

Космические лучи и магнитосфера Земли (или «Космические лучи 100 лет спустя»)

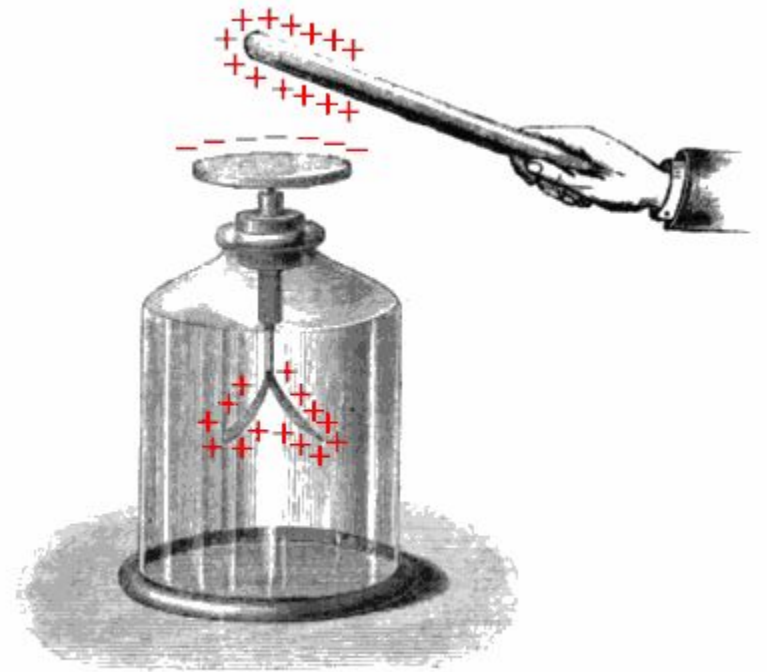
План лекции

- История открытия космических лучей
- Вклад исследований космических лучей в физику элементарных частиц
- Способы исследования космических лучей
- Наземные эксперименты и исследования в атмосфере Земли
- Исторические космические эксперименты и их результаты
- Что мы знаем о космических лучах
- Загадки, которые не раскрыты до сих пор

Загадка электроскопа

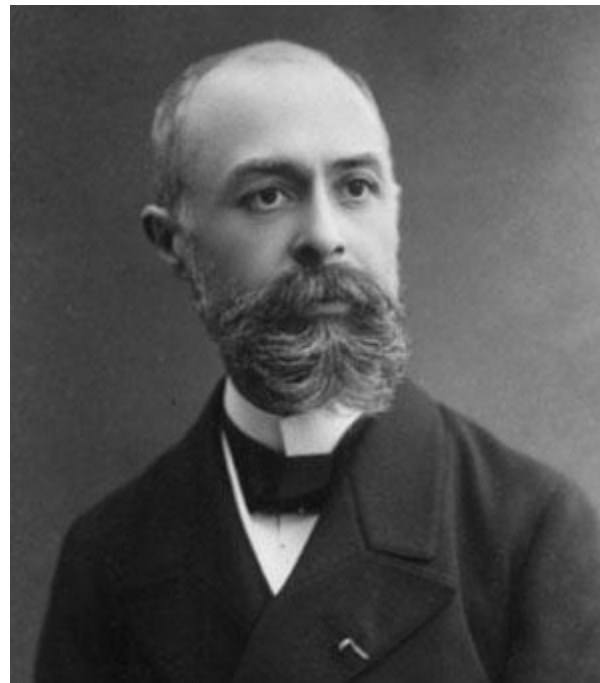


Шарль Кулон (1736 –
1806)



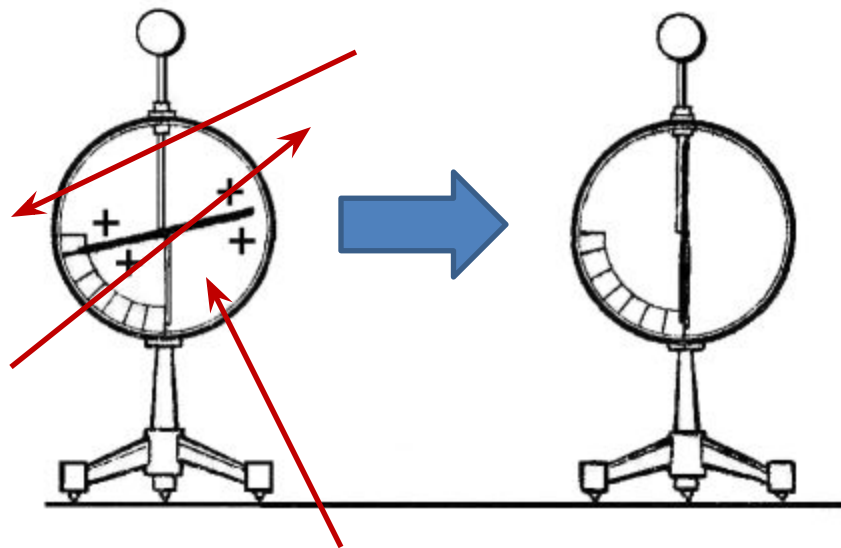
Первые научные гипотезы

- Первые научные гипотезы стали появляться после открытия в 1896 г. Анри Беккерелем (1852 – 1908) природной радиоактивности.

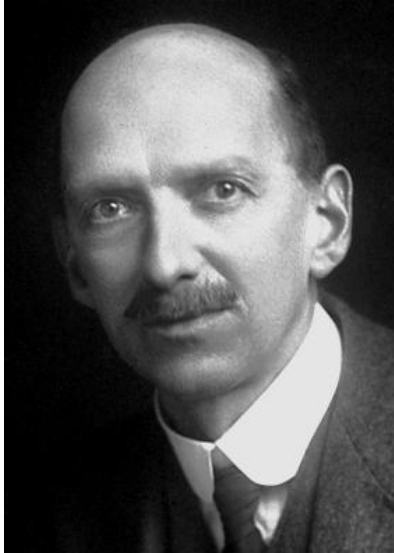


Разрядка электроскопа

- Разрядка за счёт фоновой радиации, ионизирующей газ в электроскопе
- Но откуда берётся это радиационное излучение?



Один из экспериментов, отрицавших наличие космических лучей



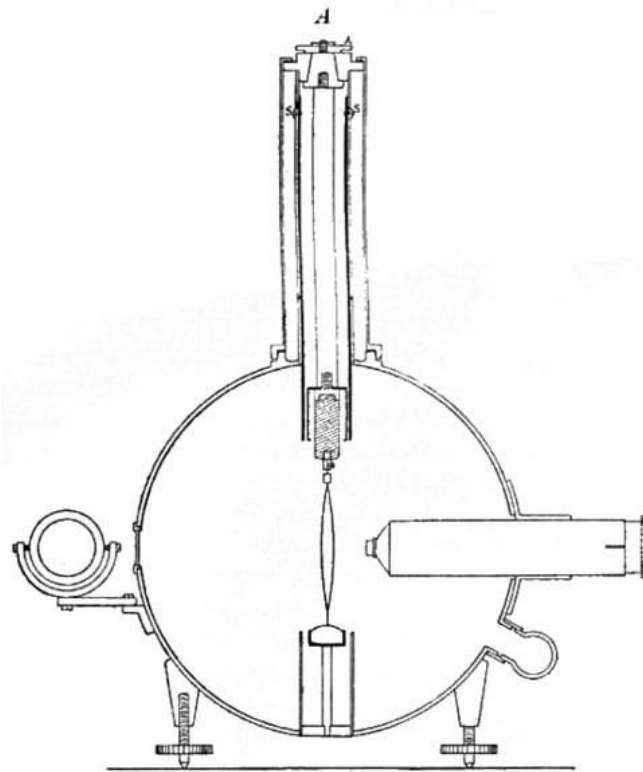
- Шотландский физик Чарльз Вильсон (1869-1959) в 1901 г. поместил электроскоп в каледонийский железнодорожный тоннель



Чем дальше от земли, тем радиации меньше?..



Теодор
Вульф
(1868 – 1946)

