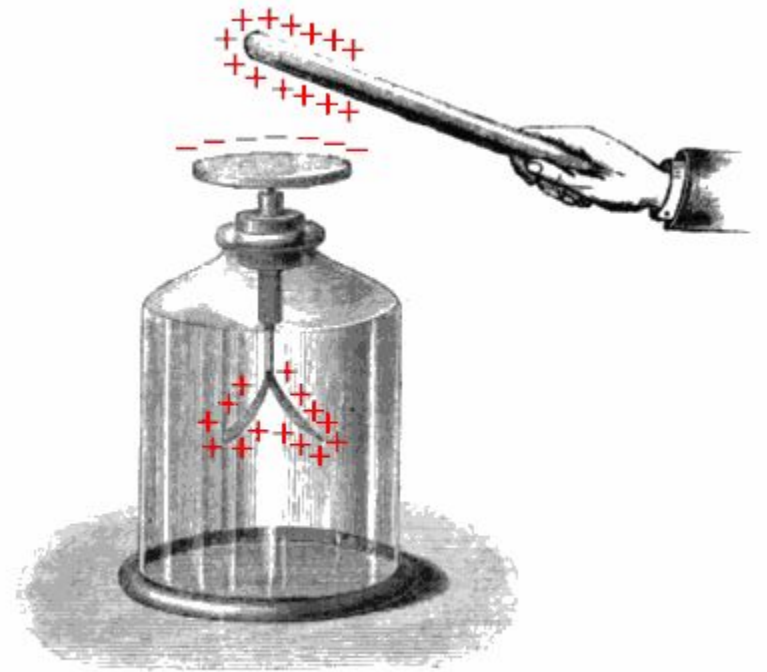


# Космические лучи и магнитосфера Земли (или «Космические лучи 100 лет спустя»)

# 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

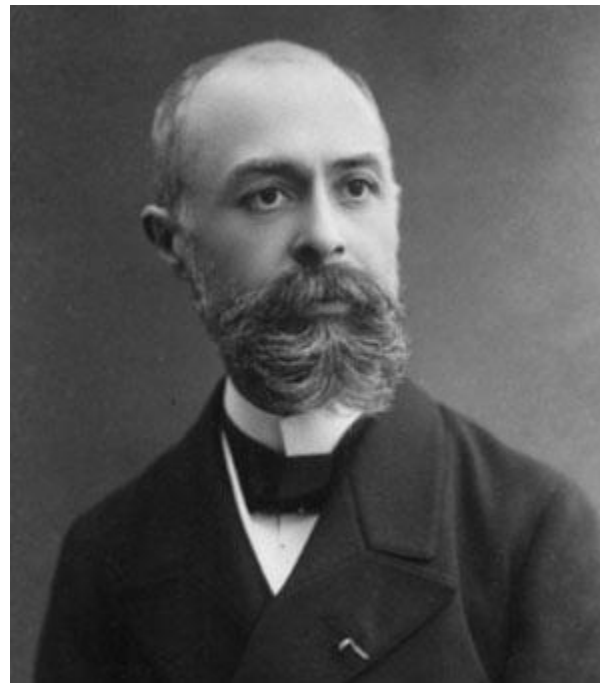
# Загадка электроскопа



Шарль Кулон (1736 –  
1806)

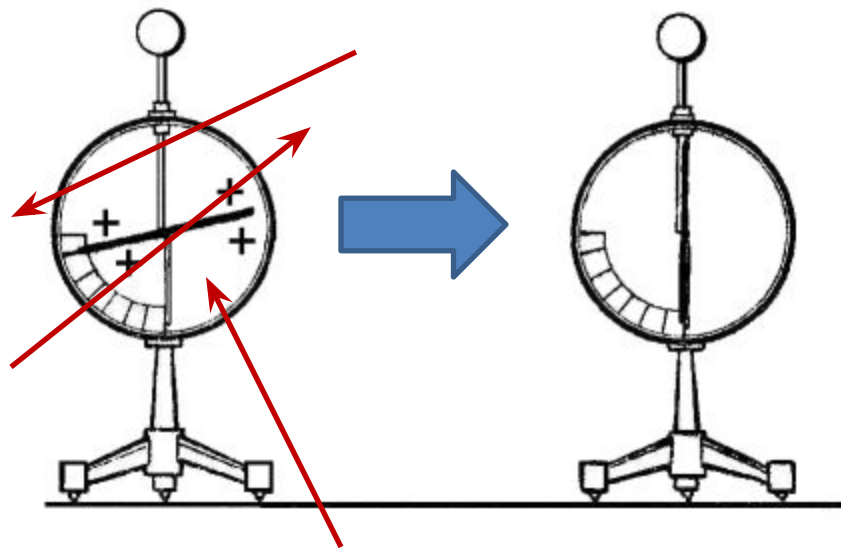
# Первые научные гипотезы

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

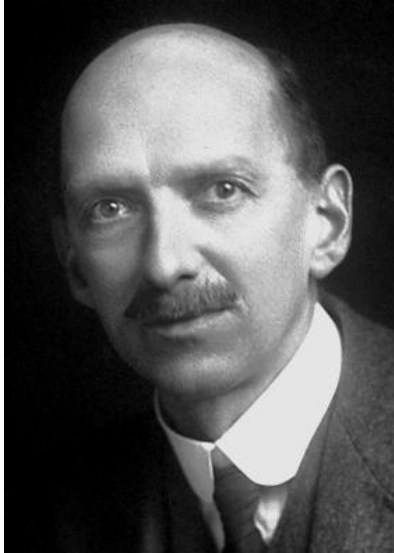


# Разрядка электроскопа

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



# Один из экспериментов, отрицавших наличие космических лучей



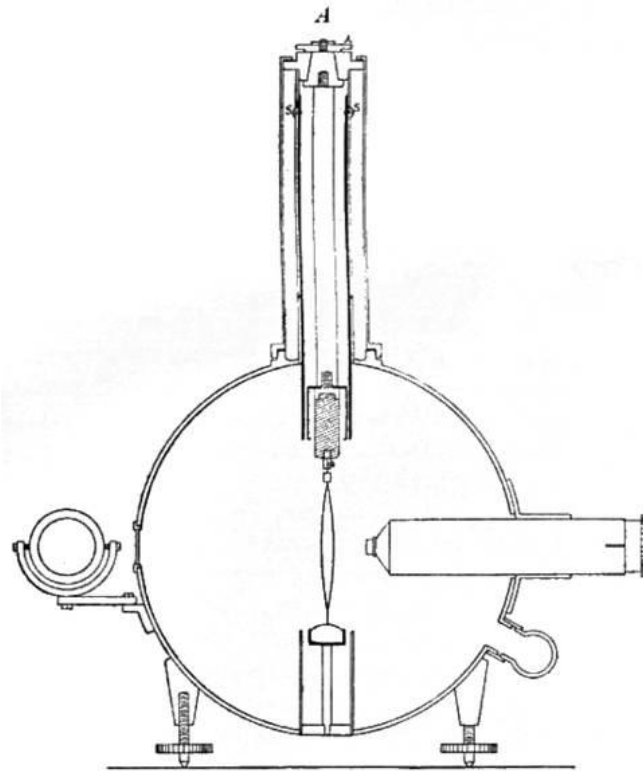
- Шотландский физик Чарльз Вильсон (1869-1959) в 1901 г. поместил электроскоп в каледонийский железнодорожный тоннель



