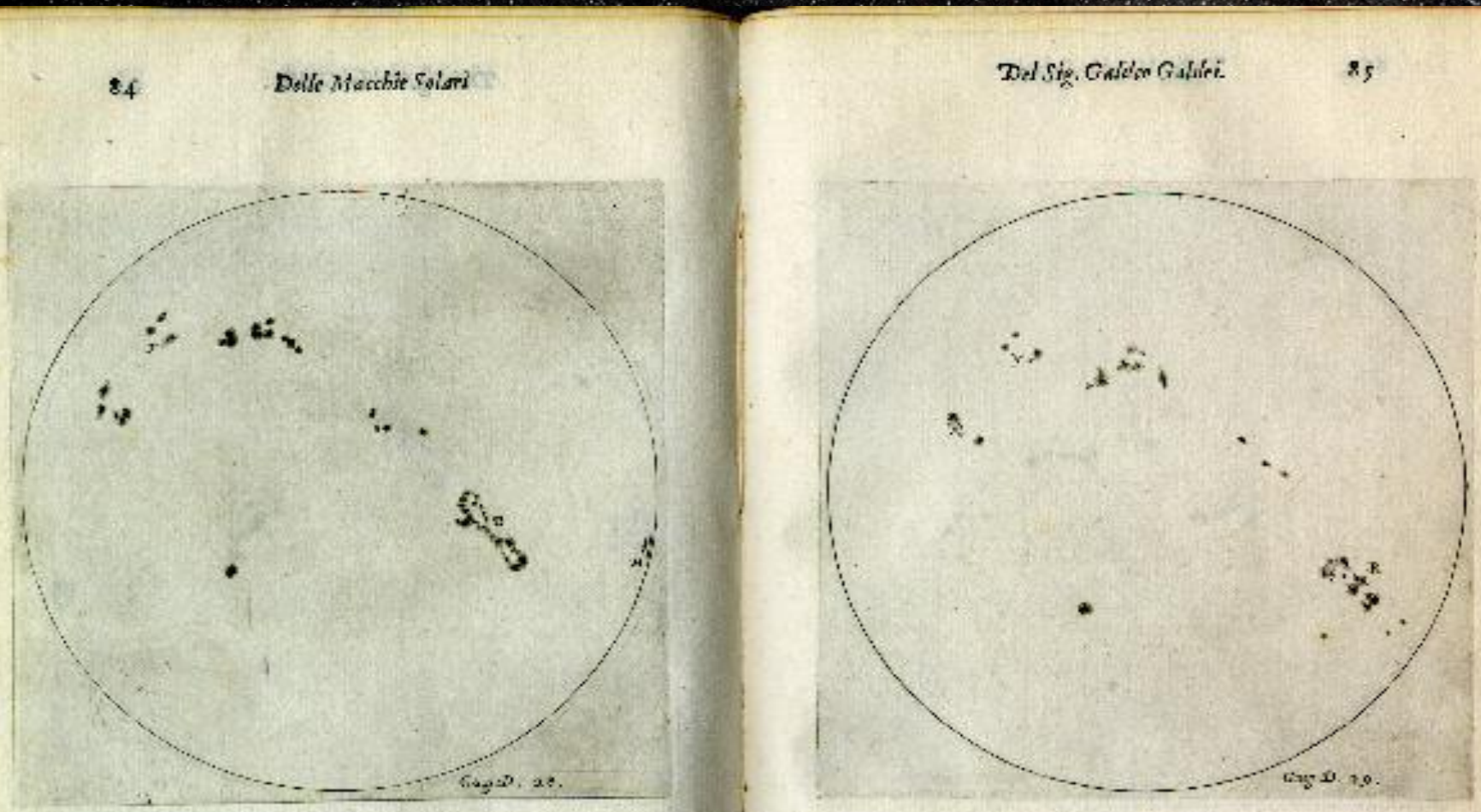
Wt/m^3

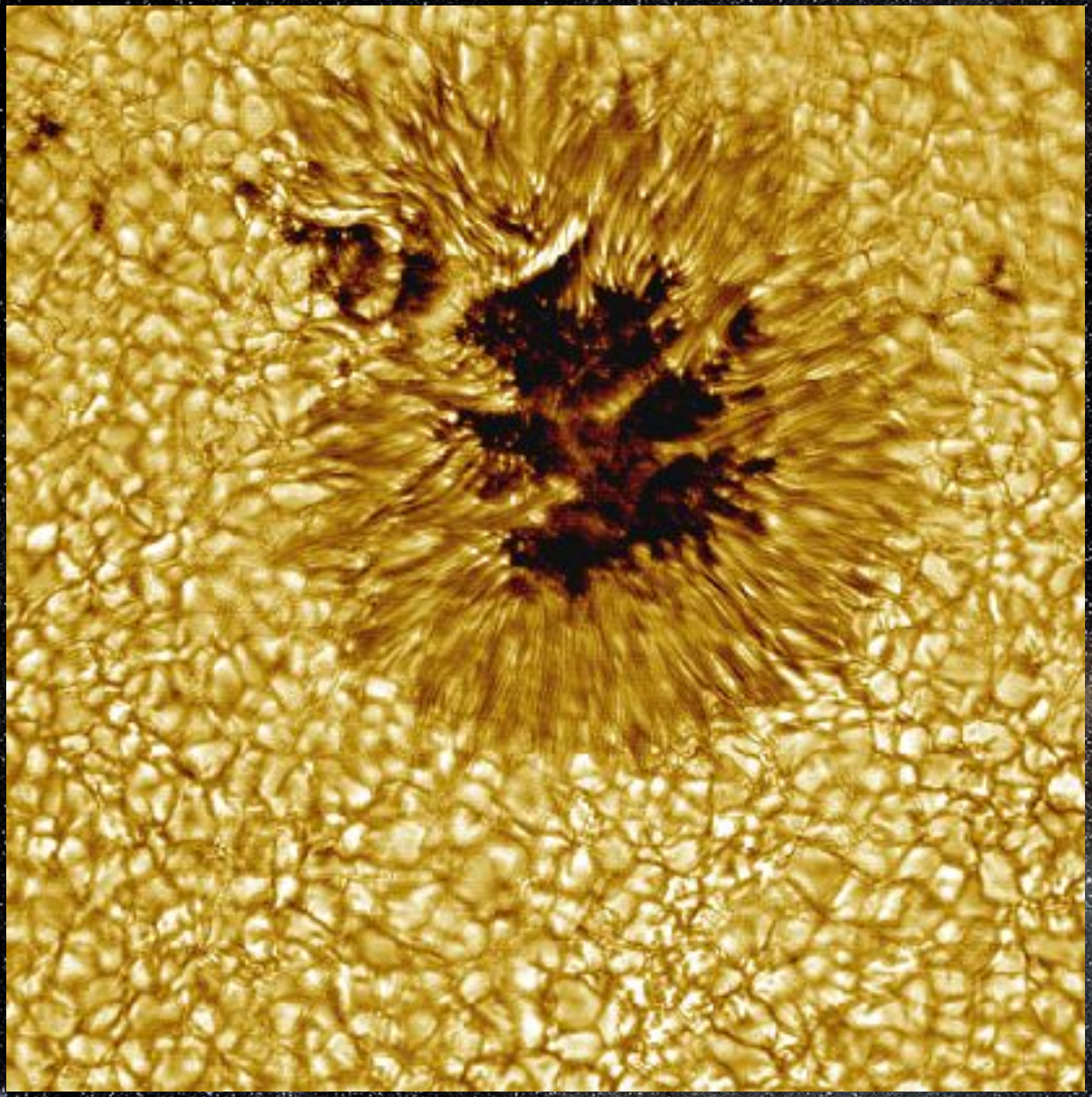
Galileo Galilei (1564 – 1642)

ISTORIA
E DIMOSTRAZIONI
INTORNO ALLE MACCHIE SOLARI
E LORO ACCIDENTI
COMPRESE IN TRE LETTERE SCRITTE
ALL'ILLVSTRISSIMO SIGNOR
MARCO VELSERI LINCEO
DVVMVIRO D'AVGVSTA
CONSIGLIERO DI SVA MAESTA CESAREA
DAL SIGNOR
GALILEO GALILEI LINCEO
Nobil Fiorentino, Filosofo, e Matematico Primario del Serenissi.
D. COSIMO II. GRAN DVCA DI TOSCANA.
Si aggiungono nel fine le Lettere, e Disquisizioni del finto Apelle.

IN ROMA, Appresso Giacomo Mascardi. MDCXIII.
CON LICENZA DE SVPERIORI.

Sunspot group sketches by Galileo (Aug, 1611)