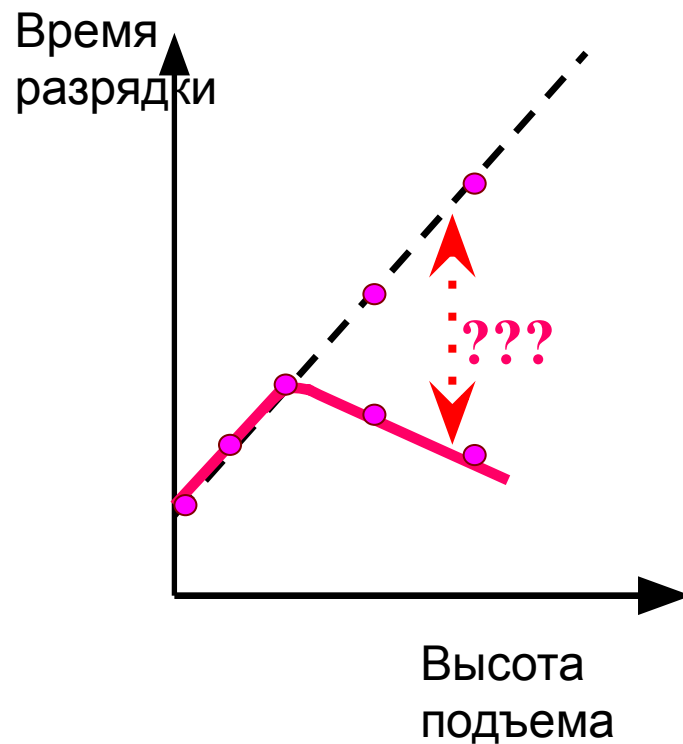


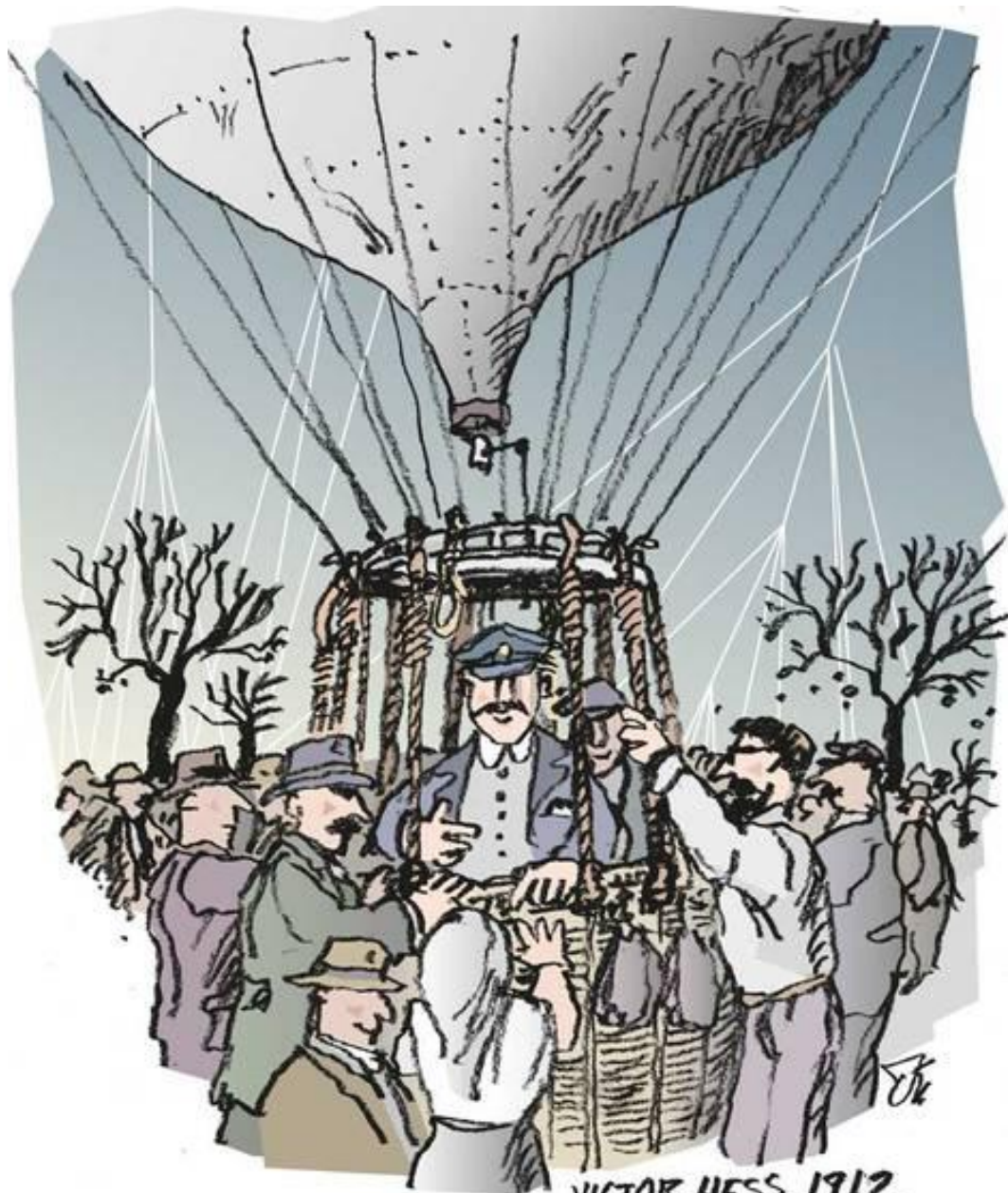
Альберт
Гоккель
(1860-1927)

И всё-таки радиация космического происхождения!!!



Виктор Гесс (1883 –
1964)
Полёт 1912 года



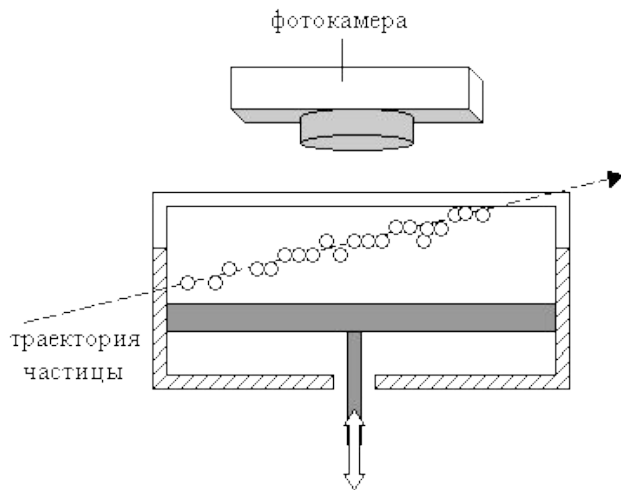


VICTOR HESS, 1912

Открытие позитрона

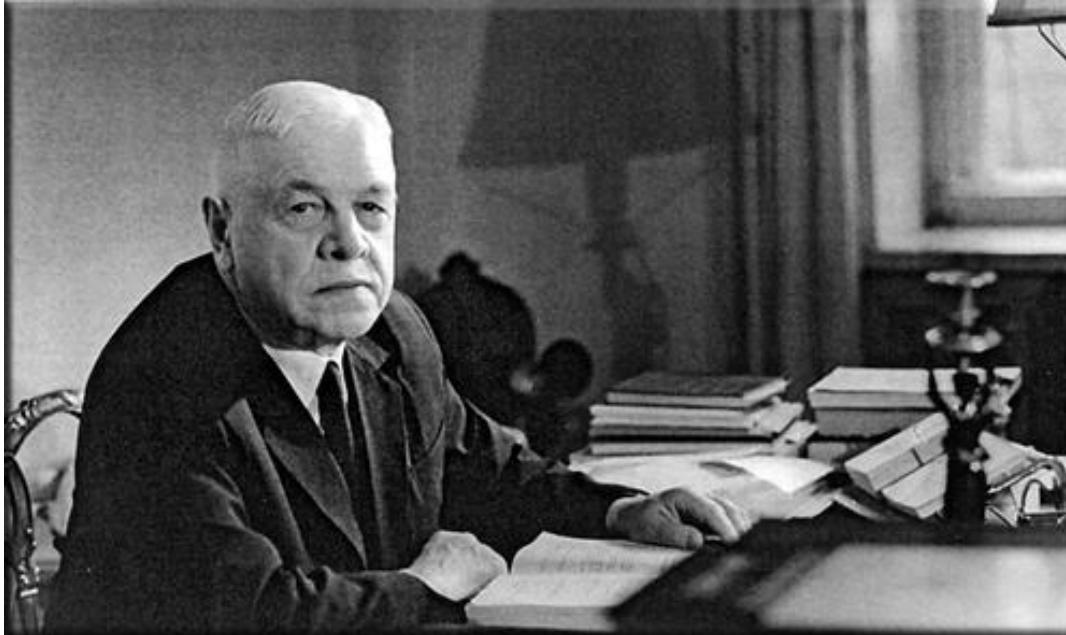


Камера Вильсона образца 1912 года



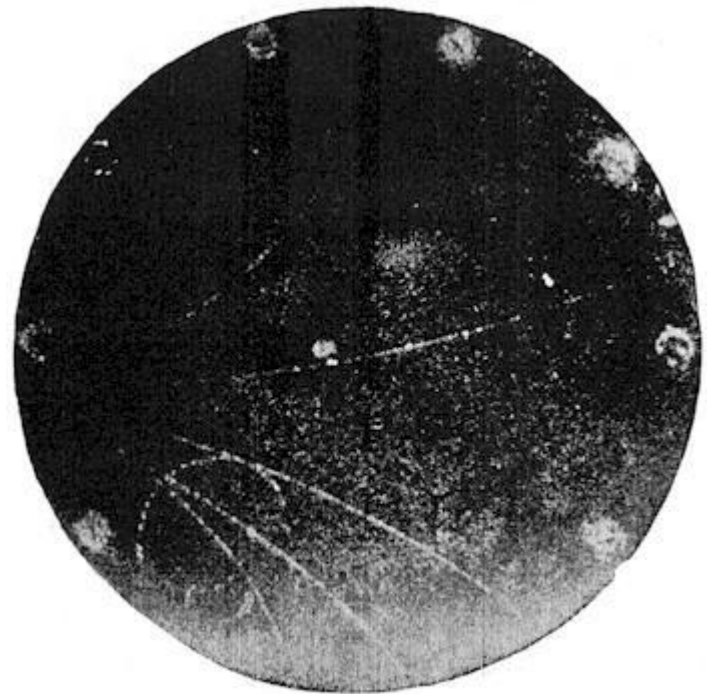
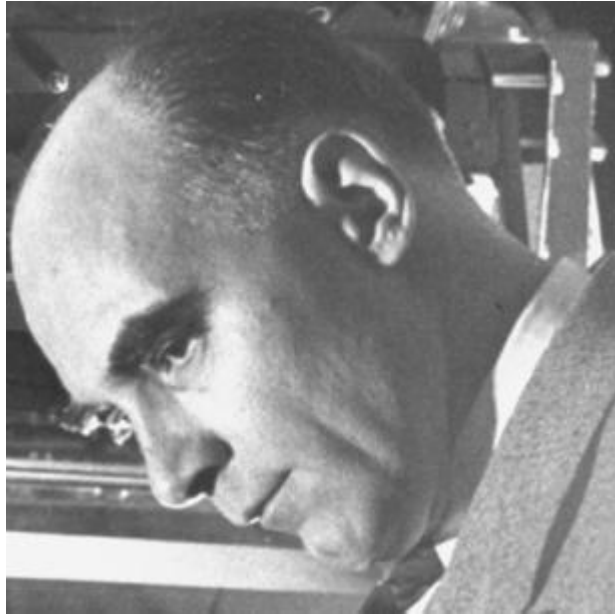
Фотография треков частиц

Открытие позитрона



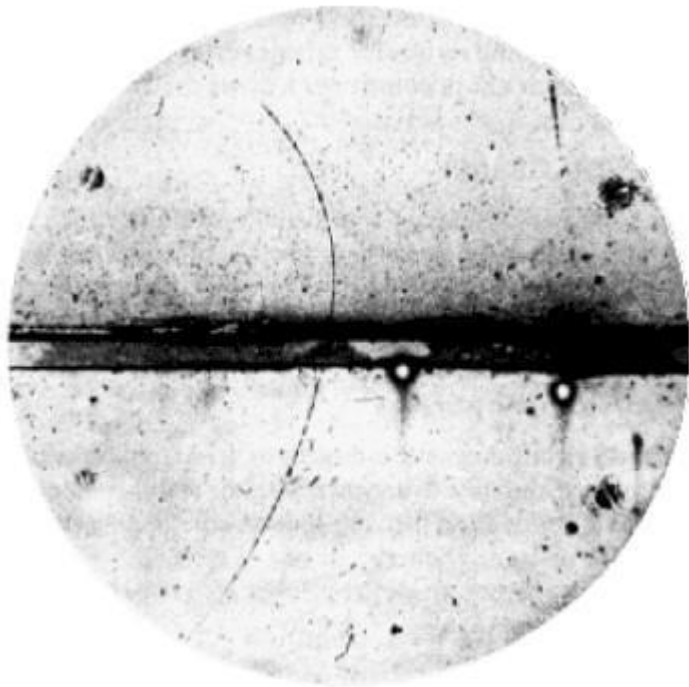
- В 1929 г. Д. В. Скобельцын (1892 - 1990), поместив камеру Вильсона в магнитное поле, неопровержимо доказал, что в составе космического излучения имеются заряженные частицы—электроны. Он обнаружил слабо изогнутые магнитным полем следы таких электронов. На его фотографиях были и следы, слабо изогнутые в противоположную электронам сторону, однако с уверенностью сказать что-либо определенное о частицах, оставивших эти следы, Скобельцын не мог.