# Чем дальше от земли, тем радиации меньше?..



Теодор  
Вульф  
(1868 – 1946)

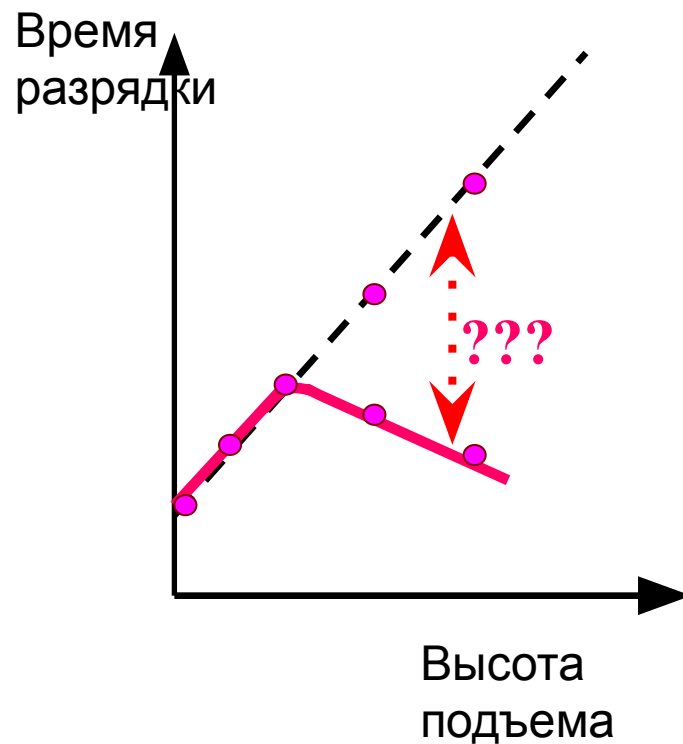


Альберт  
Гоккель  
(1860-1927)

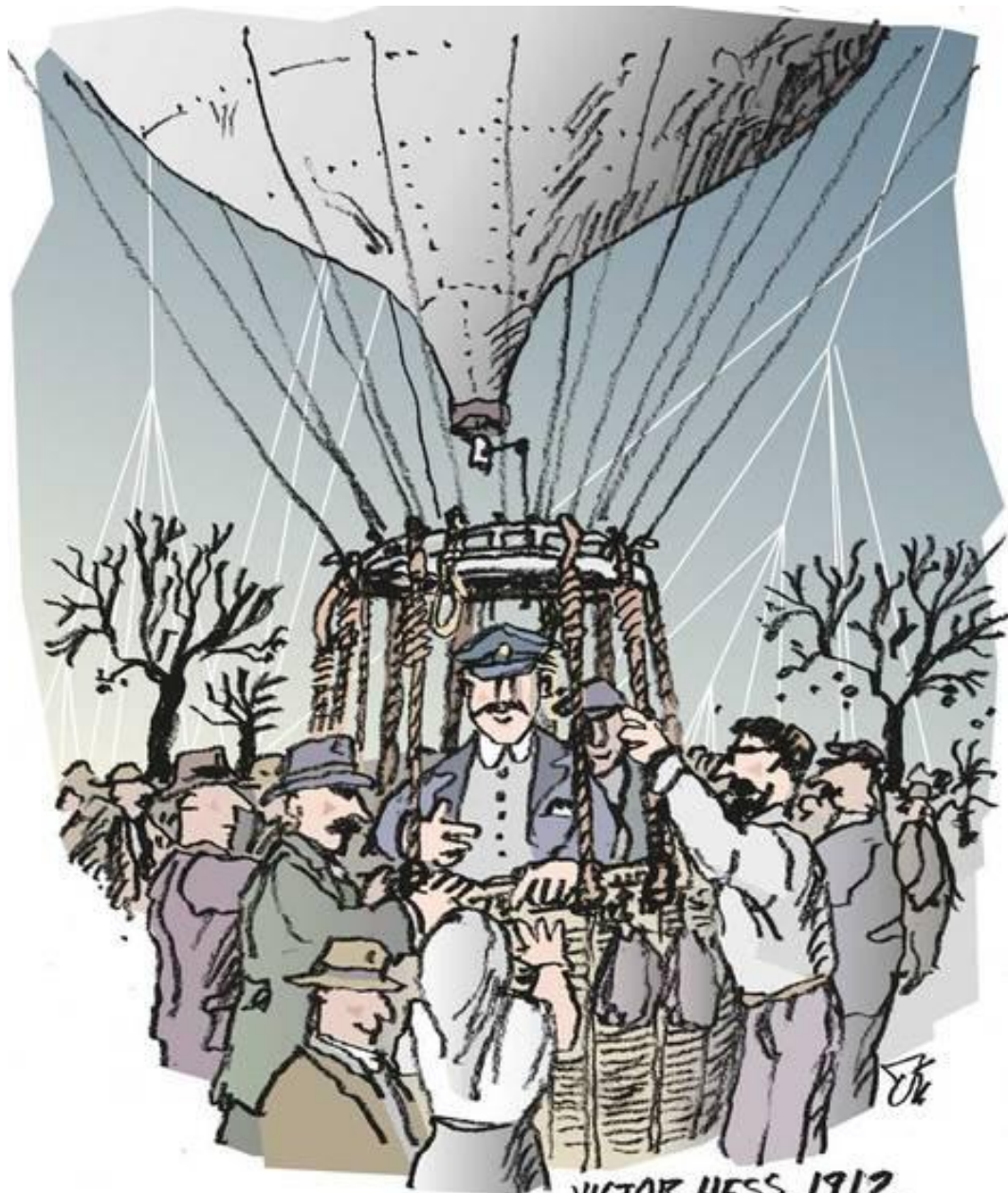
# И всё-таки радиация космического происхождения!!!