The relative number of sunspots –

Wolf number

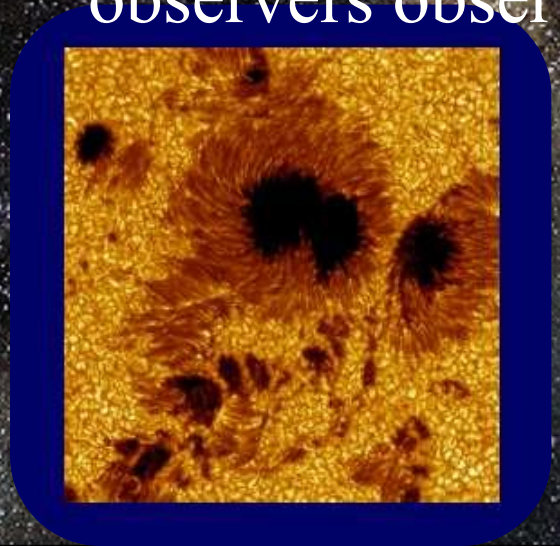
is the main index of solar activity

$$W = k(f + 10g)$$

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,

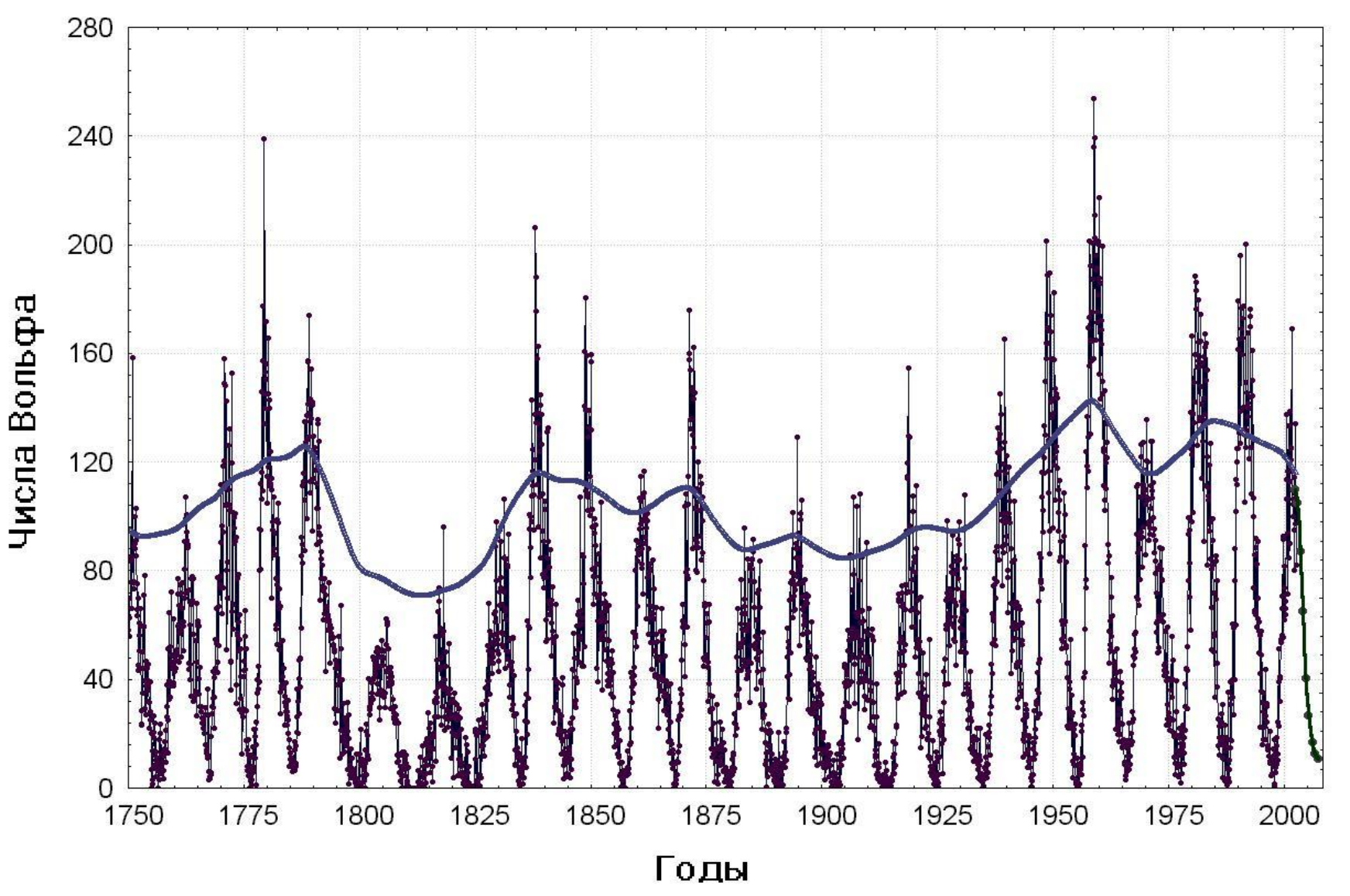
k – the standardizing coefficient for unification of particular observers observations

Looks strange?

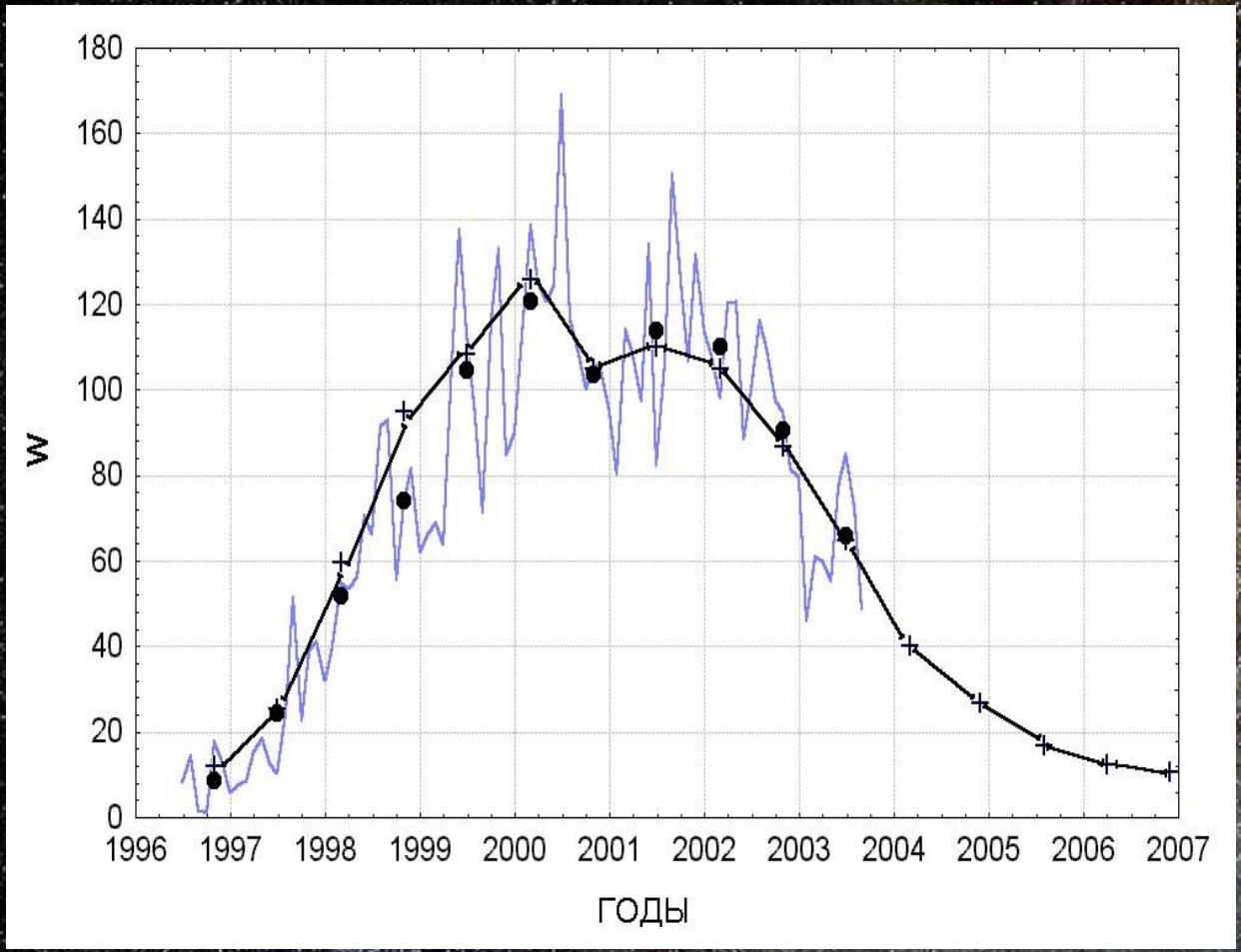
But long!

(since 1749)