Открытие позитрона



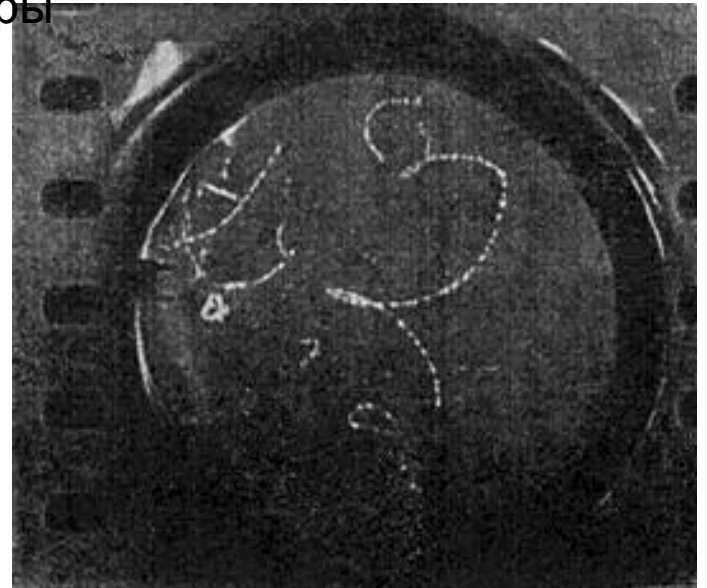
- В 1932 г. американский физик К. Андерсон (1905 – 1991) ввел усовершенствование в метод Скобельцына: он применил магнитное поле, в десять раз сильнее поля, применявшегося Скобельцыным. При этом он сразу обнаружил изогнутые следы, принадлежащие отрицательно и положительно заряженным частицам: электронам и протонам, как он думал вначале.

Открытие позитрона



Знаменитая фотография, подтверждавшая существование позитрона и его свойства. Позитрон прошёл через свинцовую пластину, потерял часть энергии и изгиб траектории в магнитном поле увеличился. Расчёт показал, что масса частицы равна массе электрона, а заряд - противоположный

Рождение электрон-позитронной пары

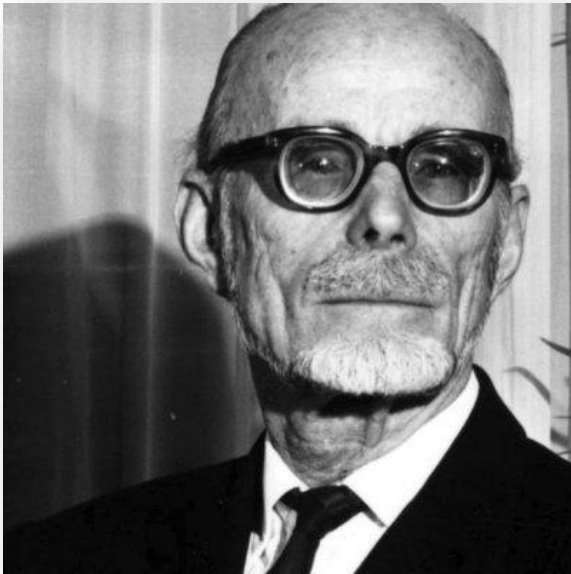


...и ещё ряд открытий!

- 1937, открыты мюоны и указан тип их распада;
- 1947, открыты π -мезоны;
- 1955, установлено наличие K -мезонов, а также и тяжелых нейтральных частиц — гиперонов.
- Квантовая характеристика «странность» появилась в опытах с космическими лучами.
- Эксперименты в космических лучах поставили вопрос о сохранении четности, обнаружили процессы множественной генерации частиц в нуклонных взаимодействиях, позволили определить величину эффективного сечения взаимодействия нуклонов высокой энергии

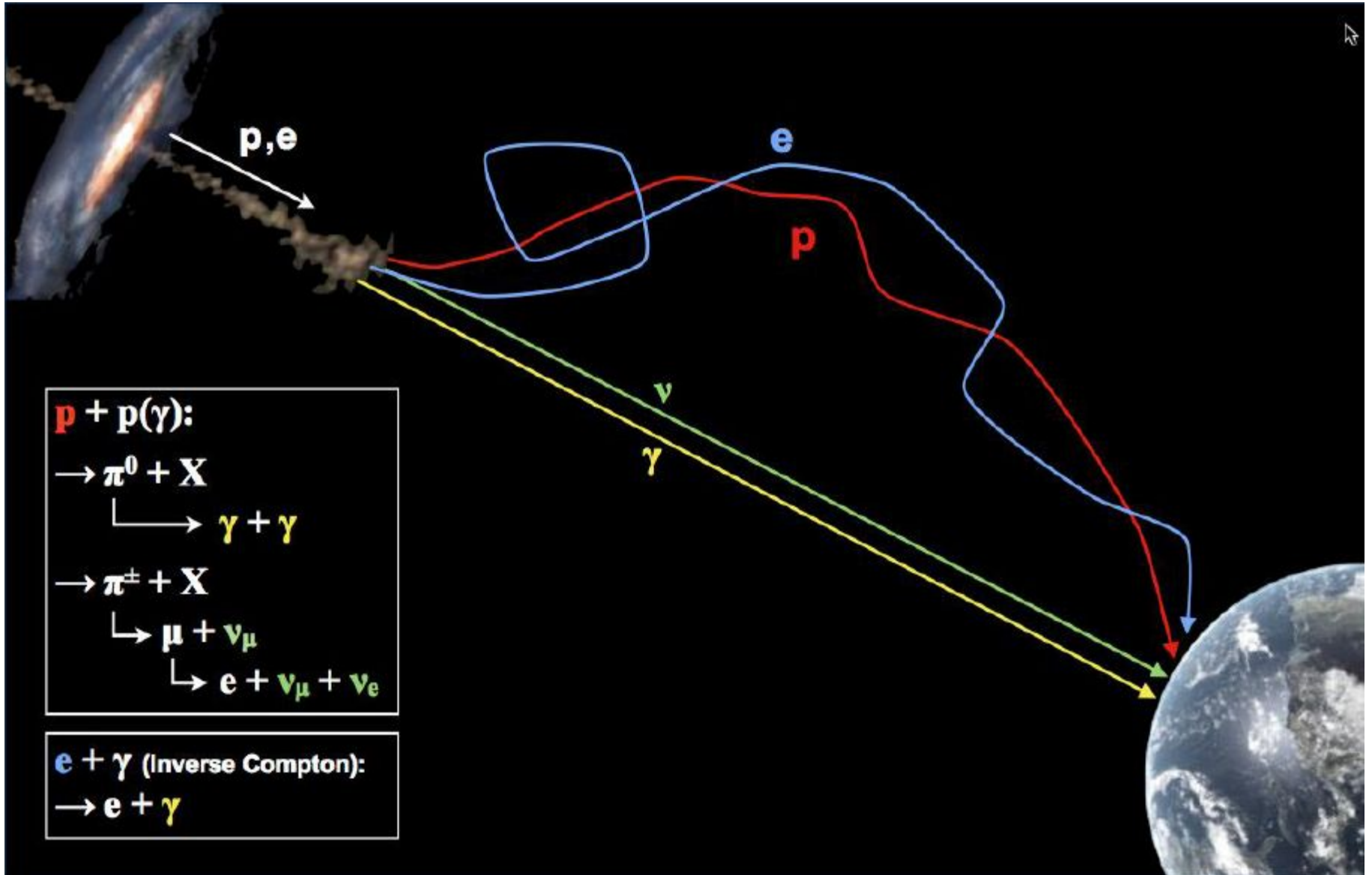
Открытие ШАЛ

- 1934 году итальянский физик Бруно Росси заметил, что два счетчика Гейгера, находящиеся на расстоянии друг от друга, иногда срабатывали практически одновременно. Увы, дальнейшие работы провести не удалось.



- Пьер Оже независимо обнаружил этот эффект в 1937 году. Одновременное срабатывание нескольких детекторов на расстоянии порядка 100 метров говорило о том, что пришел целый ливень частиц, вероятнее всего, имеющих общее происхождение. Оже сделал правильный вывод, что ливень порождается влетающей в атмосферу частицей высокой энергии.