Виктор Гесс (1883 –  
1964)  
Полёт 1912 года





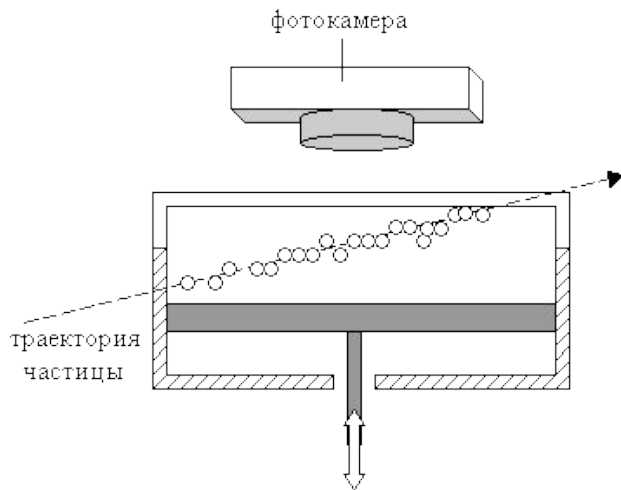


VICTOR HESS, 1912

# Открытие позитрона

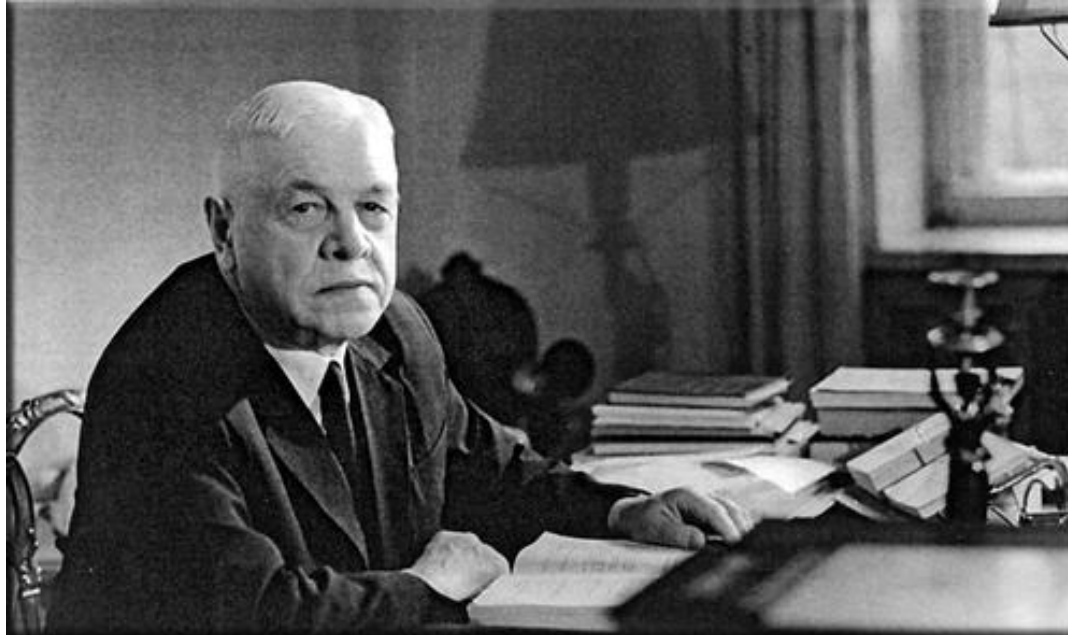


Камера Вильсона образца 1912 года



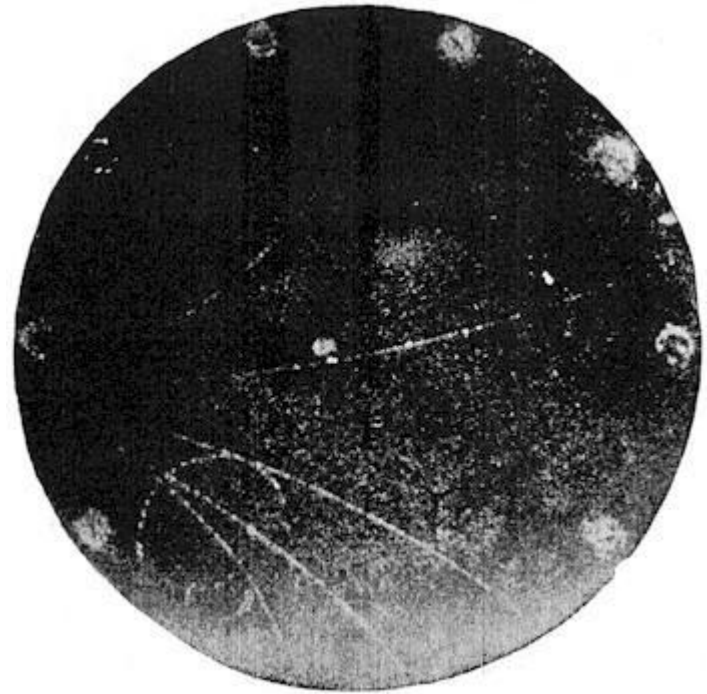
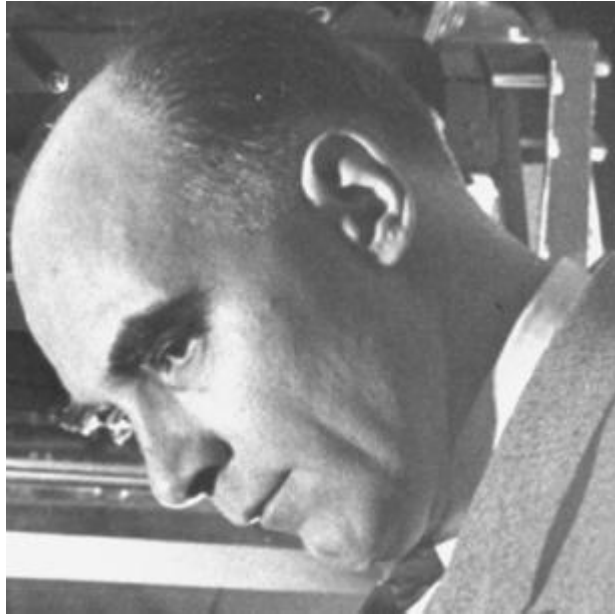
Фотография треков частиц

# Открытие позитрона



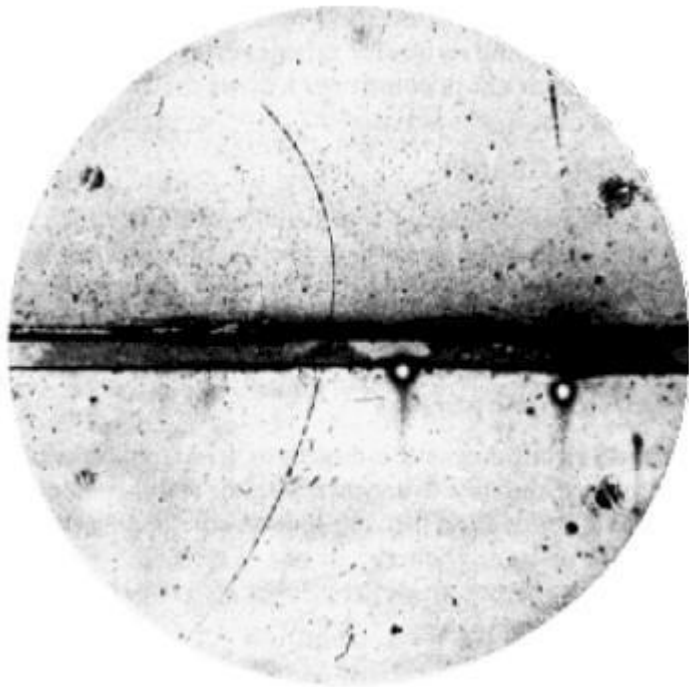
- В 1929 г. Д. В. Скобельцын (1892 - 1990), поместив камеру Вильсона в магнитное поле, неопровержимо доказал, что в составе космического излучения имеются заряженные частицы—электроны. Он обнаружил слабо изогнутые магнитным полем следы таких электронов. На его фотографиях были и следы, слабо изогнутые 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

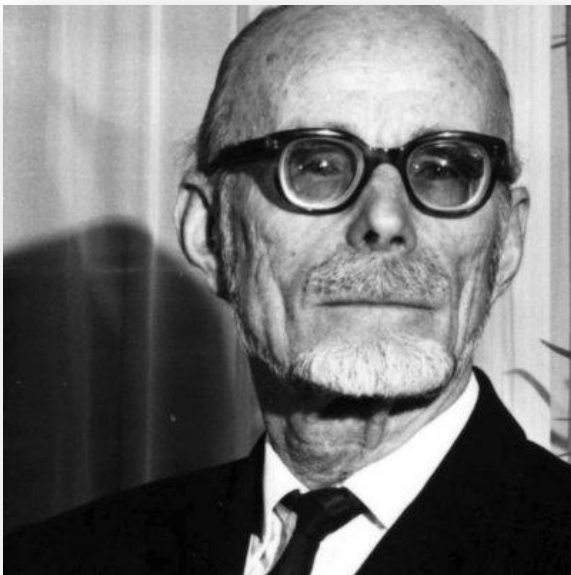


# ...и ещё ряд открытий!

- 1937, открыты мюоны и указан тип их распада;
- 1947, открыты  $\pi$ -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