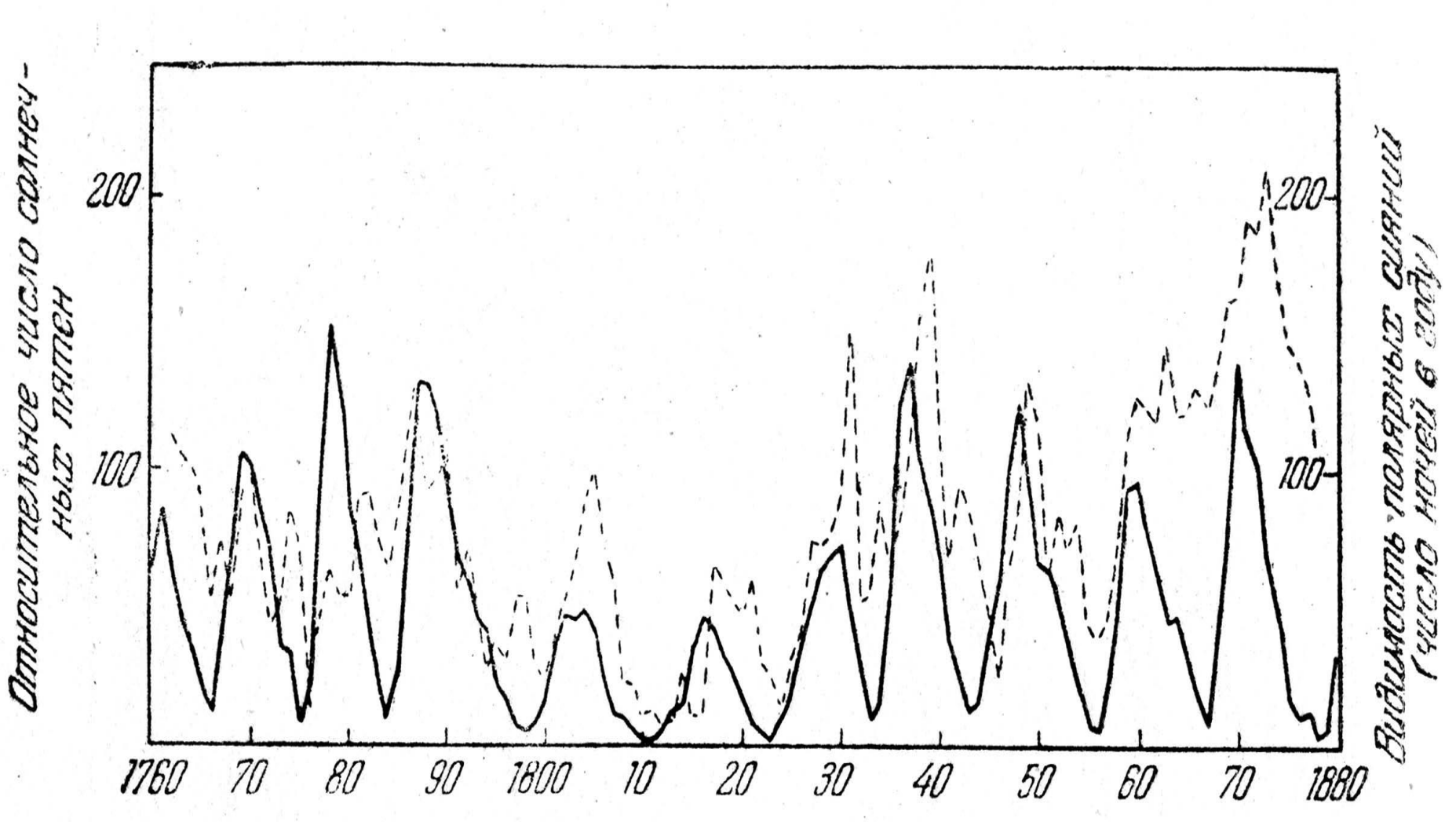
Solar activity cyclicity



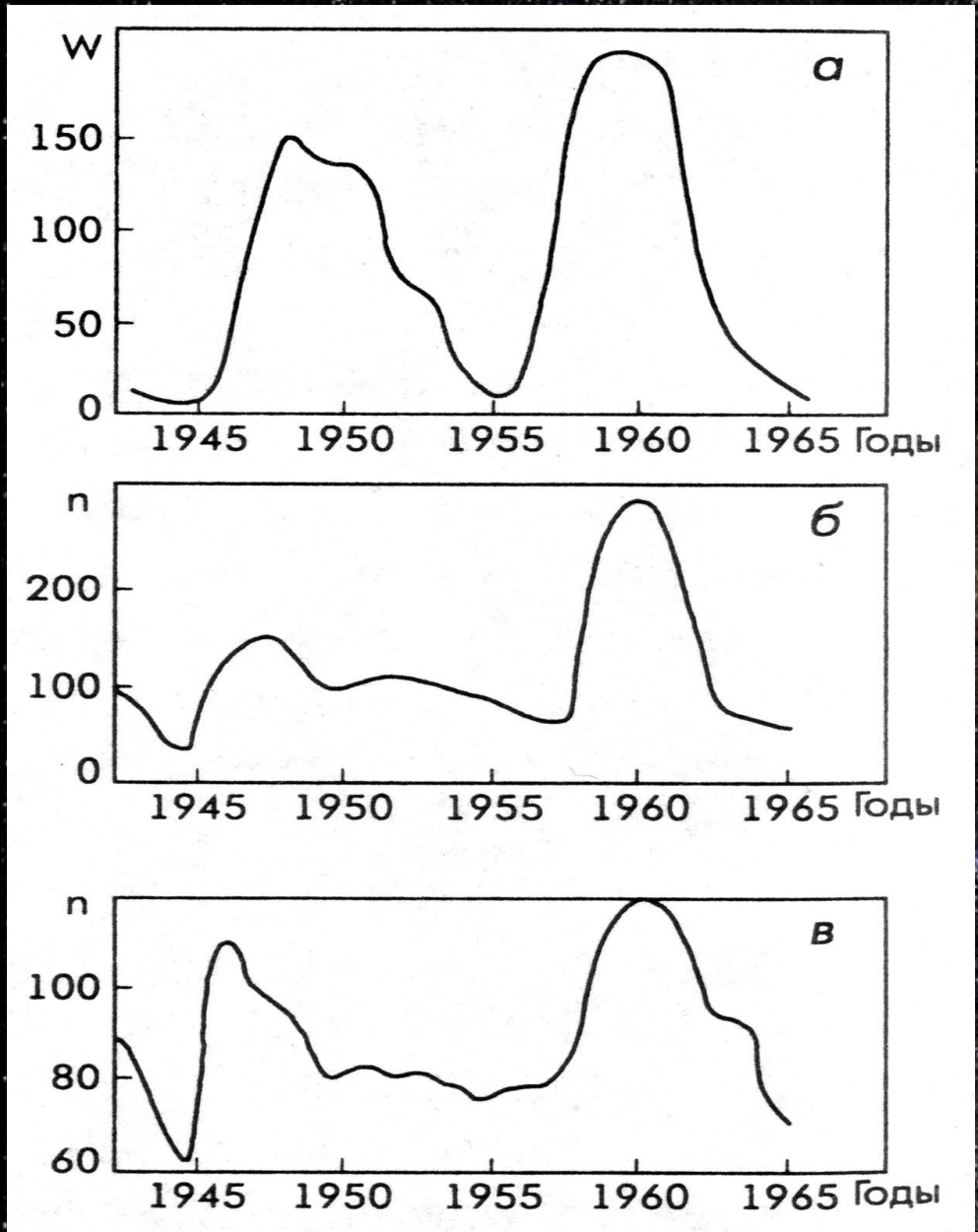
Typical structure of solar cycle



Solar activity and Aurora borealis



Solar activity and traffic accidents

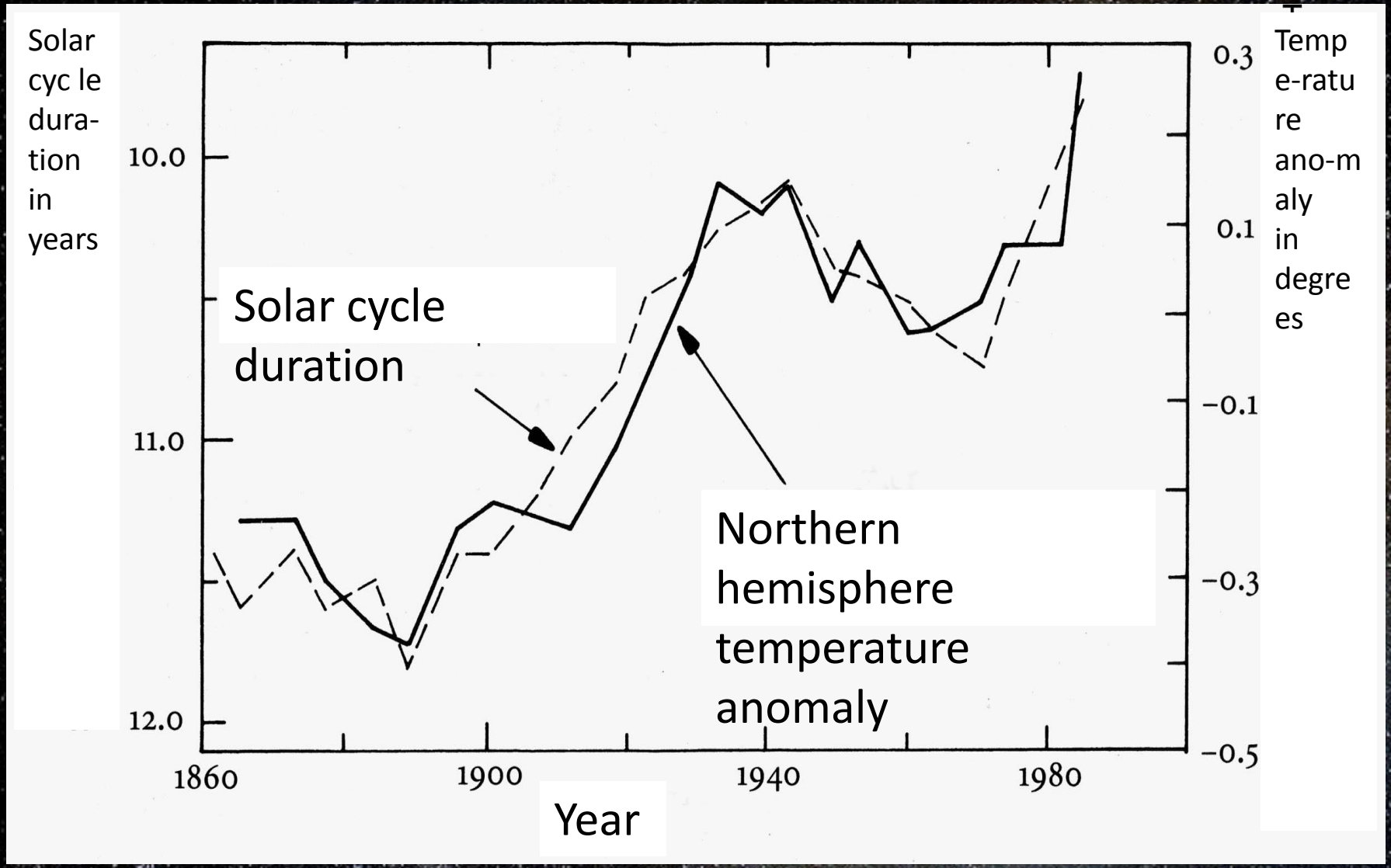


Wolf numbers for Solar activity.

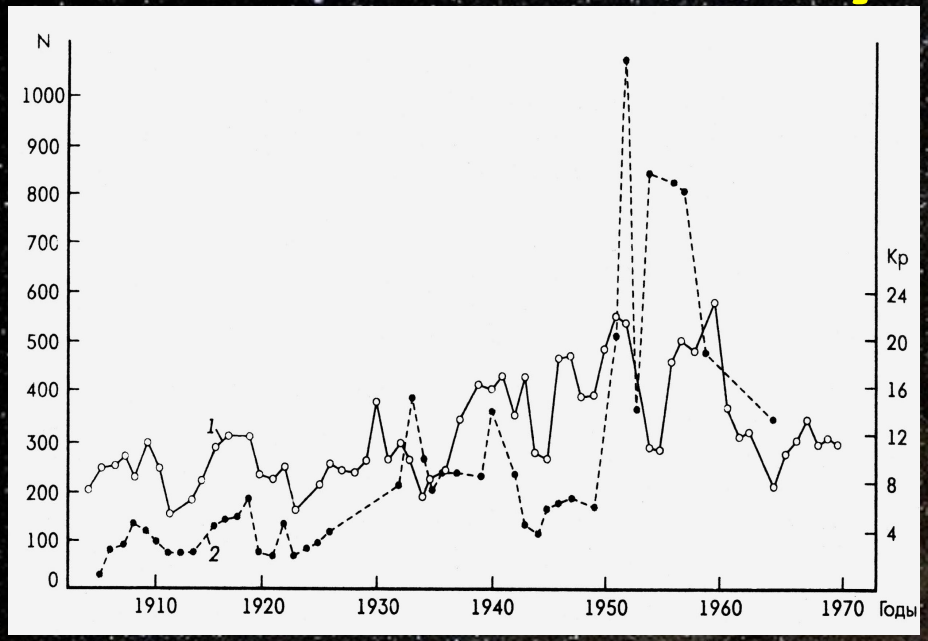
Number of traffic accidents per 100 auto all around Japan.

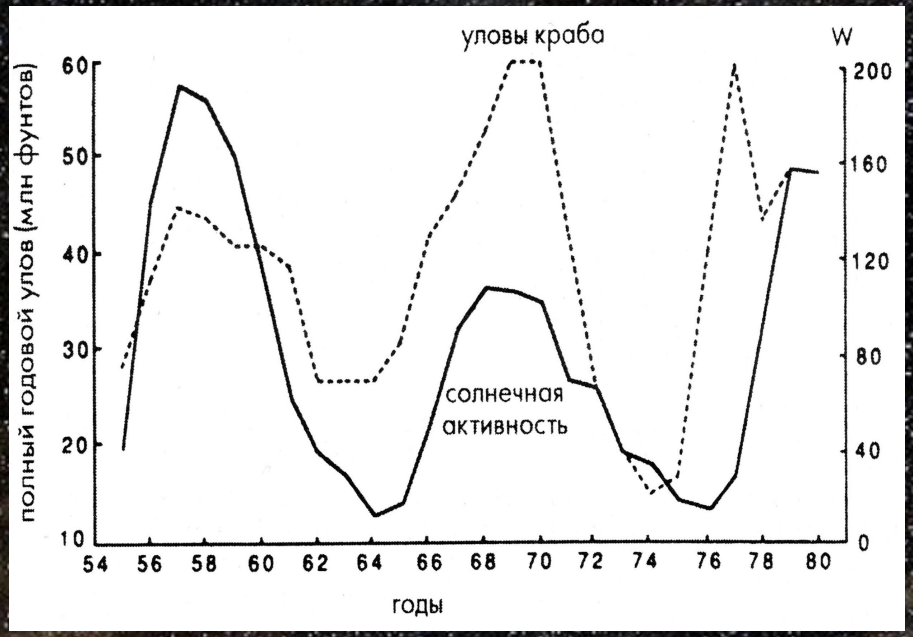
Number of traffic accidents per 100 auto for Tokyo city only.