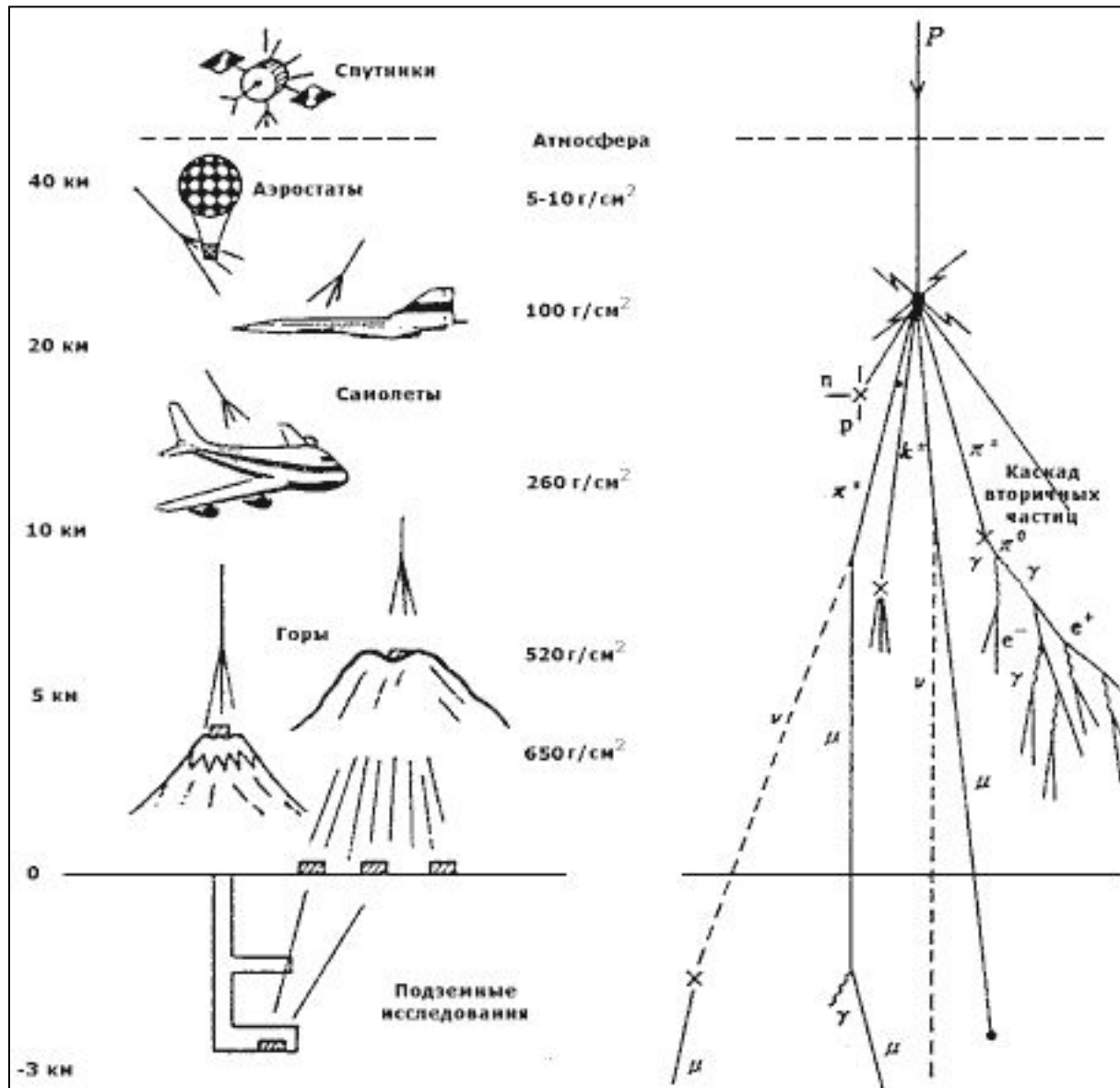




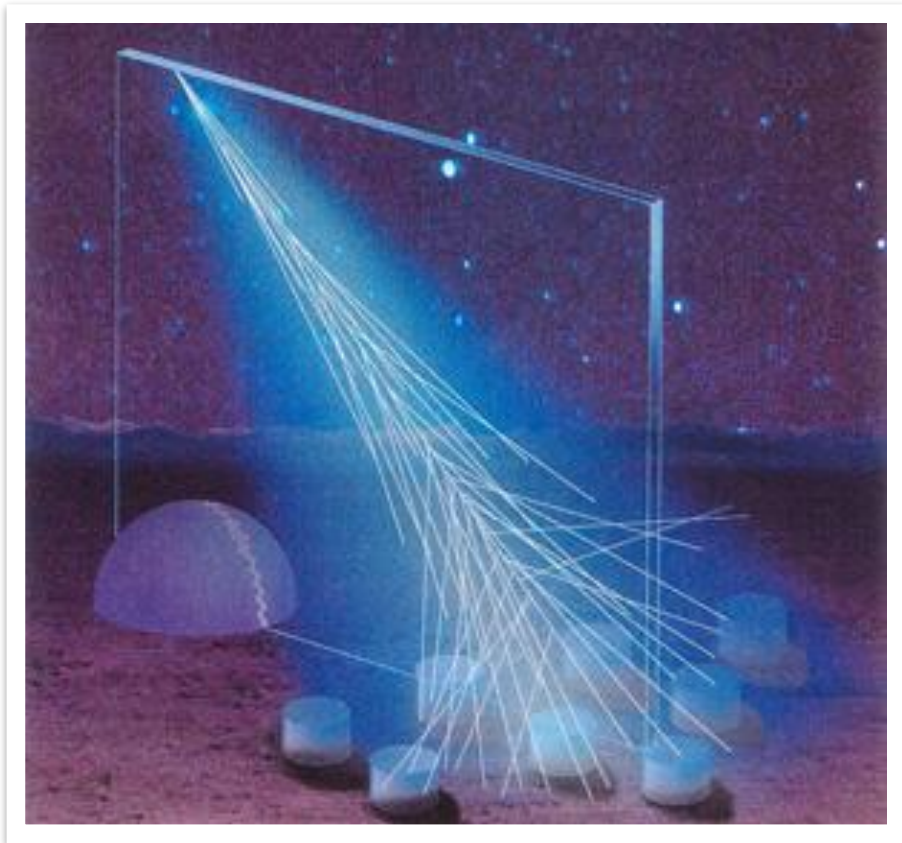
p + p(γ):
 $\rightarrow \pi^0 + X$
 $\quad \quad \quad \hookrightarrow \gamma + \gamma$
 $\rightarrow \pi^\pm + X$
 $\quad \quad \quad \hookrightarrow \mu + \nu_\mu$
 $\quad \quad \quad \quad \quad \hookrightarrow e + \nu_\mu + \nu_e$

e + γ (Inverse Compton):
 $\rightarrow e + \gamma$

Способы исследования

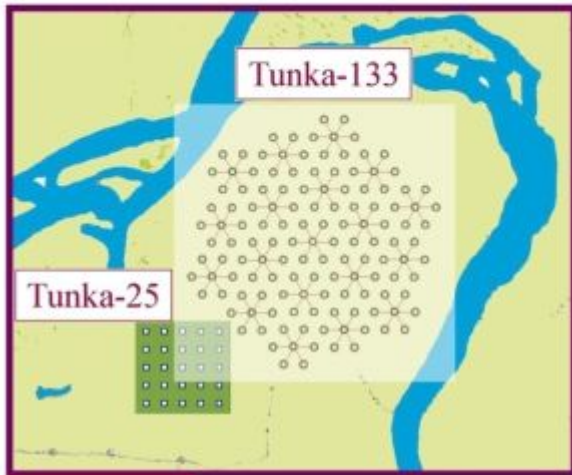


Регистрация ШАЛ на земле



- Заряженные частицы
- Черенковский свет
- Флюоресцентный свет
- Радиоизлучение

Наземные установки



51° 48' 35" N
103° 04' 02" E
675 m a.s.l.

Тунка-133, Россия (оз. Байкал)
133 оптических детектора, 1 кв.
км



Pierre Auger, Аргентина, 3 000 кв.км,
1600 детекторов частиц, 24
флуоресцентных телескопа

Пример наземного детектора Auger

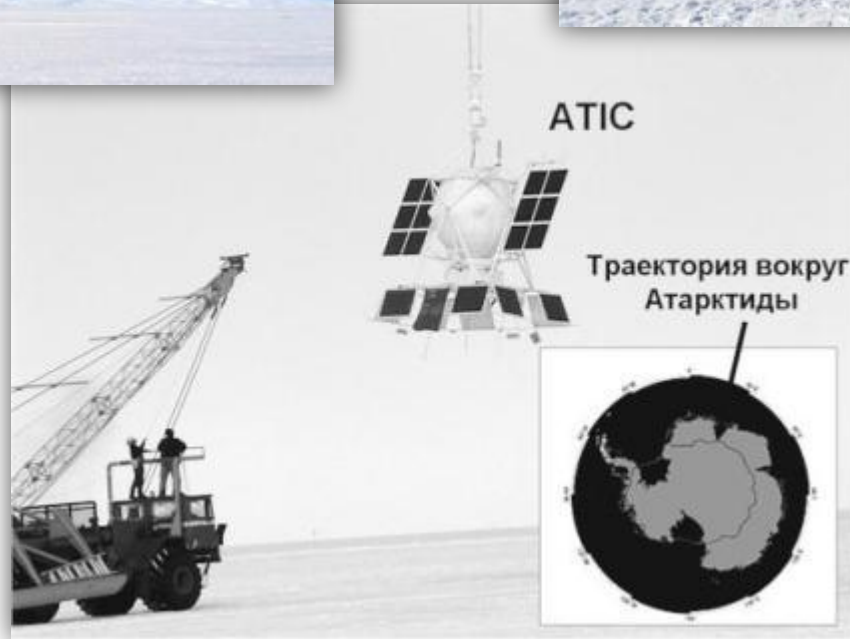


Из презентации Г.А.Шелкова (ОИЯИ, г. Дубна)