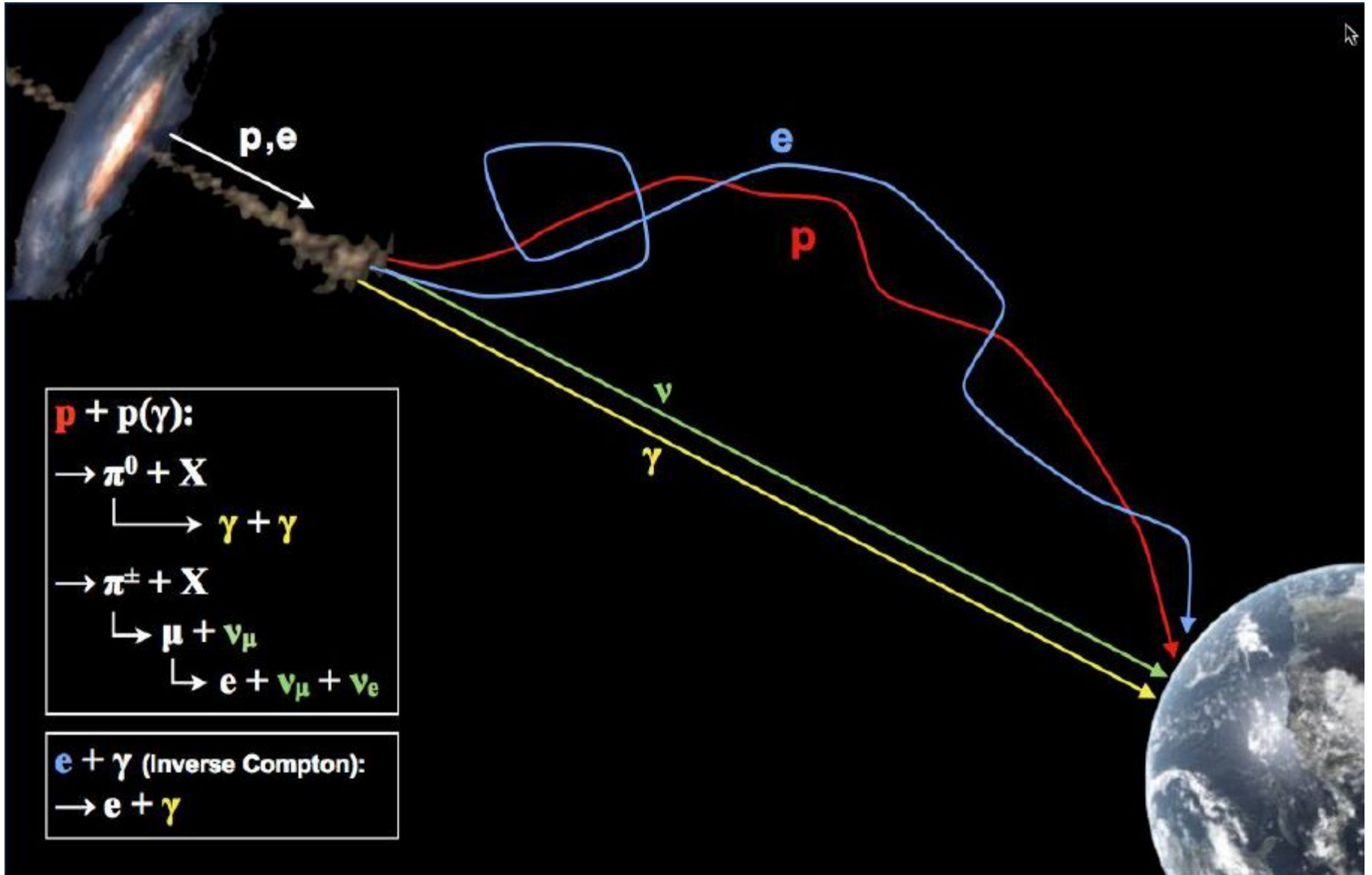
- 1934 году итальянский физик Бруно Росси заметил, что два счетчика Гейгера, находящиеся на расстоянии друг от друга, иногда срабатывали практически одновременно. Увы, дальнейшие работы провести не удалось.



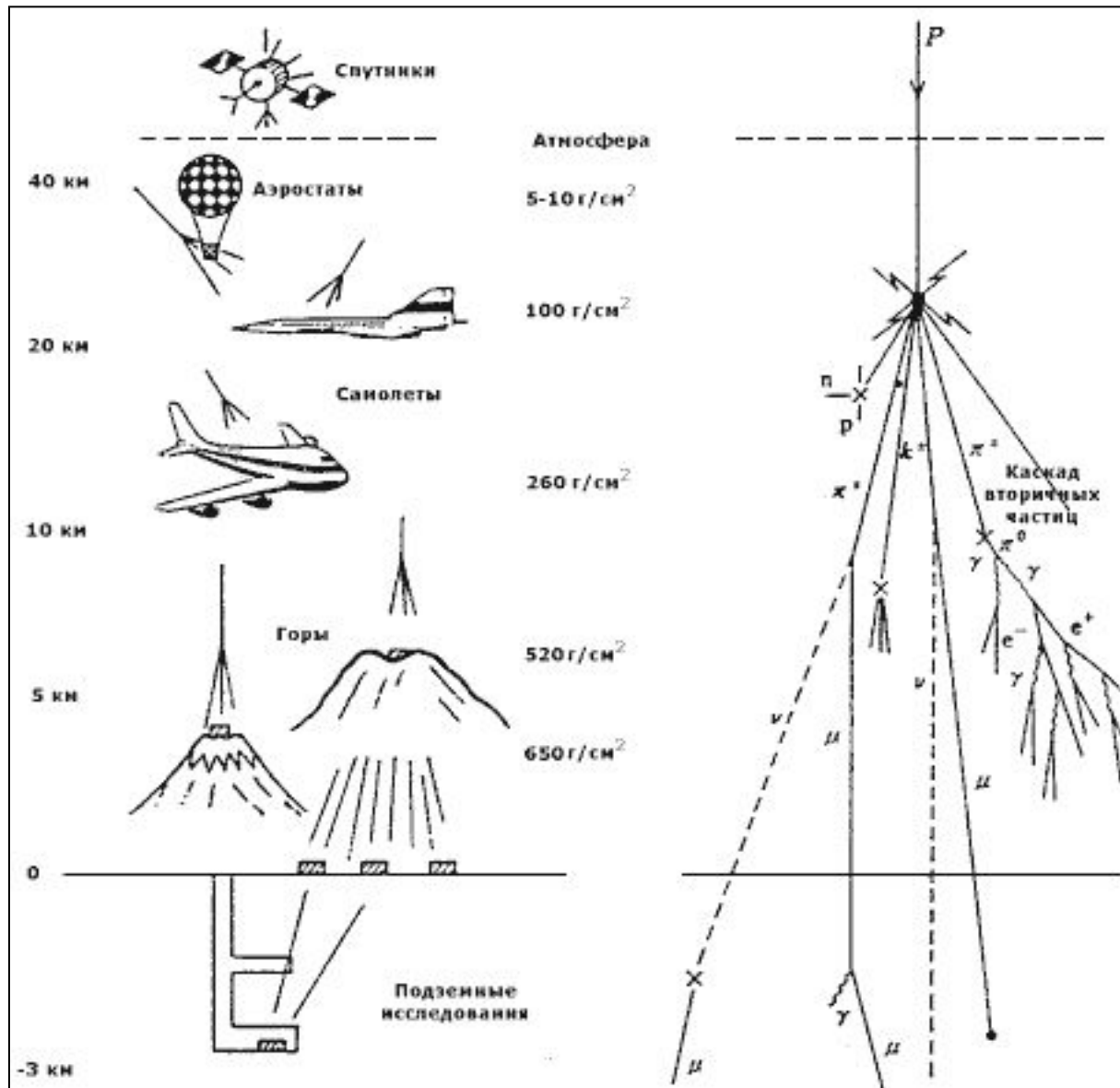
- Пьер Оже независимо обнаружил этот эффект в 1937 году. Одновременное срабатывание нескольких детекторов на расстоянии порядка 100 метров говорило о том, что пришел целый ливень частиц, вероятнее всего, имеющих общее происхождение. Оже сделал правильный вывод, что ливень порождается влетающей в атмосферу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