Solar activity and Earth temperature variations



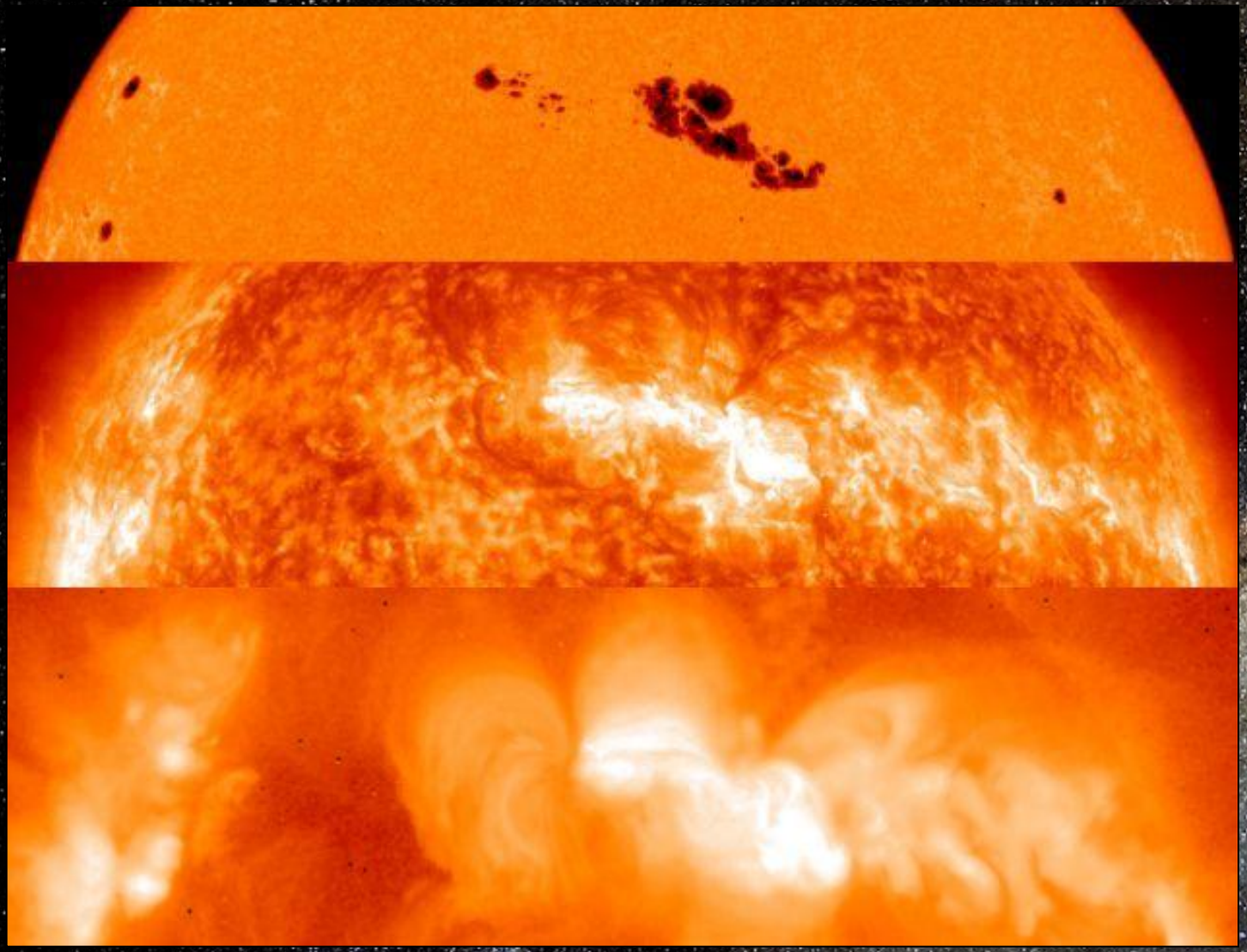
Solar activity and fish catch





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

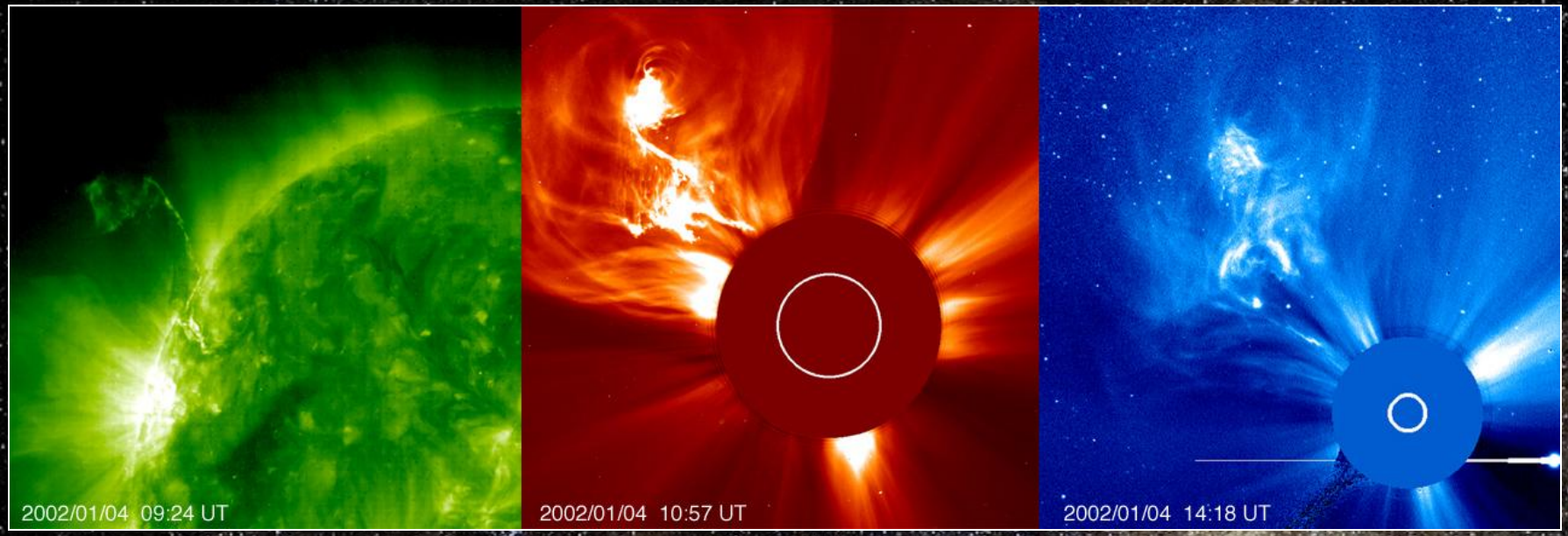
chromosphere

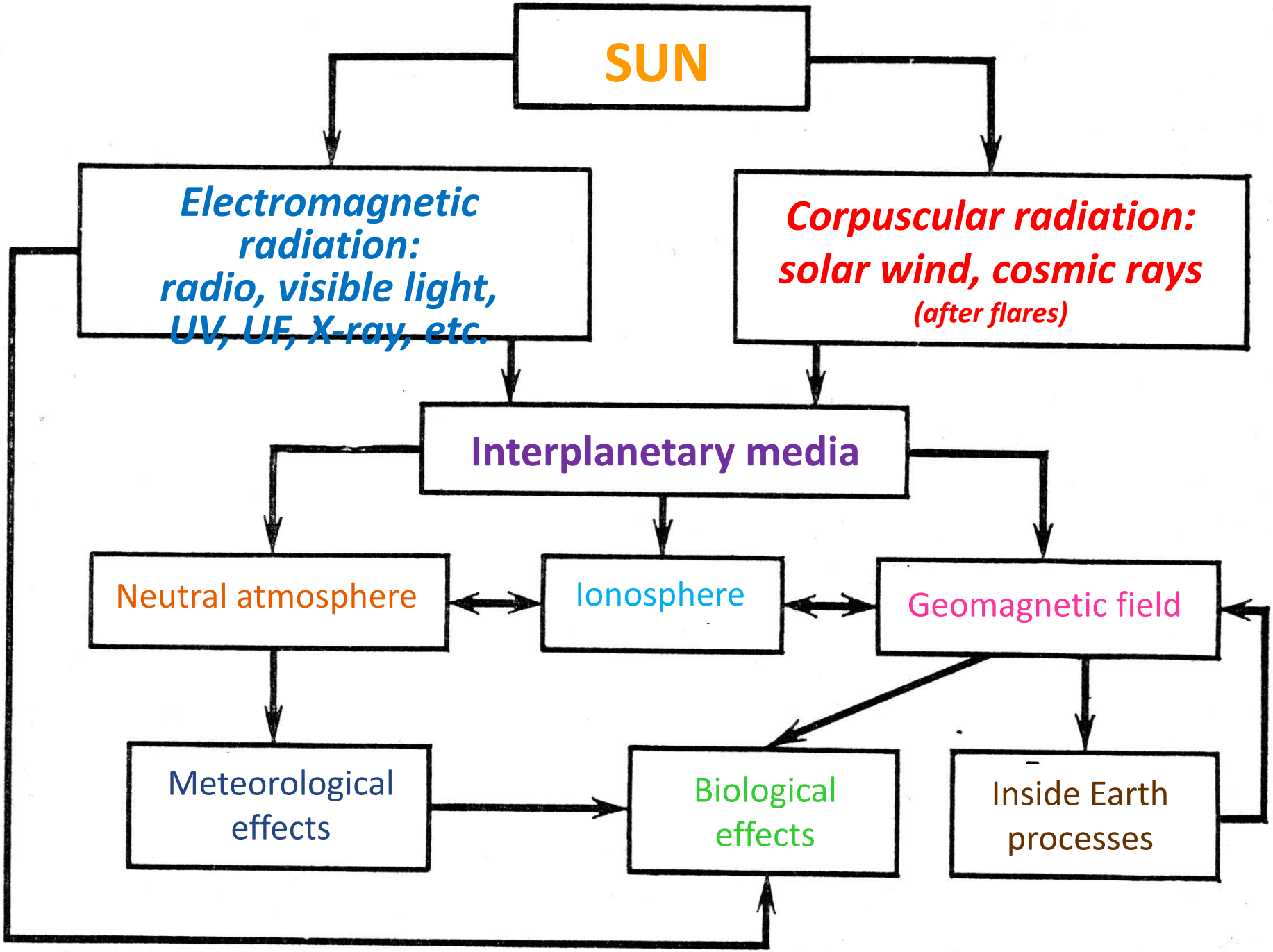
corona

Solar flares and Coronal Mass Ejections

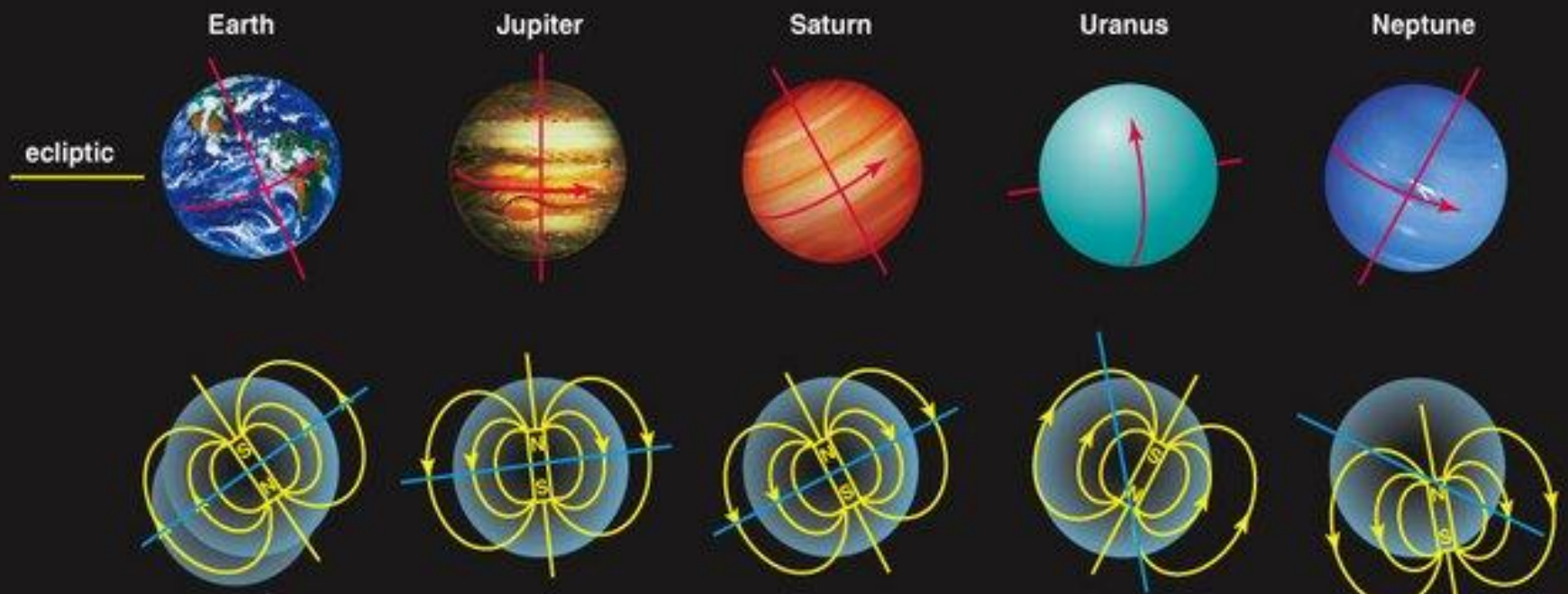
1998-Mar-20
02:00:44

Limb flares and CME




SUN
Electromagnetic radiation: radio, visible light, UV, UF, X-ray, etc.
Corpuscular radiation: solar wind, cosmic rays (after flares)
Interplanetary media
Neutral atmosphere
Ionosphere
Geomagnetic field
Meteorological effects
Biological effects
Inside Earth processes

Solar system celestial bodies magnetic fields



	Earth	Jupiter	Saturn	Uranus	Neptune
Tilt of rotation axis	23°	3°	27°	98°	30°
Tilt of magnetic axis	12°	−10°	−0°	−59°	−47°
Offset of magnetic axis	8%	10%	5%	31%	55%
Field at equator	31,000 nT	428,000 nT	22,000 nT	23,000 nT	13,000 nT
Magnetosphere	10 R_{Earth}	65 $R_{Jupiter}$	20 R_{Saturn}	18 R_{Uranus}	25 $R_{Neptune}$

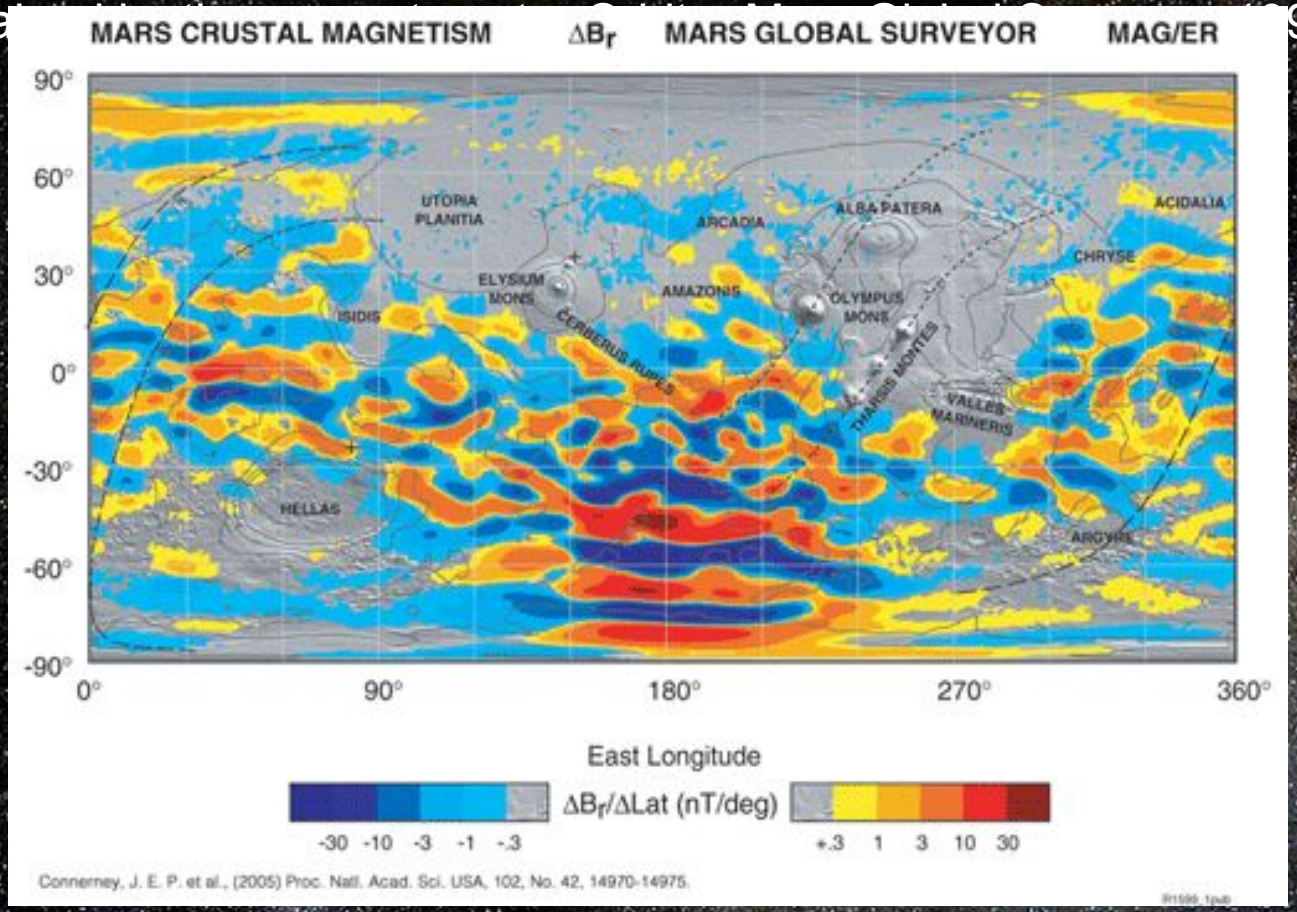
© 2007 Thomson Higher Education