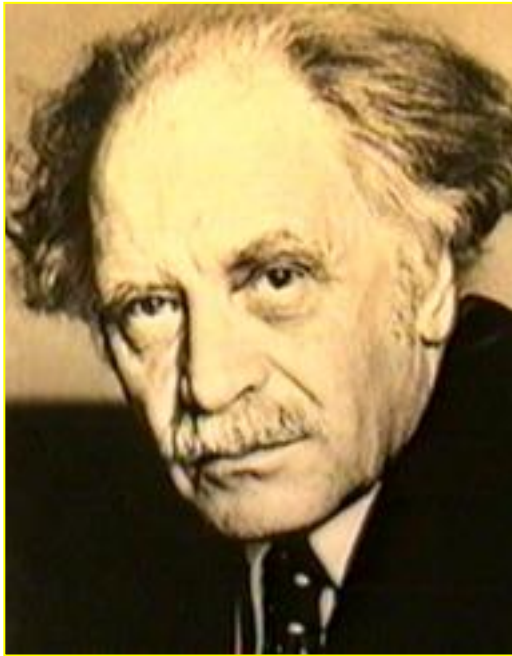
Пример оптического детектора Тунка-133



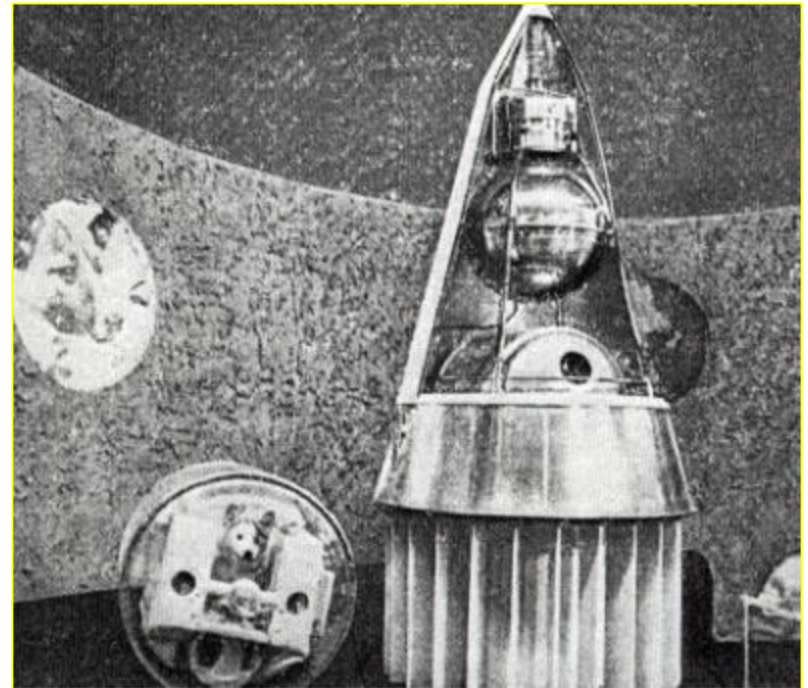
Исследования в атмосфере



Первый космический счётчик

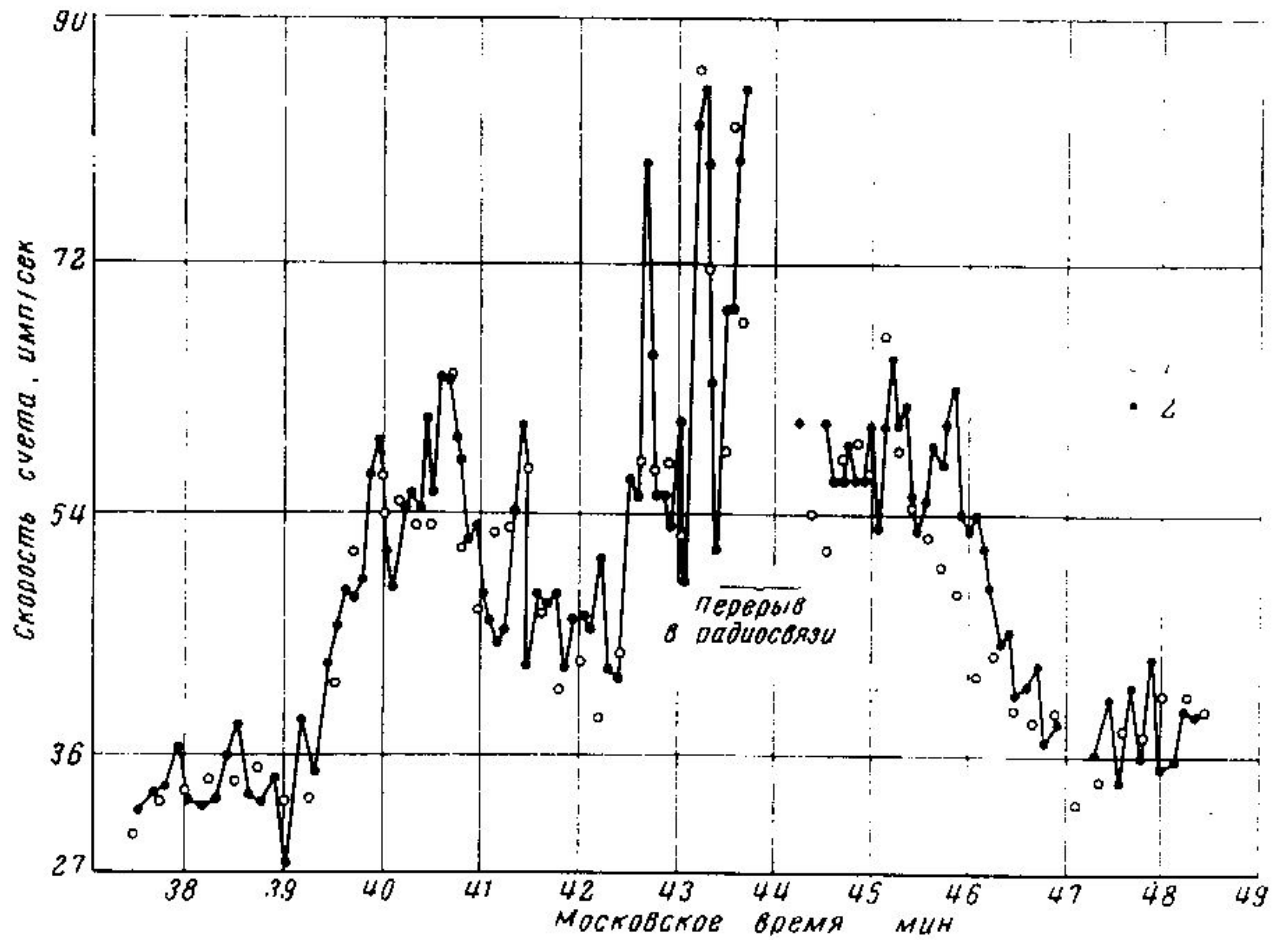


Вернов С.Н. (1910 – 1982)



1957 г.

Результаты измерений



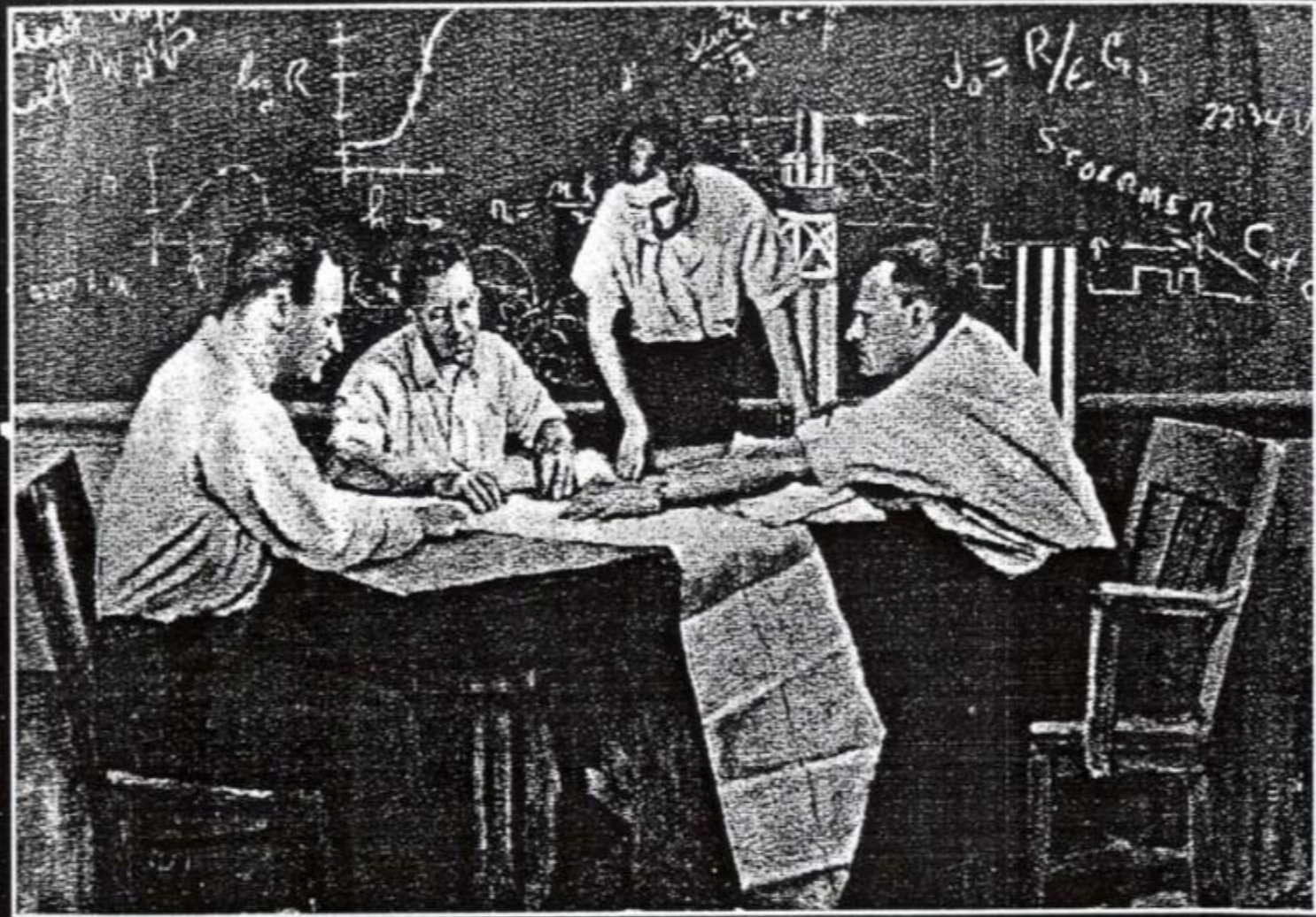
Тем временем в США...



1958 г.



Джеймс ван Ален (1914 –
2006)

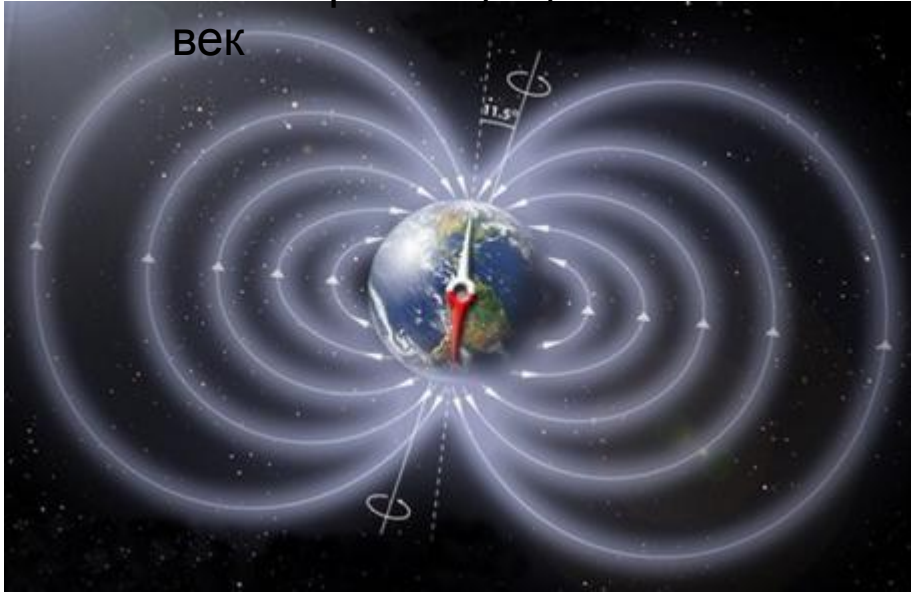


"My God, space is
radioactive!"