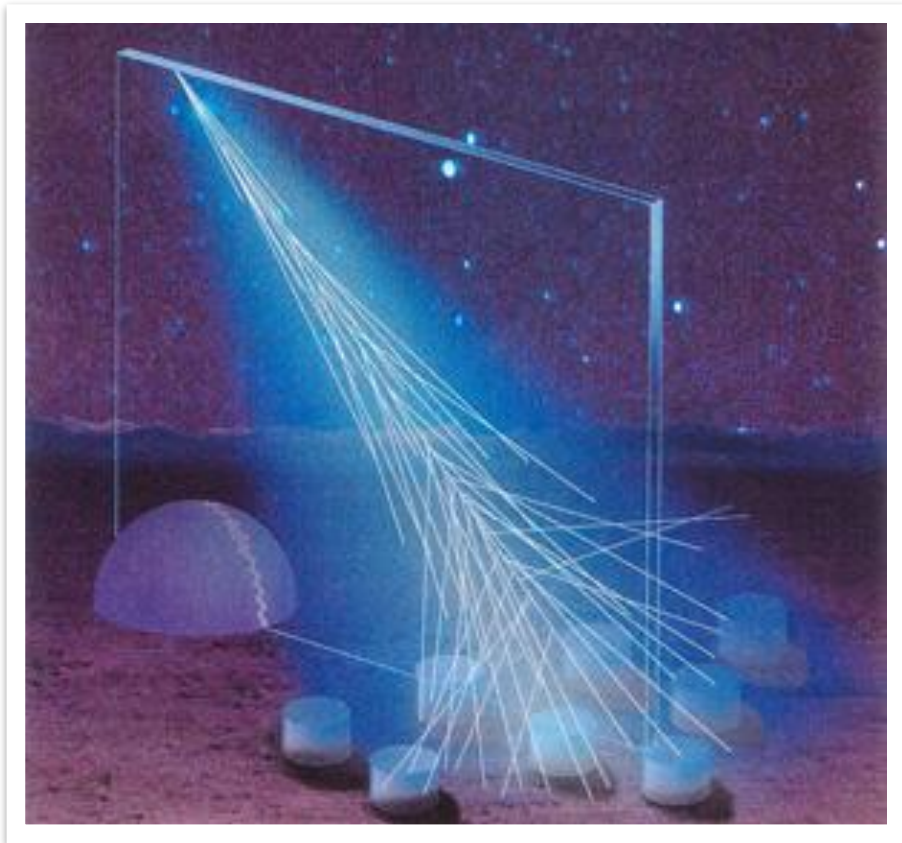




# Способы исследования

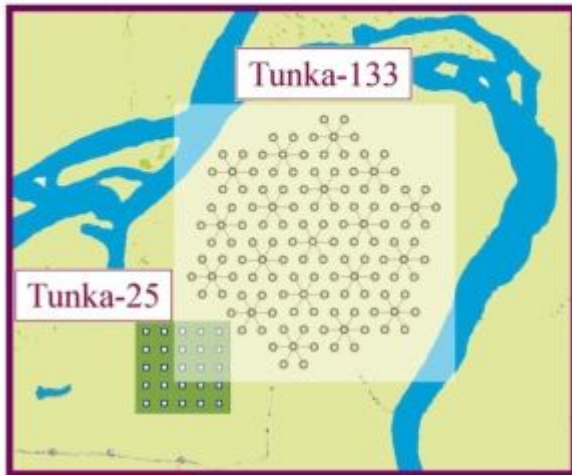


# Регистрация ШАЛ на земле



- 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

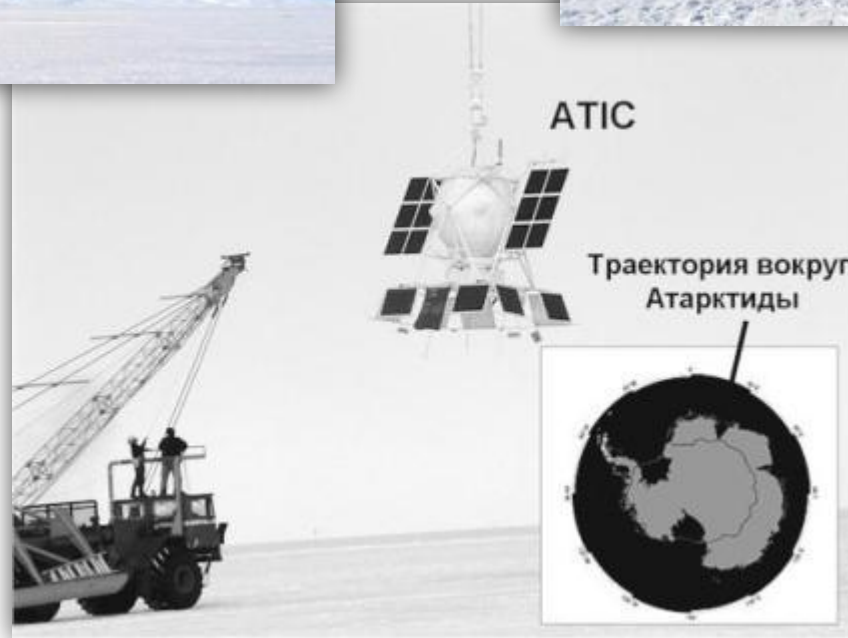


Из презентации Г.А.Шелкова (ОИЯИ, г. Дубна)