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

(data obta 99-2006)



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 ~10^3–10^{21} 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.

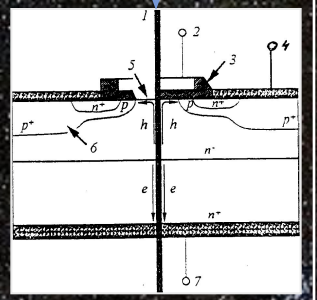
- Dose effects are manifisted in a gradual degradation of materials.
- The effects caused by individualcharged particles are dangerous first of all for the elements of modern microelectronics, and occur immediately after exposure.

Spacecraft interaction with environment

Space factors effects on spacecraft

individual particle effects

GCR

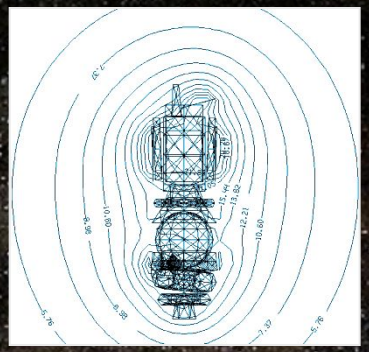


SCR, RB

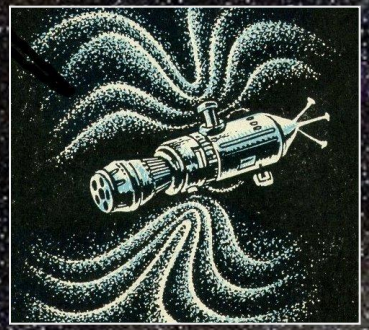
radiation danger an damage

Local effects

Electrization

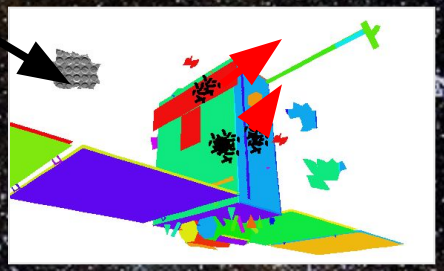


Spacecraft own external atmosphere



Effects of spacecraft on

Space debris



Effects of rocket engine on Earth upper atmosphere and ionosphere

What for

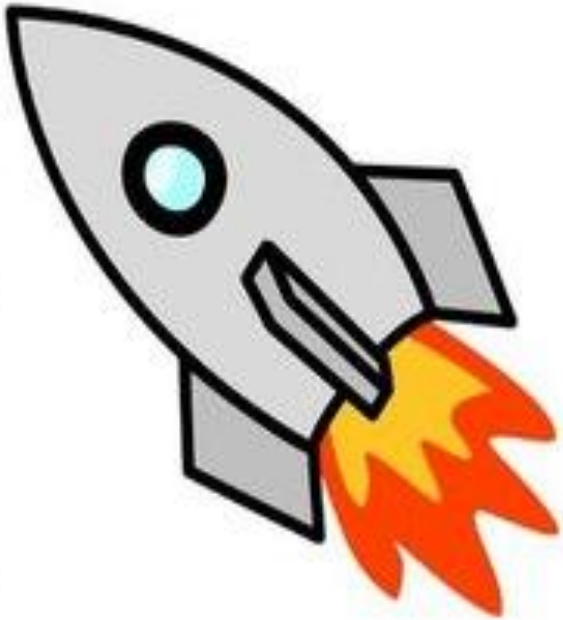
would man fly to Moon, Mars, etc.

? ? ?

YANKEE GO HOME!
MARS FOR MARTIANS
SPIRIT
bestwallpapers.net.ru

Your mobile phone has more computing power than all of NASA in 1969.