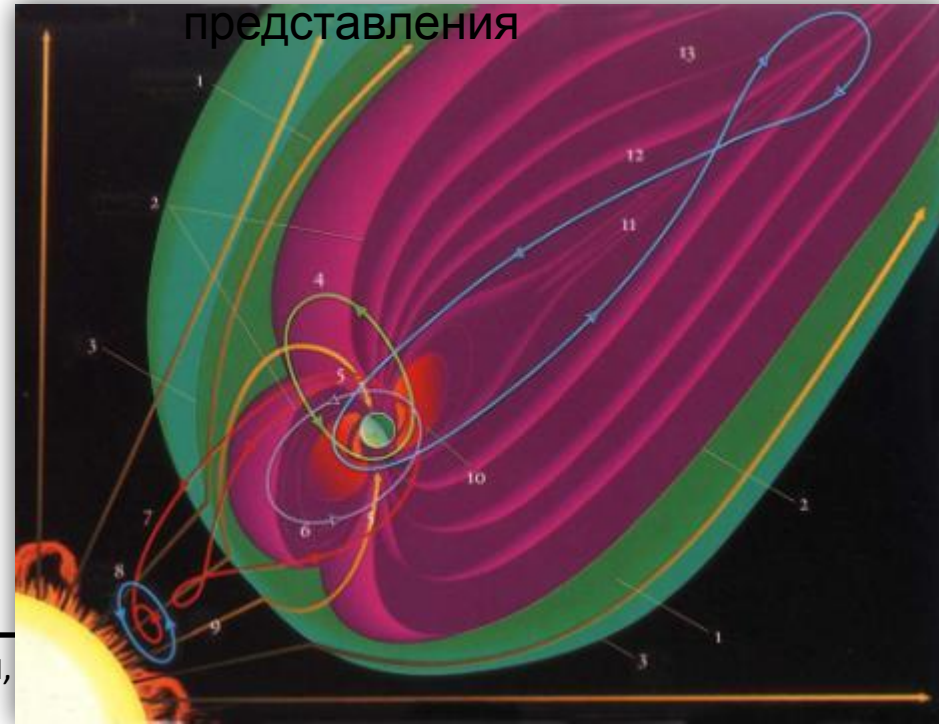
Dr. Ernest C. Ray
March 28, 1958

Магнитосфера Земли

Гильберт и Гаусс, XVII
век

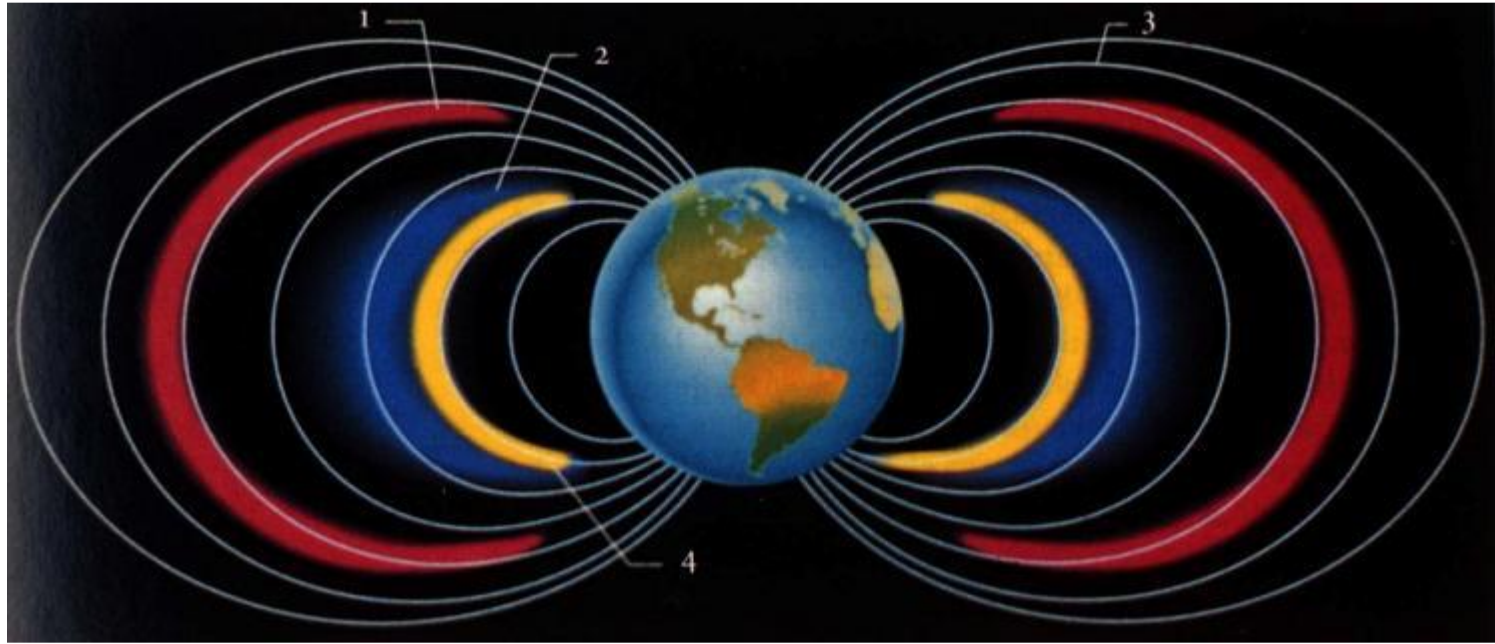


Современные
представления



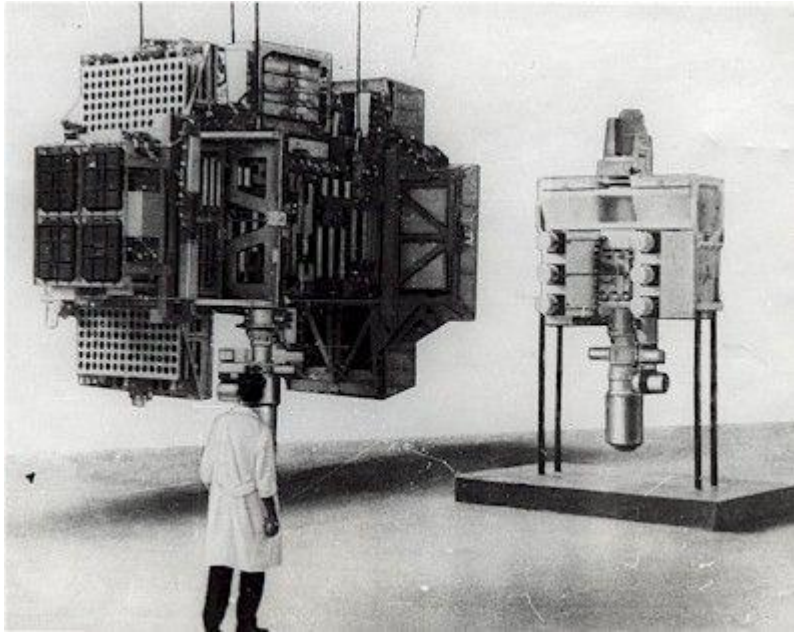
- 1 – плазменный слой,
- 2 – магнитопауза,
- 3 – фронт ударной волны,
- 4, 6, 7, 8, 12 – орбиты космических аппаратов,
- 5 – касп,
- 9 – солнечный ветер,
- 10 – радиационные пояса,
- 11 – нейтральный слой,
- 13 – хвост магнитосферы.

Радиационные пояса Земли



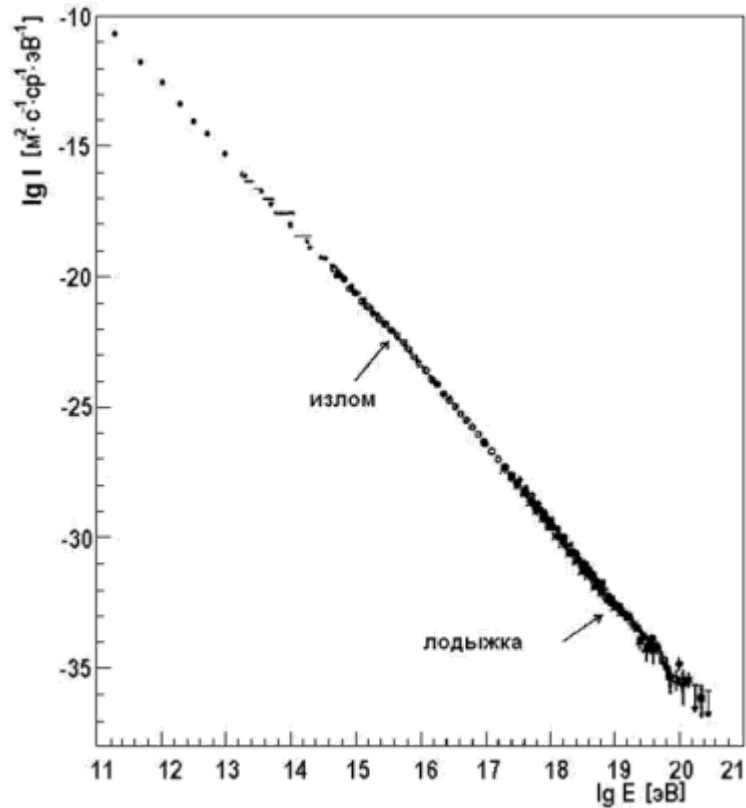
- 1 – внешний радиационный пояс Земли (высота до 40 000 км).
- 2 – внутренний радиационный пояс (высота до 30 000 км).
- 3 – магнитные силовые линии.
- 4 – третий радиационный пояс обнаружен со спутников и образован межгалактическими космическими лучами (МГКЛ).