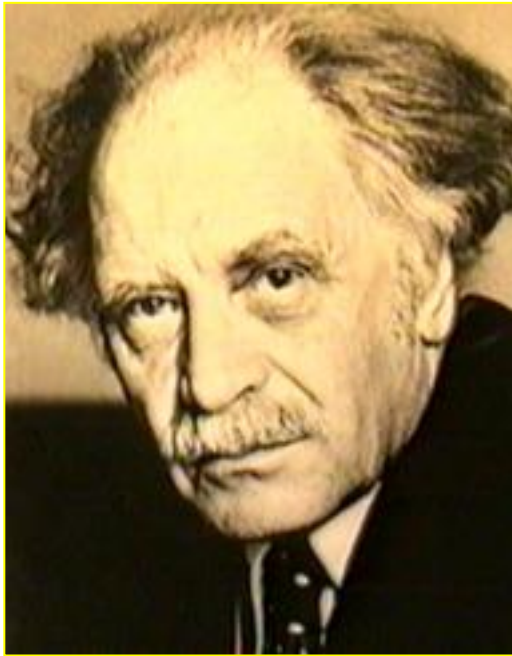
# Пример оптического детектора Тунка-133



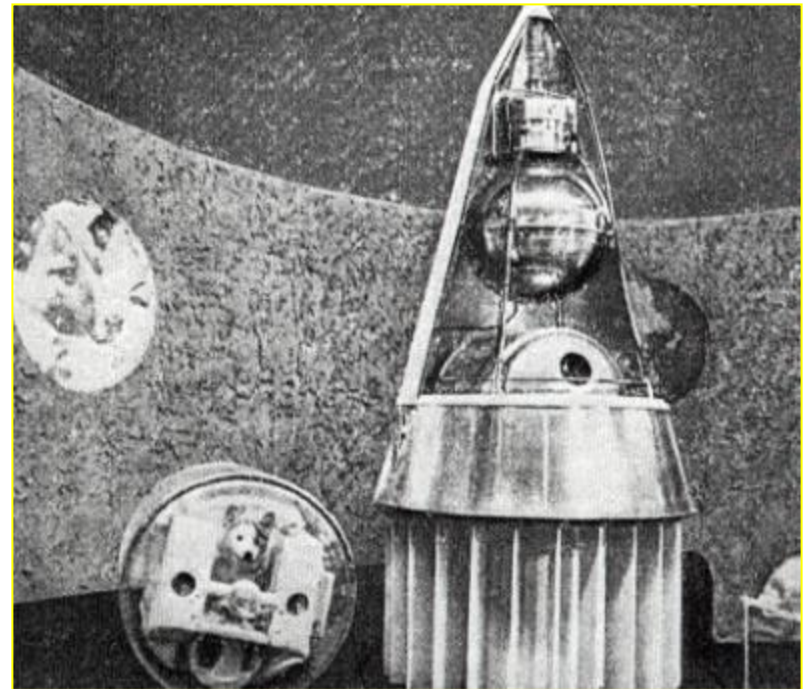
# Исследования в атмосфере



# Первый космический счётчик



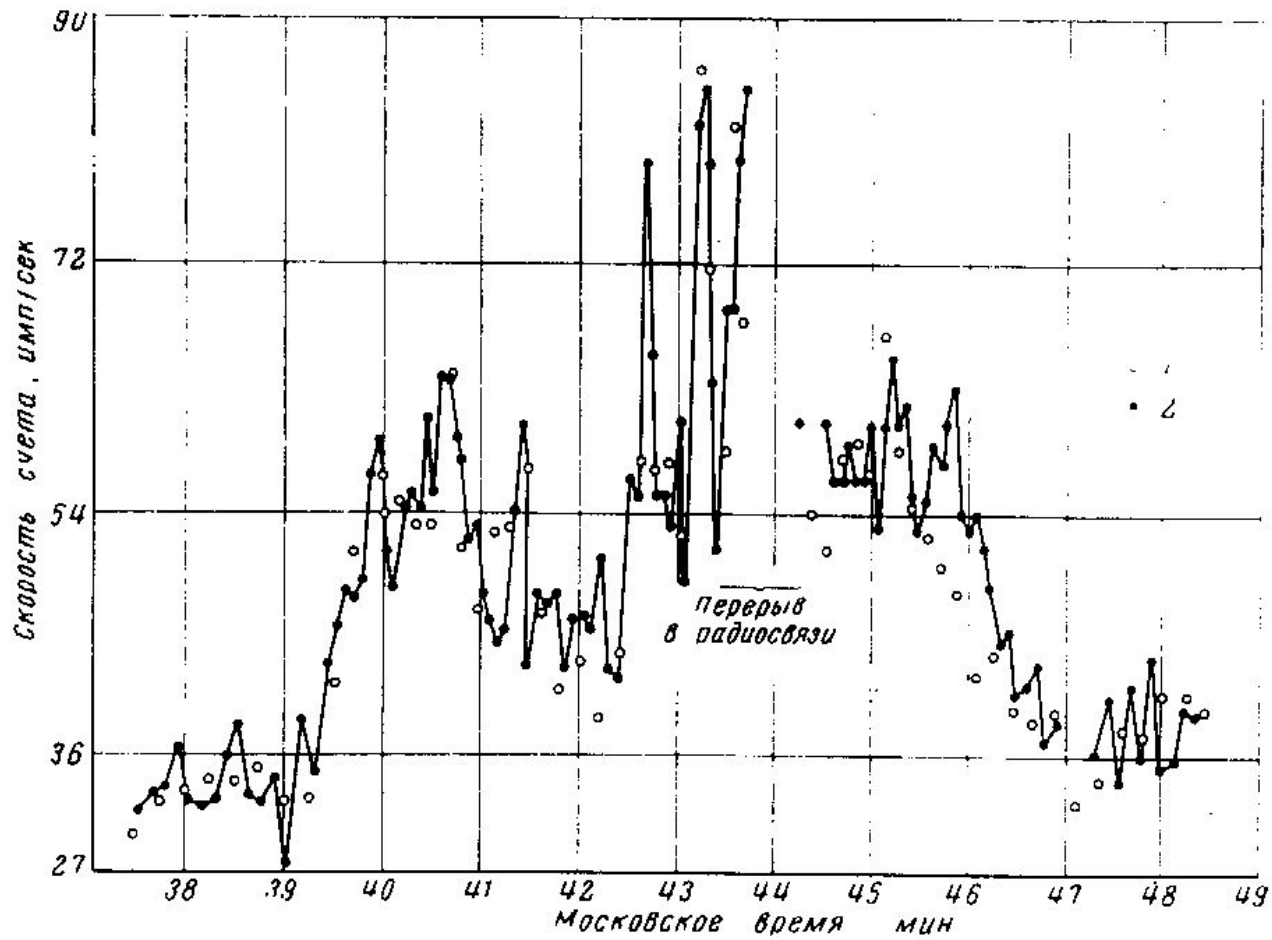
Вернов С.Н. (1910 – 1982)



1957 г.