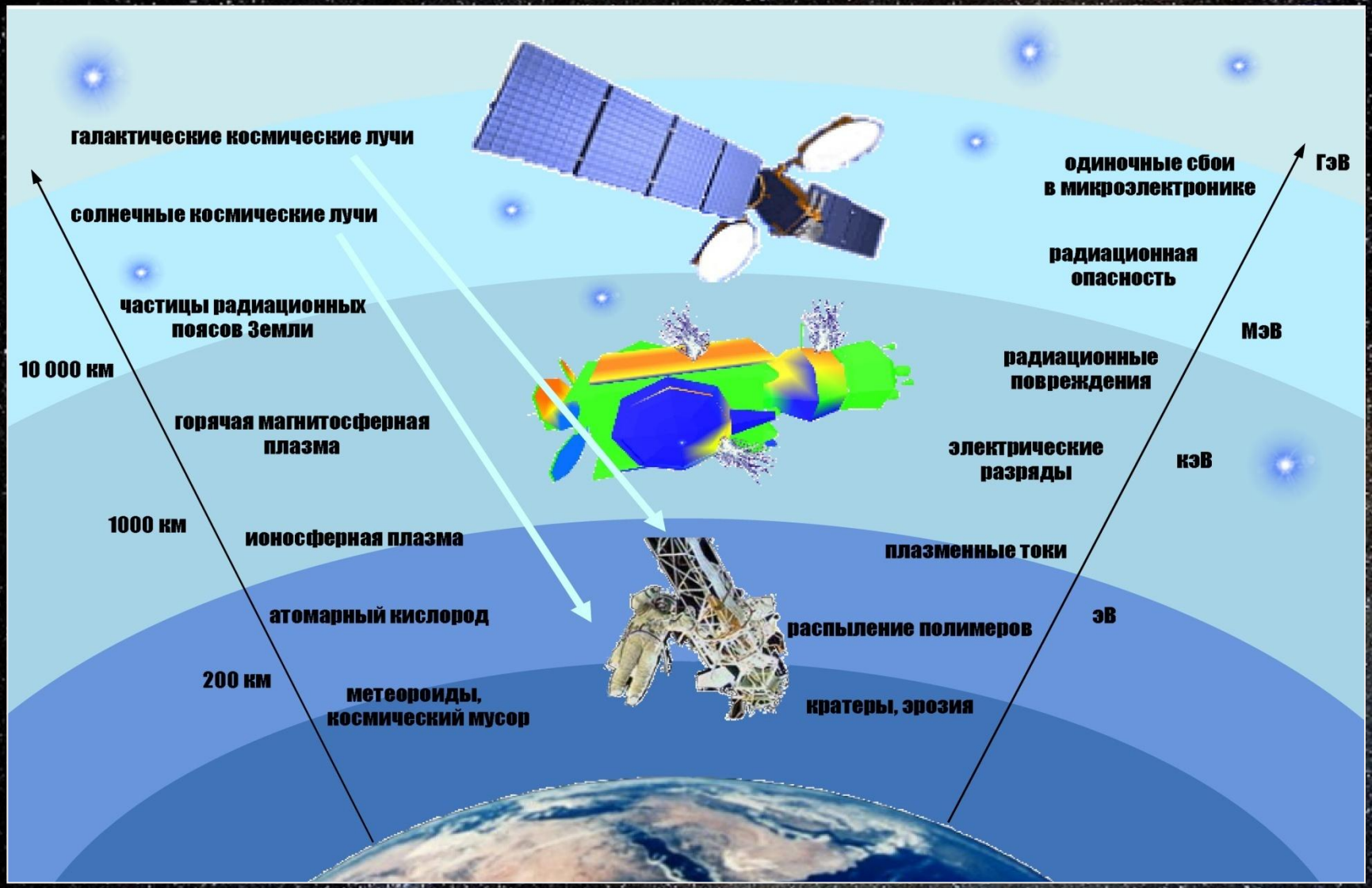
NASA launched a man to the moon. We launch a bird into pigs.



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

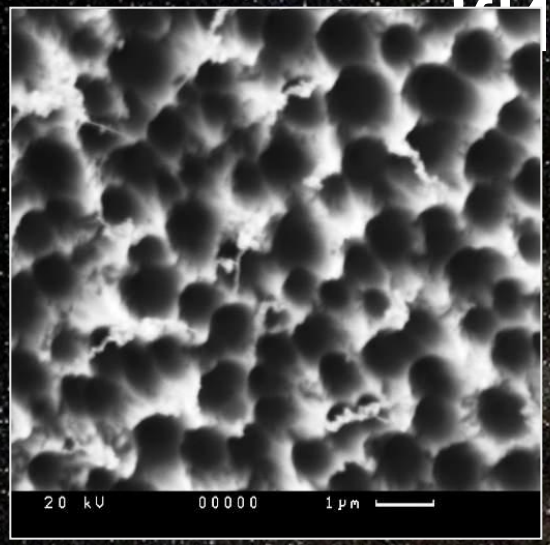
Richard P. Feynman

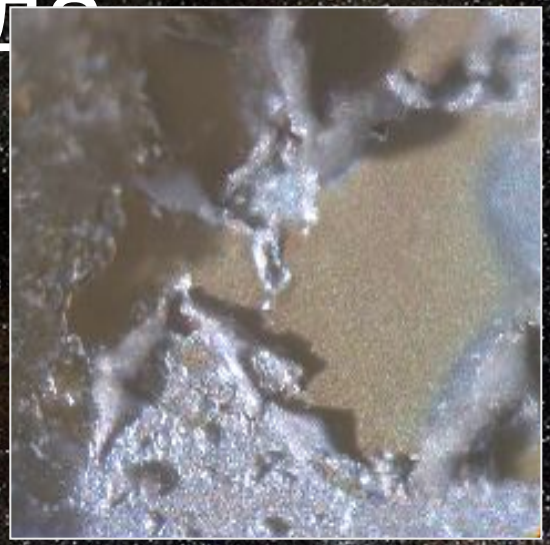
Outer space factors



ФКП
Эффекты
ГКЛ
СКЛ
РПЗ
Горячая плазма
Ионосферная плазма
Атомарный кислород
Метеороиды, космический мусор
ГэВ
МэВ
кэВ
эВ
Одиночные сбои в микроэлектроник
Радиационная опасность
Радиационные повреждения
Электростатические разряды
Токи утечки
Химическое распыление полимеров
Кратеры, эрозия

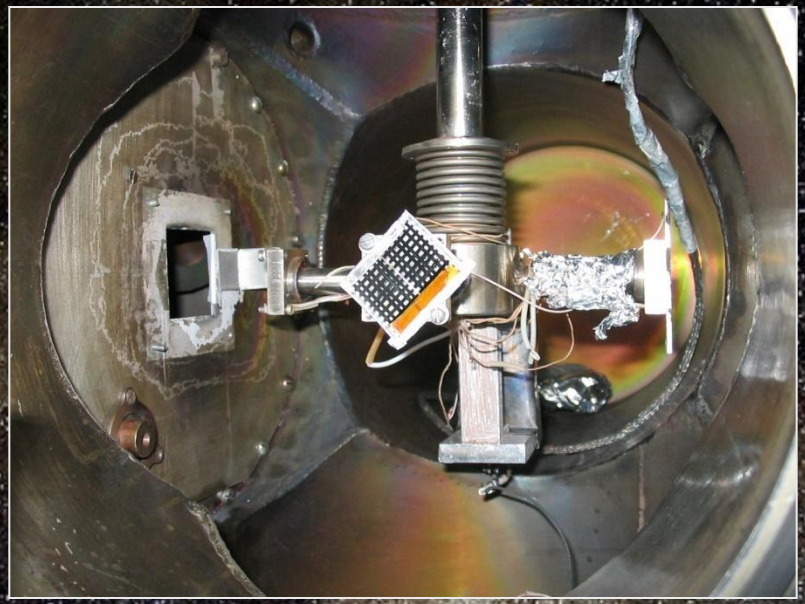
Структура материалов до и после воздействия атомарного кислорода





Плазменная струя и исследуемый образец в вакуумной камере

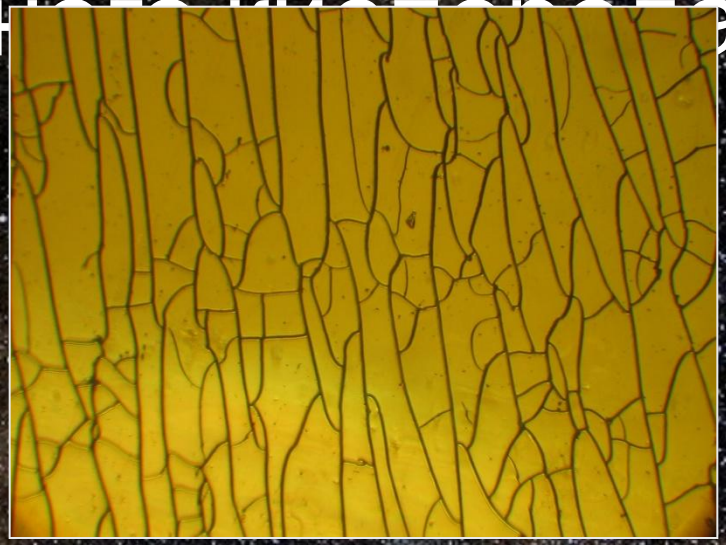
Струя плазмы, выходящая из ускорителя, фокусируется на поверхность исследуемого образца. Свечение струи зависит от состава и степени ионизации плазмы

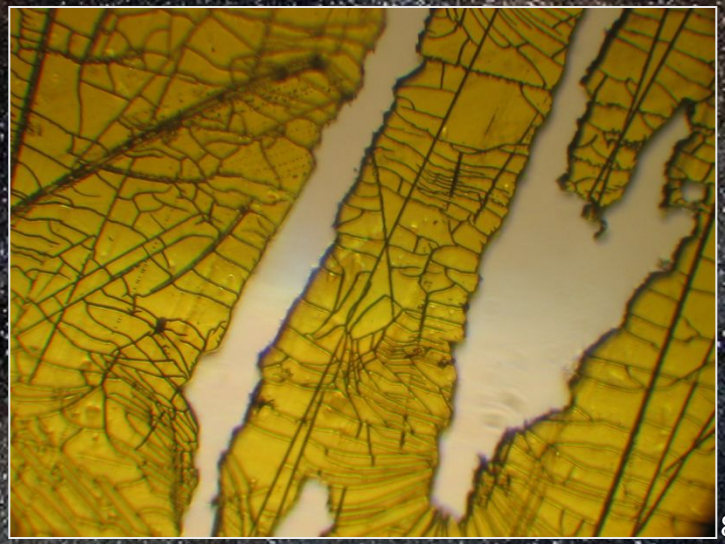


Исследуемый образец крепится на специальном держателе, обеспечивающем возможность его вращения в разных плоскостях и термостатирование