Спутники серии Протон

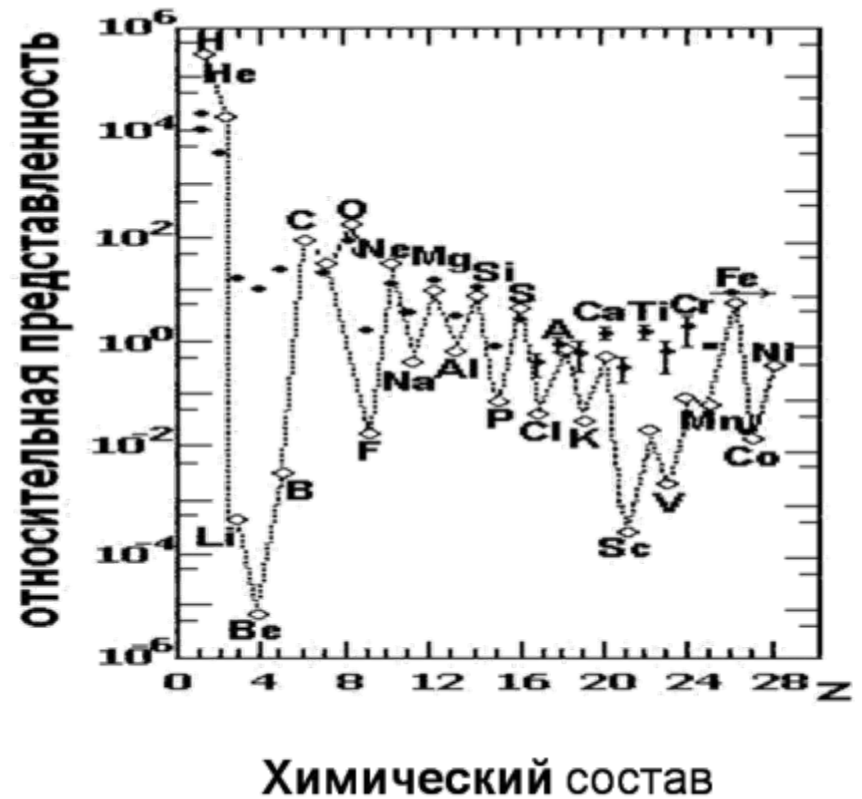


- На четырех спутниках серии "Протон" были получены первые прямые экспериментальные материалы об энергетическом спектре всех частиц до 10^{15} эВ, а также о зависимости сечения протон-протонного взаимодействия от энергии в области 10^{11} - 10^{12} эВ.
- В течение почти 20 лет полученные данные об энергетическом спектре оставались неповторенными и являлись отправной точкой для всех исследований первичных частиц.

Результаты исследований



Энергетический спектр



Космические лучи делятся на два основных типа

Взрывы сверхновых

Ускорение межпланетным полем

Галактические

Ядерные реакции на Солнце

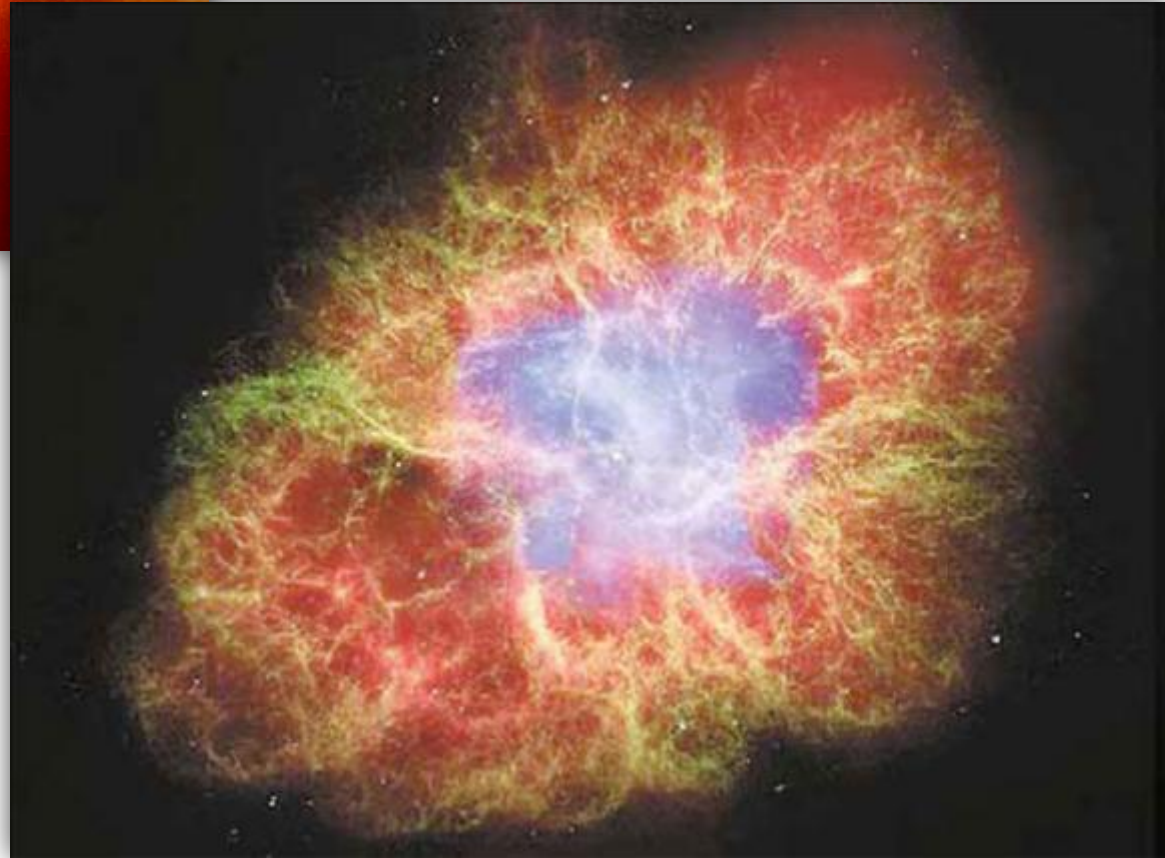
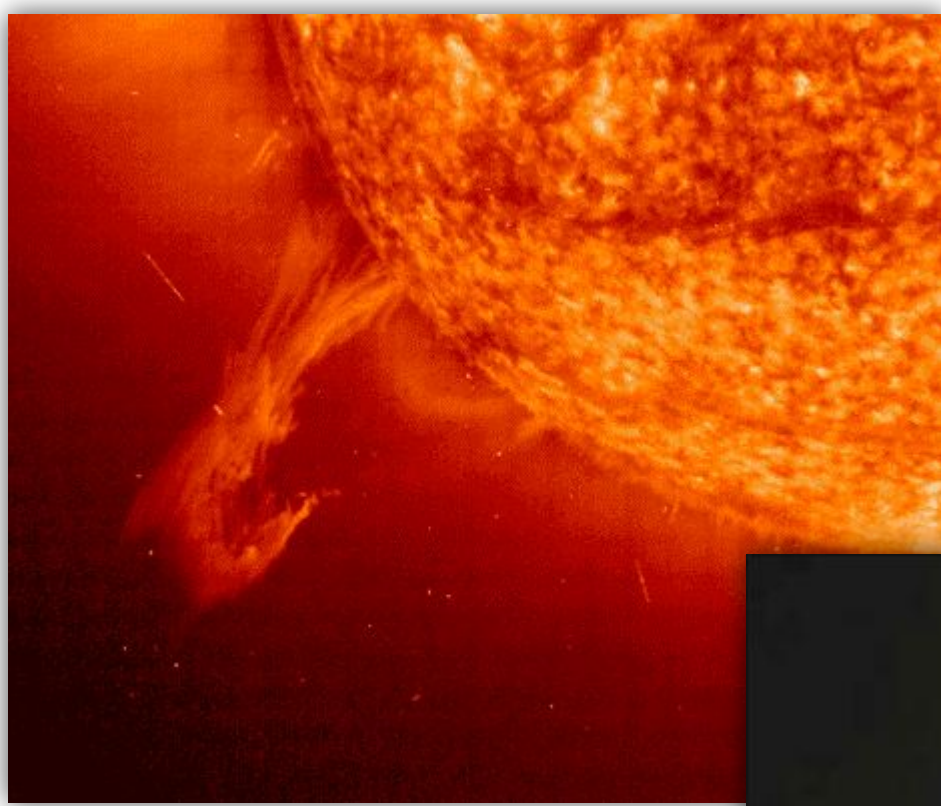
Солнечная активность

Солнечные

$\sim 1 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	поток
Ядерный компонент ~90% p, ~10% He, ~1% тяжелых ядер Электроны (~1% от числа ядер) Позитроны (~10% от числа e^-) Антиадроны <1%	состав
$10^6 - 10^{21} \text{ эВ}$	энергия

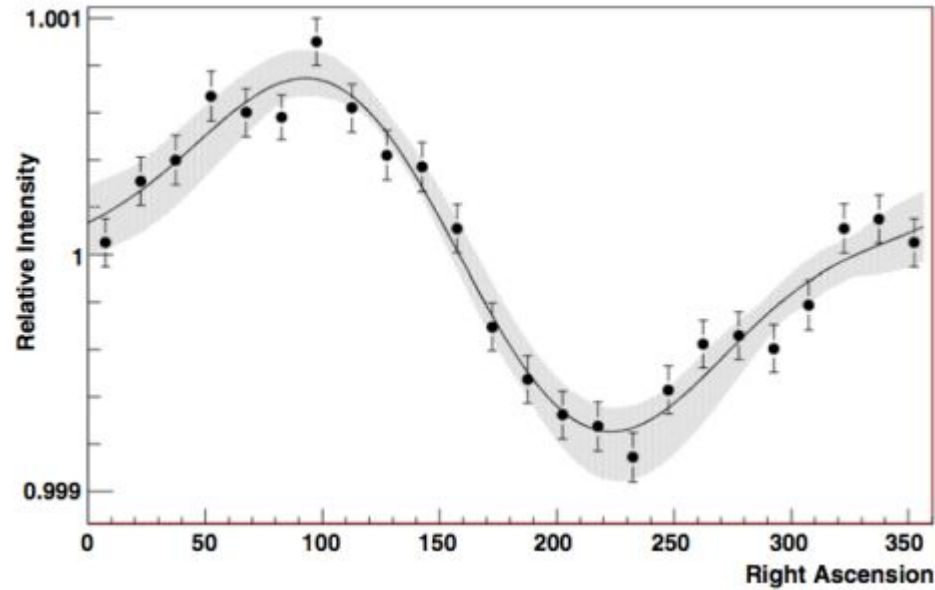
до $\sim 10^6 \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$	поток
98-99% протоны, ~1.5% ядра гелия	состав
$10^5 - 10^{11} \text{ эВ}$	энергия