# Результаты измерений



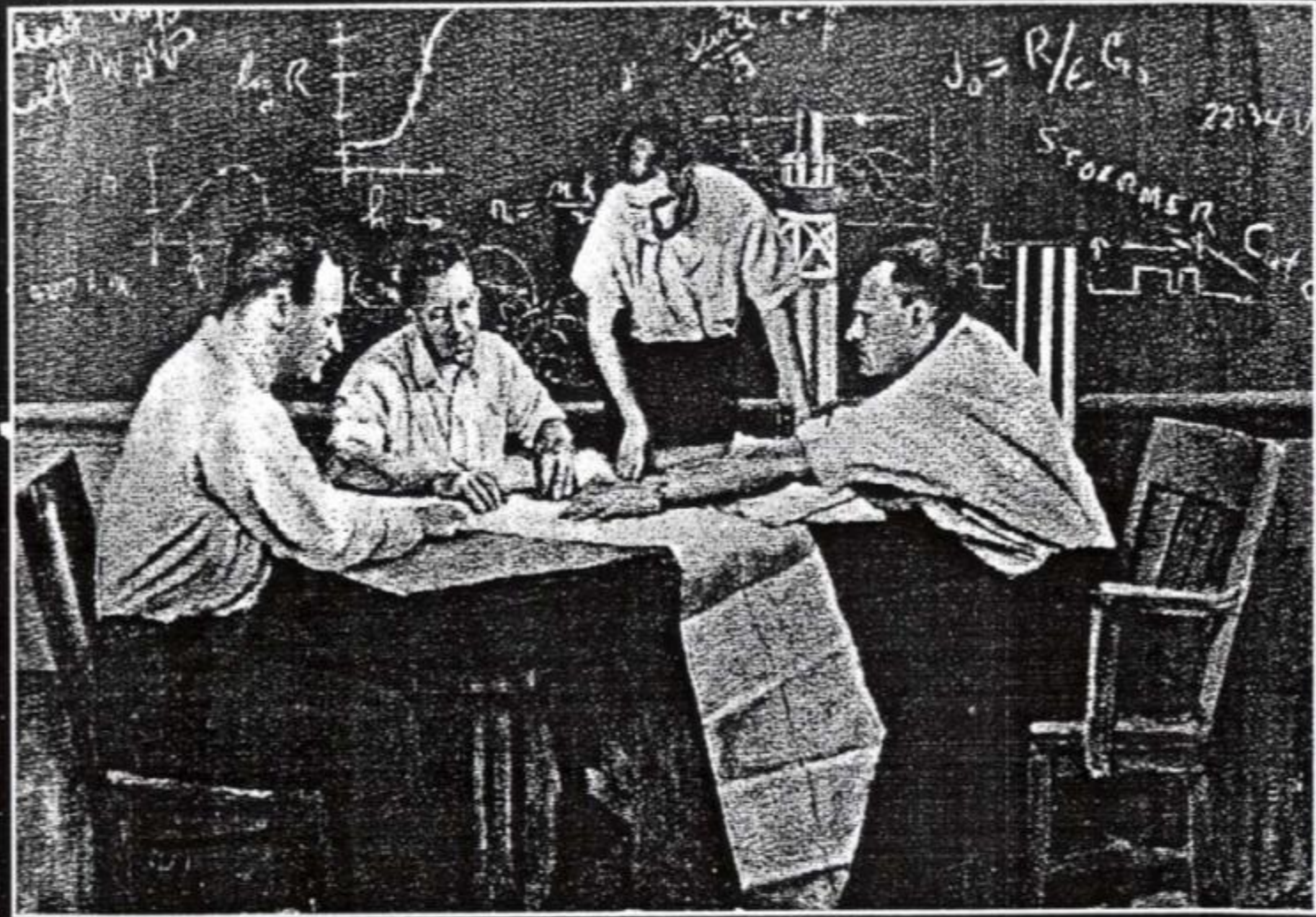
# Тем временем в США...



1958 г.



Джеймс ван Ален (1914 –  
2006)

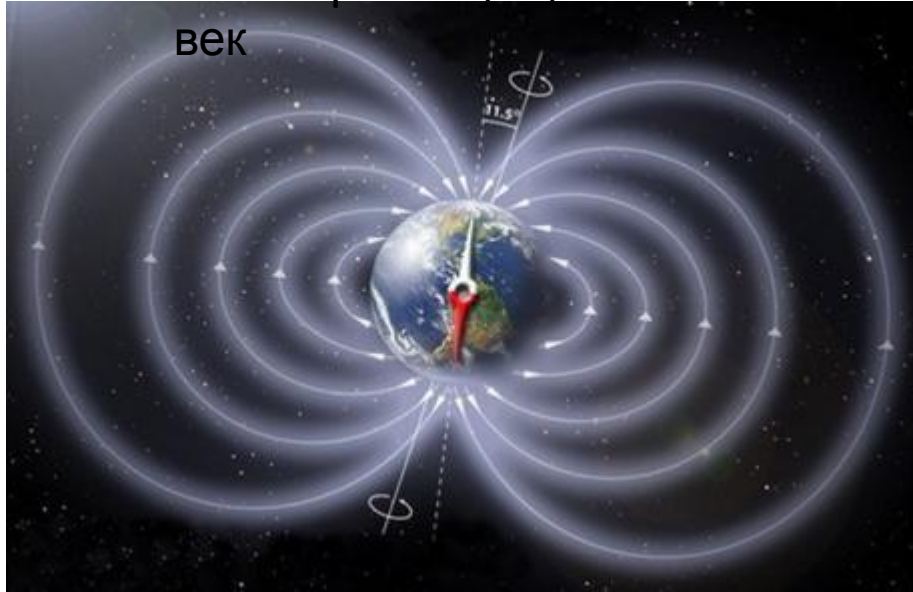


"My God, space is  
radioactive!"