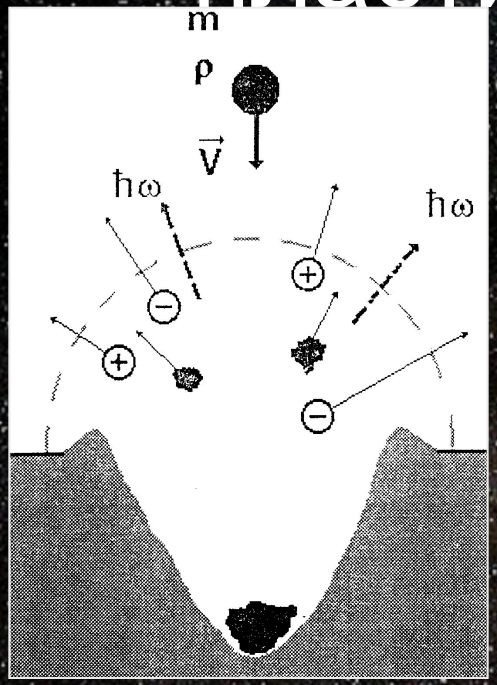
Характер повреждений тонкопленочного покрытия под действием атомарного кислорода

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



$$\frac{H}{d} = k\,\rho_{ч}^{\alpha}\,v^{\beta}$$

$k = 0{,}3 – 0{,}6;$

$\alpha = 1/3 – 1/2;$

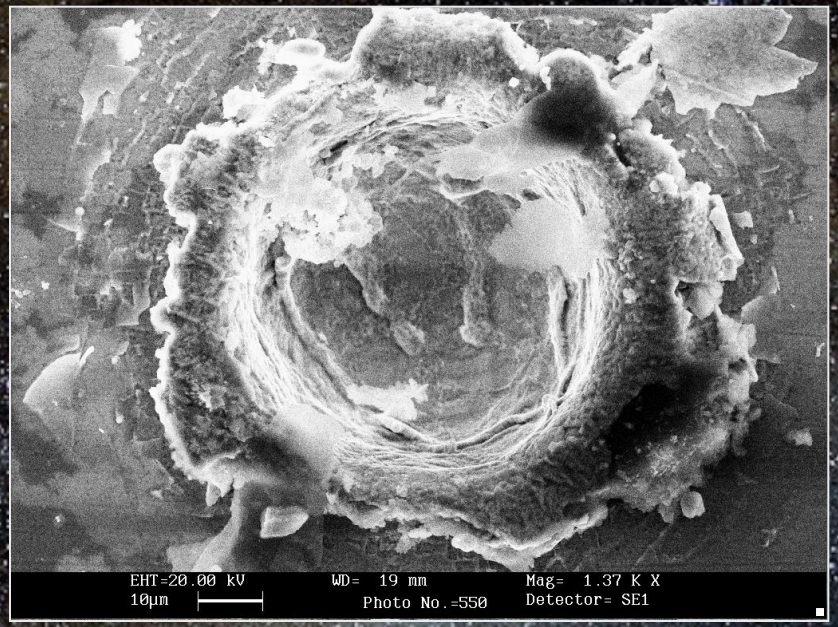
$\beta \cong 2/3.$

Формирование кратера, выброс плазмы и электромагнитное излучение из зоны удара

Глубина кратера – H

Диаметр частицы – d

Плотность материала частицы - $r_{ч}$



Кратер в металлическом образце от удара космической частицы

Кратеры в элементах солнечной батареи, возвращенной из космоса

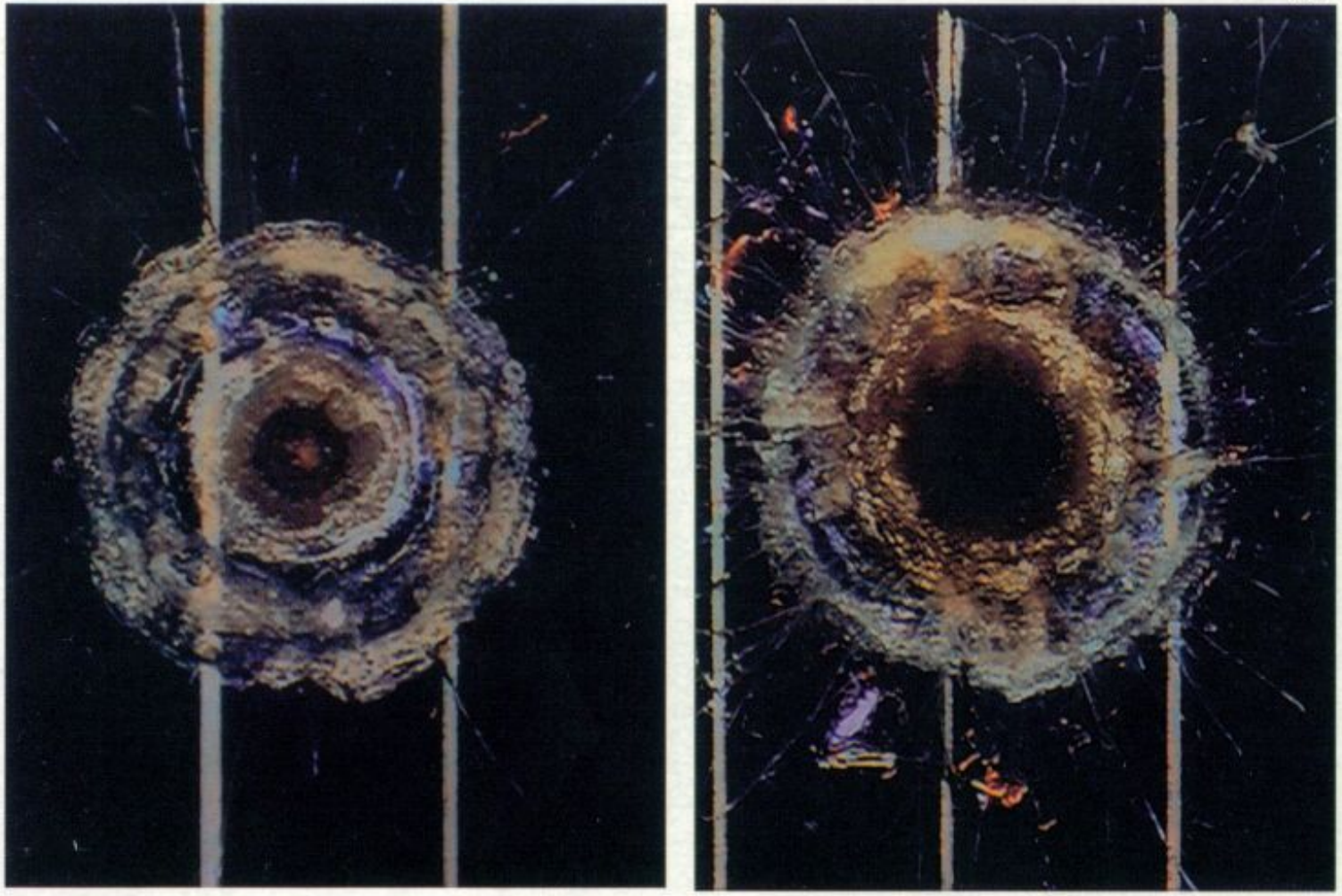
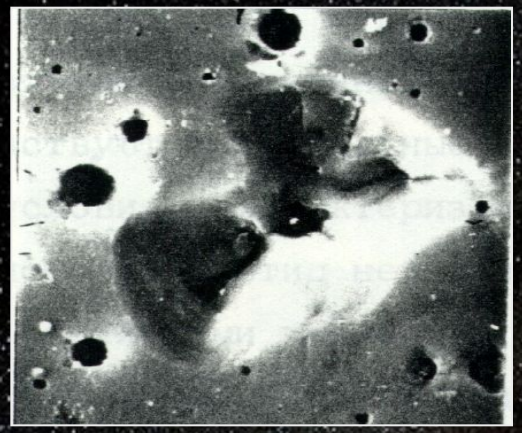
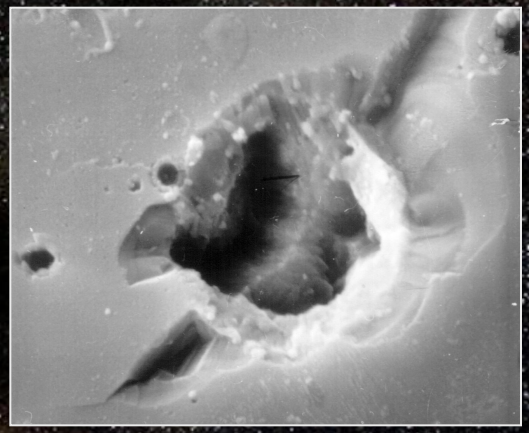


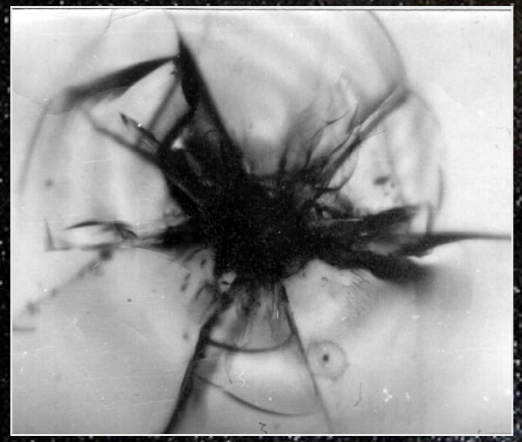
Figure 4. *Impact craters on the front side of the EURECA*