Солнечный
протуберанец

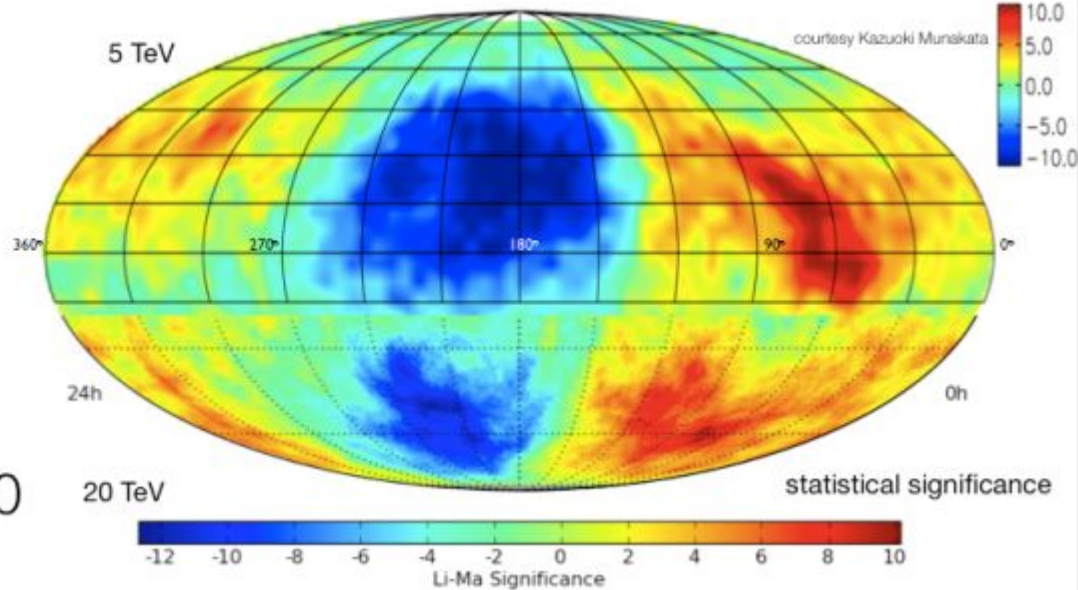


Крабовидная
туманность

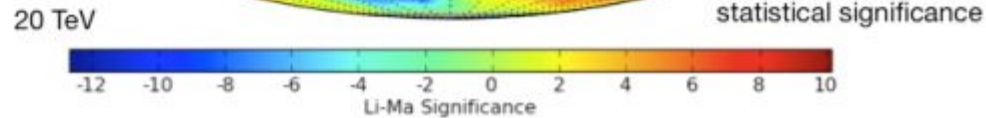
Анизотропия космических лучей



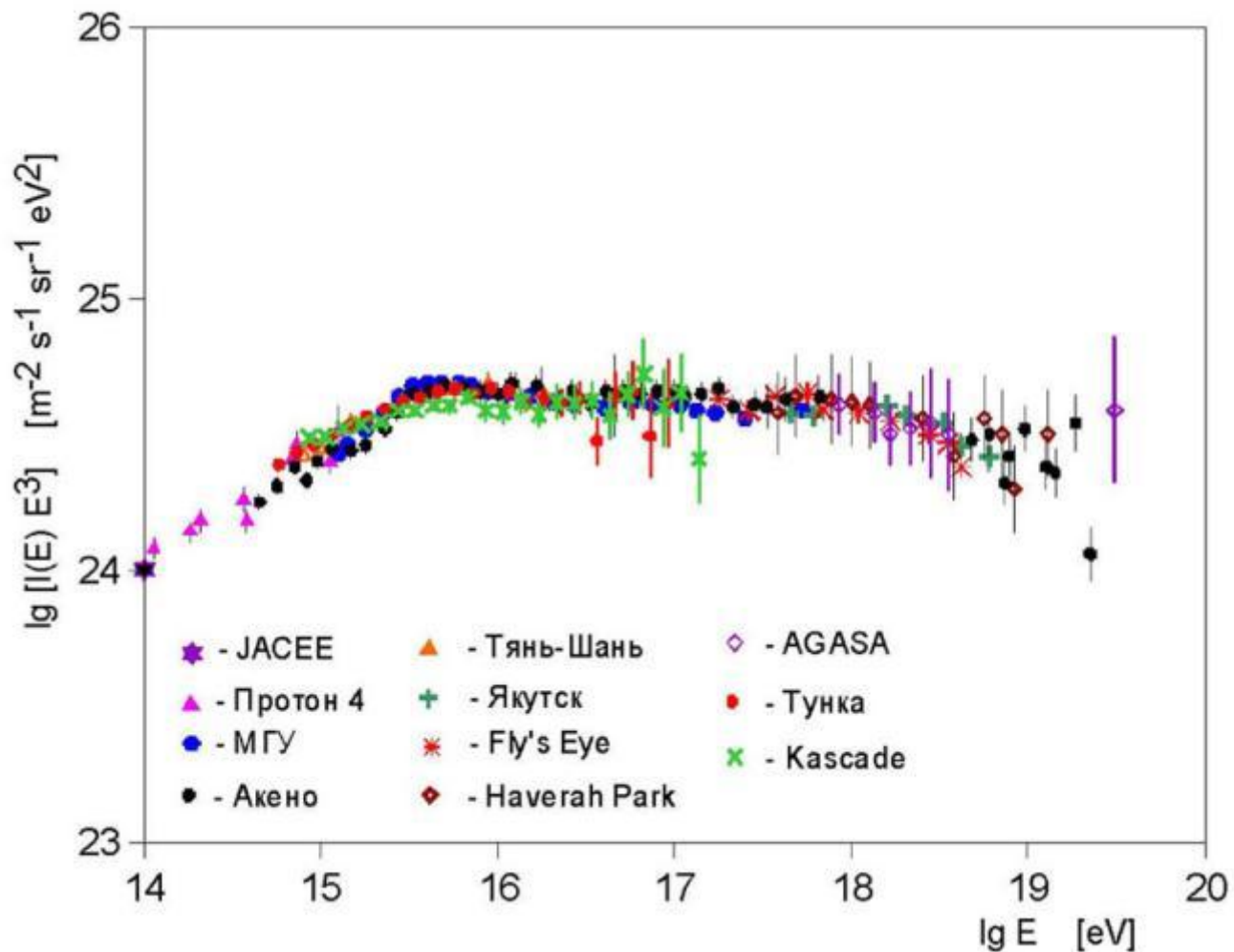
Tibet-III
(5° smoothing)

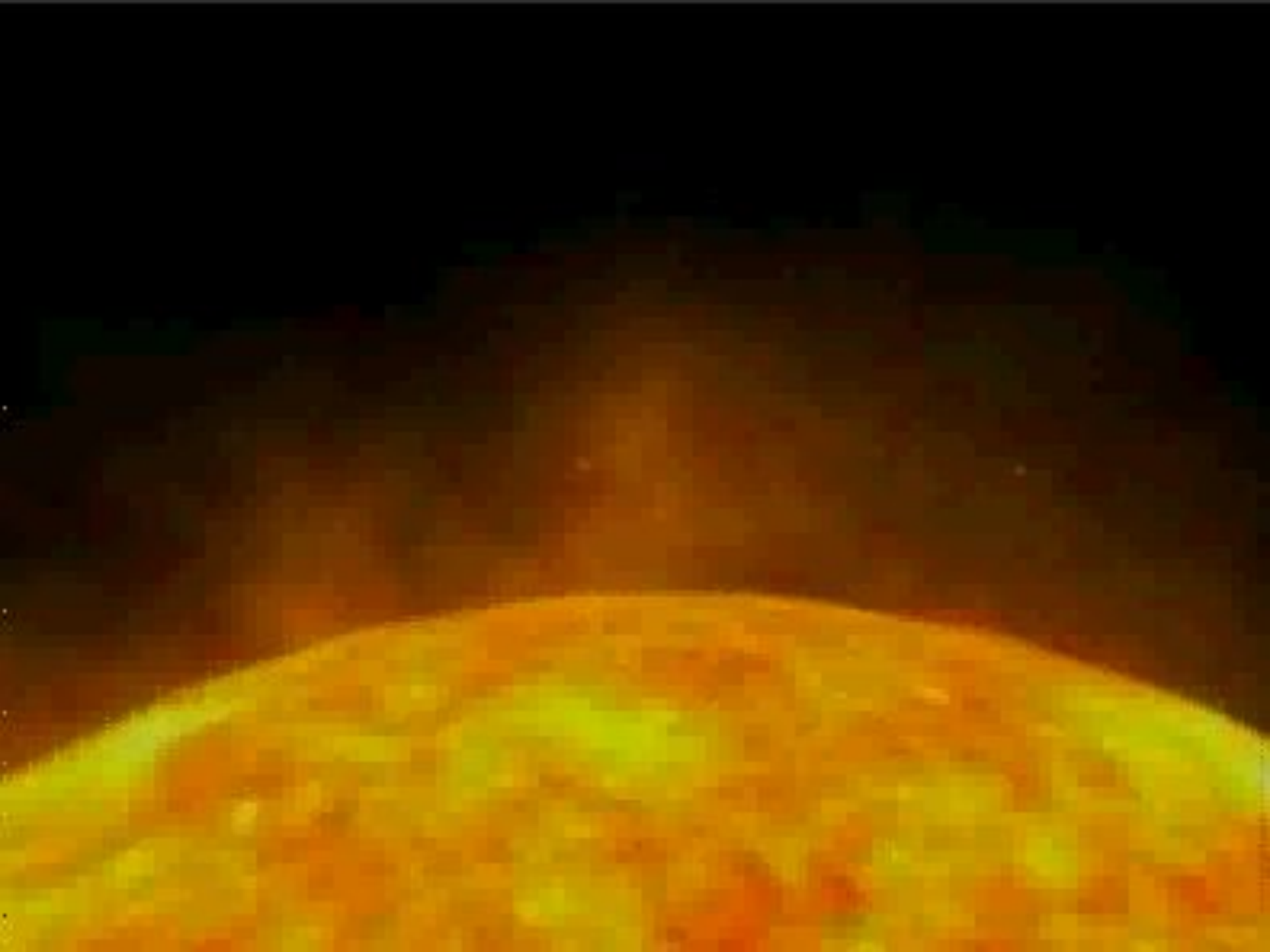


IceCube-40
(3° smoothing)



Есть ли частицы с большей энергией?..





И ещё пару слов...

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