Кратеры в хрупких материалах





Удары частиц Ti (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

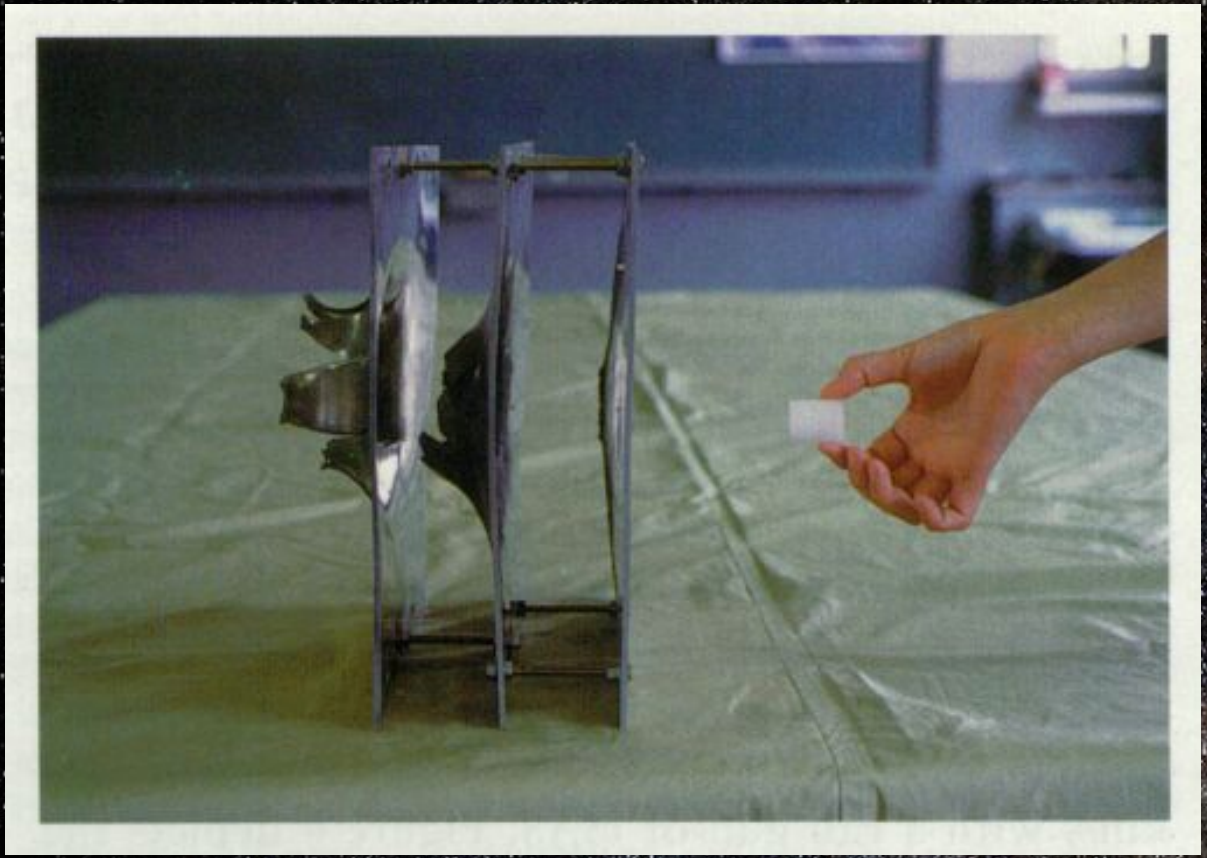
$$D_p = 0{,}1 d \rho_M^{2/3} \rho_Ц^{-1/2} v^{2/3}$$

$D_c = (2-5) D_p$, d – диаметр частицы,

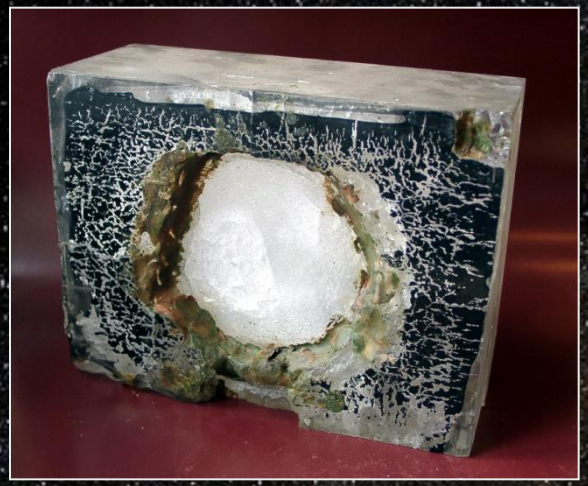
Глубина кратера

$$H = 0{,}6\, d \left(\frac{\rho_Ц}{\rho_M} \right)^{1/2} v^{2/3}$$

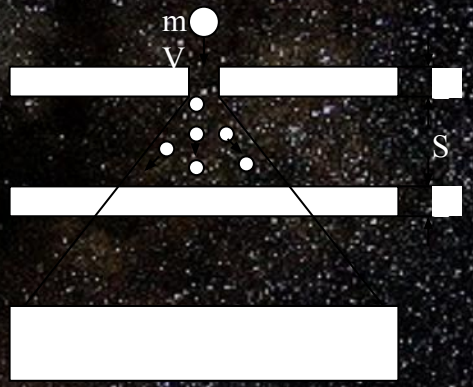
Результат лабораторных испытаний трехслойного экрана



Разрушение мишеней при ударах массивных частиц



Кратеры в толстой мишени из полиметилметакрилата



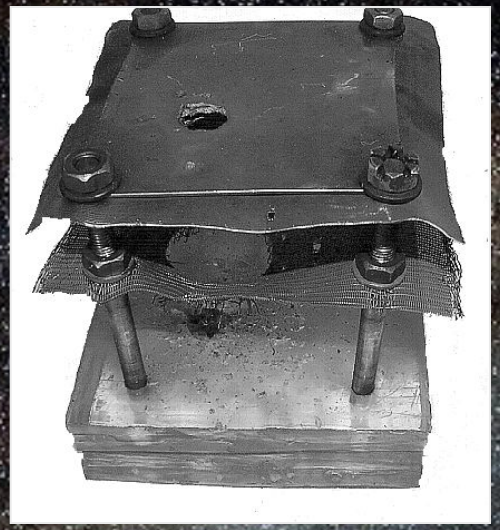
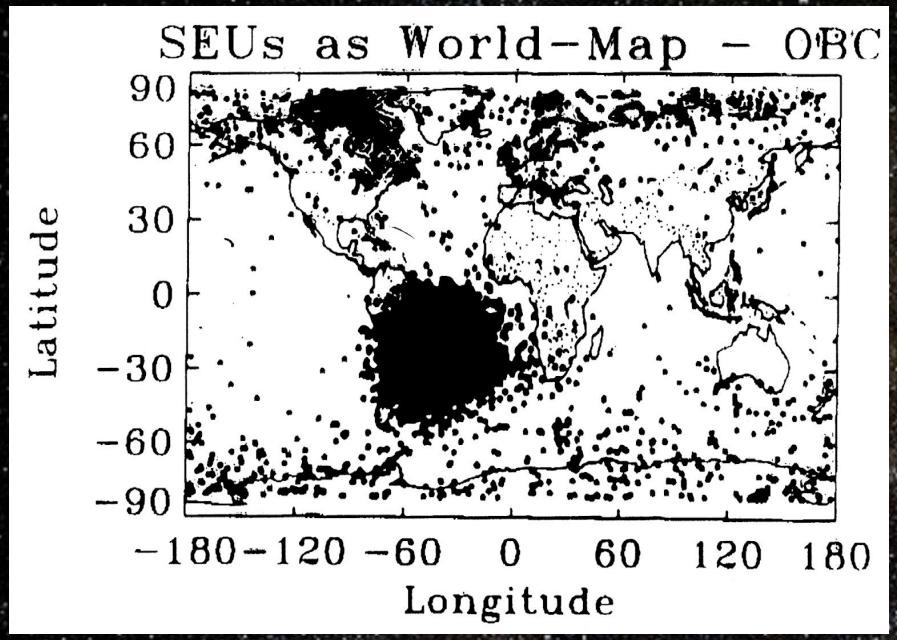
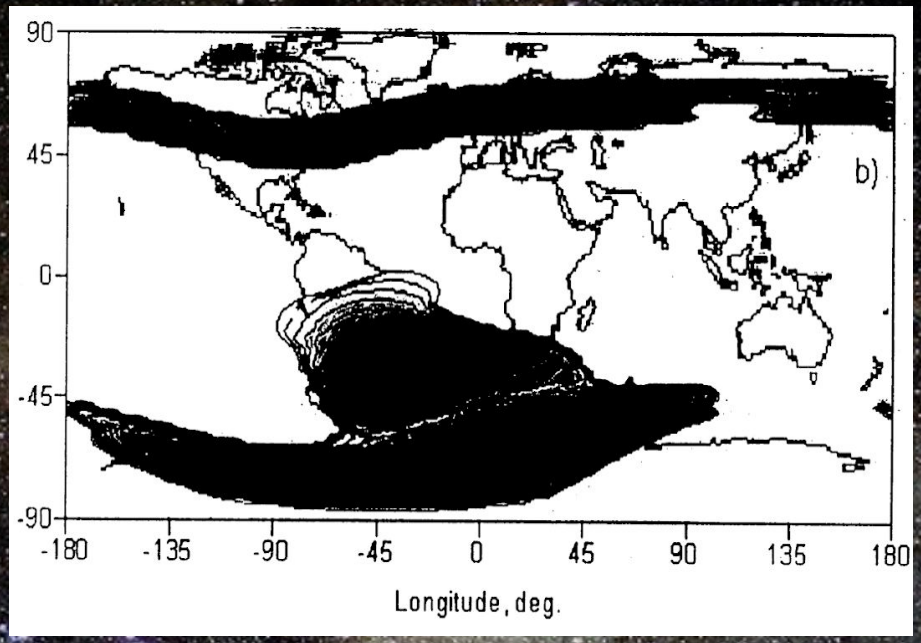


Схема и результат испытаний многослойного защитного экрана

Локализация сбоев в работе электронного оборудования низкоорбитального КА

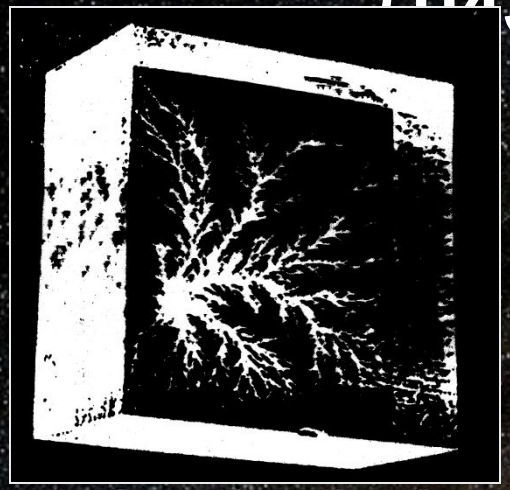


Локализация сбоев в области Южно-Атлантической магнитной аномалии и высокоширотных зонах проникновения частиц РПЗ



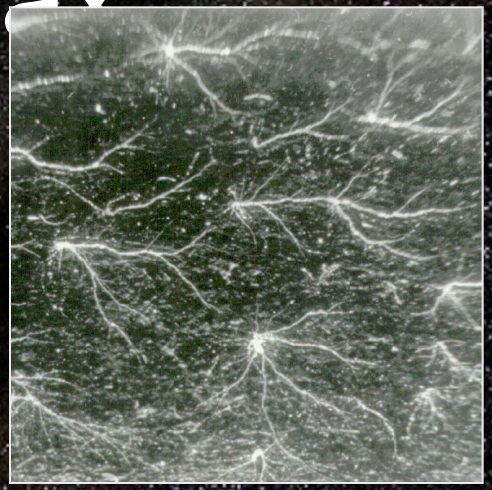
Пространственное распределение потока частиц РПЗ на высоте орбиты КА (700 км)

Объемный заряд в диэлектриках



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	10^{25}
$\lambda < 0.01 - 10$ нм	$10^{24} - 10^{26}$
$\lambda < 10 - 300$ нм	$10^{29} - 10^{31}$
видимое	$10^{26} - 10^{31}$
радио	$10^{22} - 10^{24}$

Быстрые частицы:

электроны (> 20 кэВ)	$10^{27} - 10^{31}$
протоны (> 20 МэВ)	10^{31}
движения и выбросы СМЕ	$10^{29} - 10^{32}$