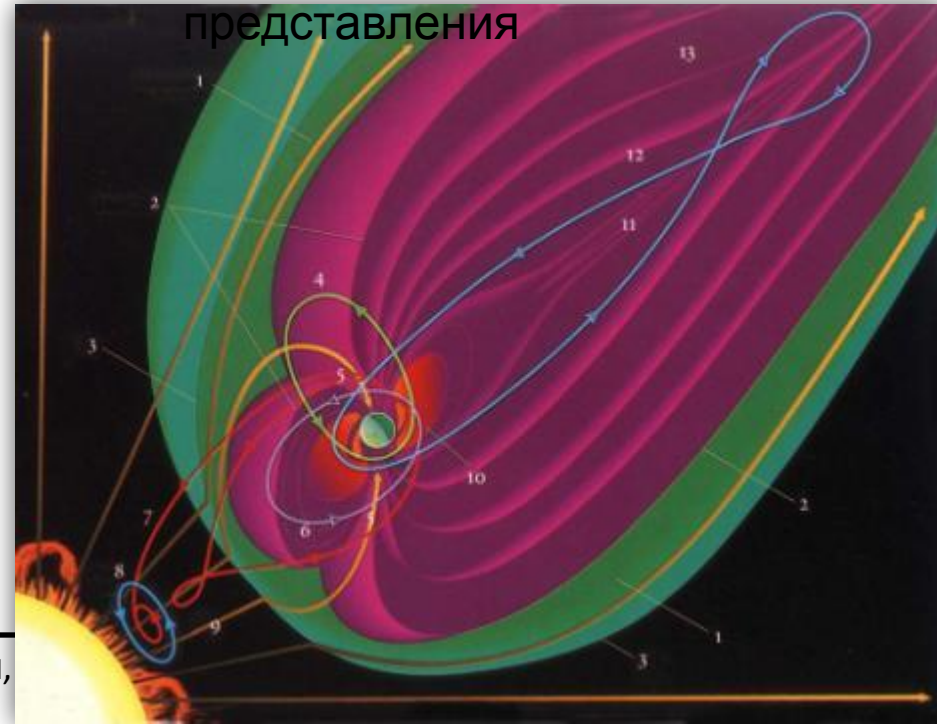
Dr. Ernest C. Ray  
March 28, 1958

# Магнитосфера Земли

Гильберт и Гаусс, XVII  
век

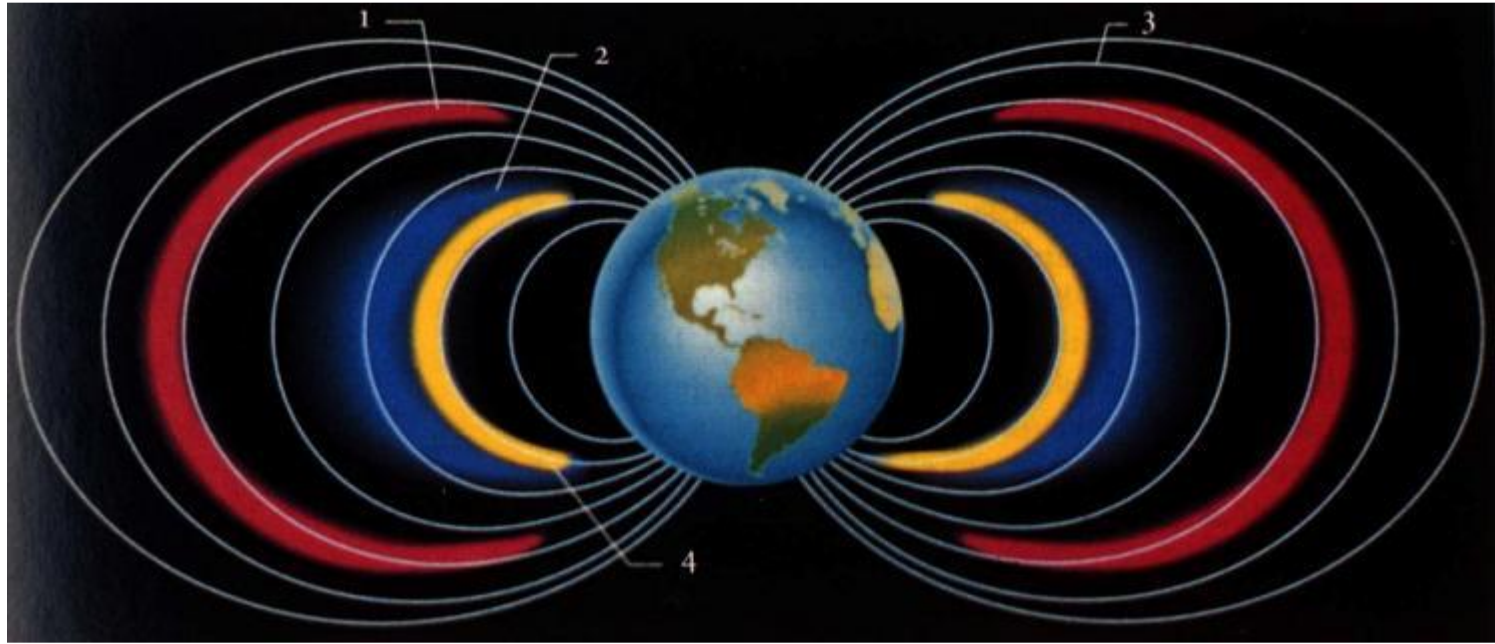


Современные  
представления



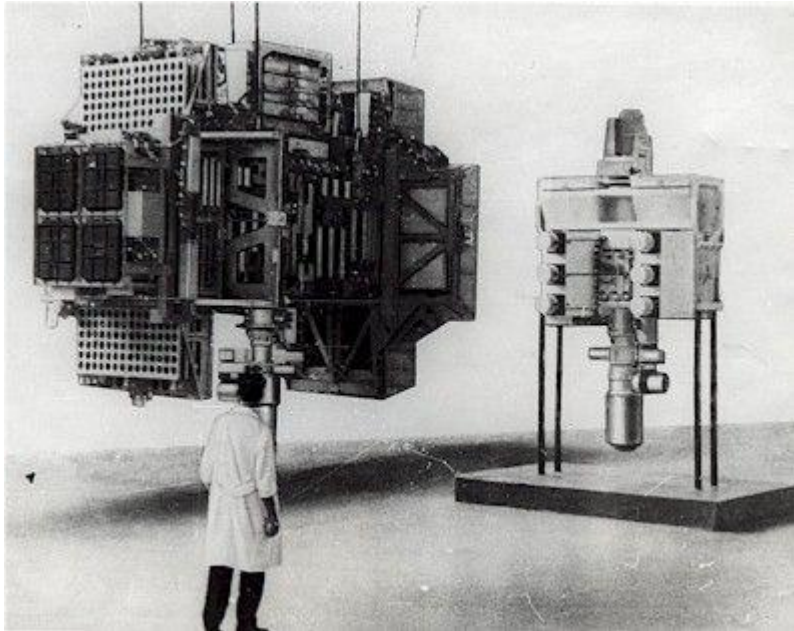
- 1 – плазменный слой,
- 2 – магнитопауза,
- 3 – фронт ударной волны,
- 4, 6, 7, 8, 12 – орбиты космических аппаратов,
- 5 – касп,
- 9 – солнечный ветер,
- 10 – радиационные пояса,
- 11 – нейтральный слой,
- 13 – хвост магнитосферы.

# Радиационные пояса Земли



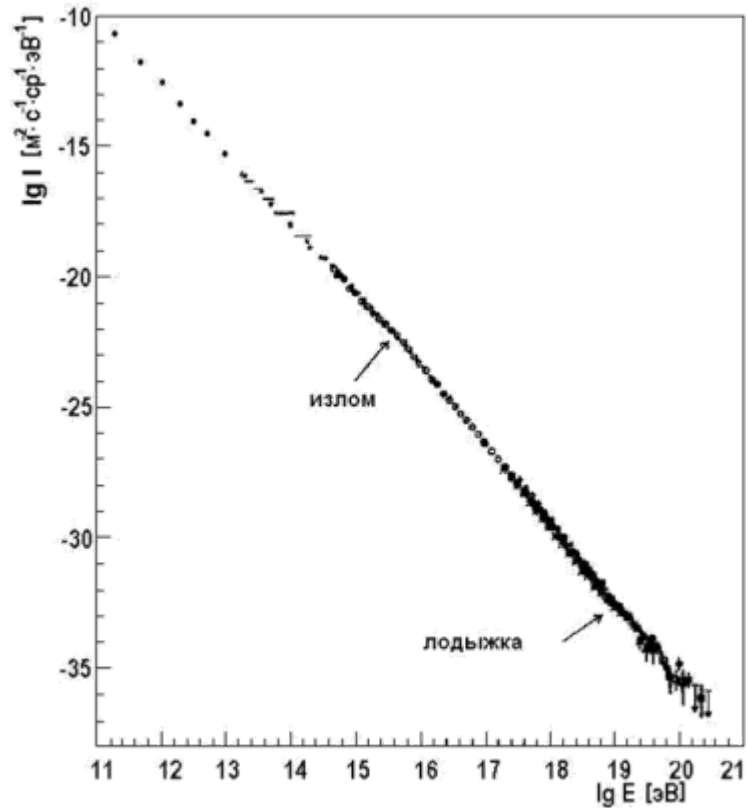
- 1 – внешний радиационный пояс Земли (высота до 40 000 км).
- 2 – внутренний радиационный пояс (высота до 30 000 км).
- 3 – магнитные силовые линии.
- 4 – третий радиационный пояс обнаружен со спутников и образован межгалактическими космическими лучами (МГКЛ).

# Спутники серии Протон

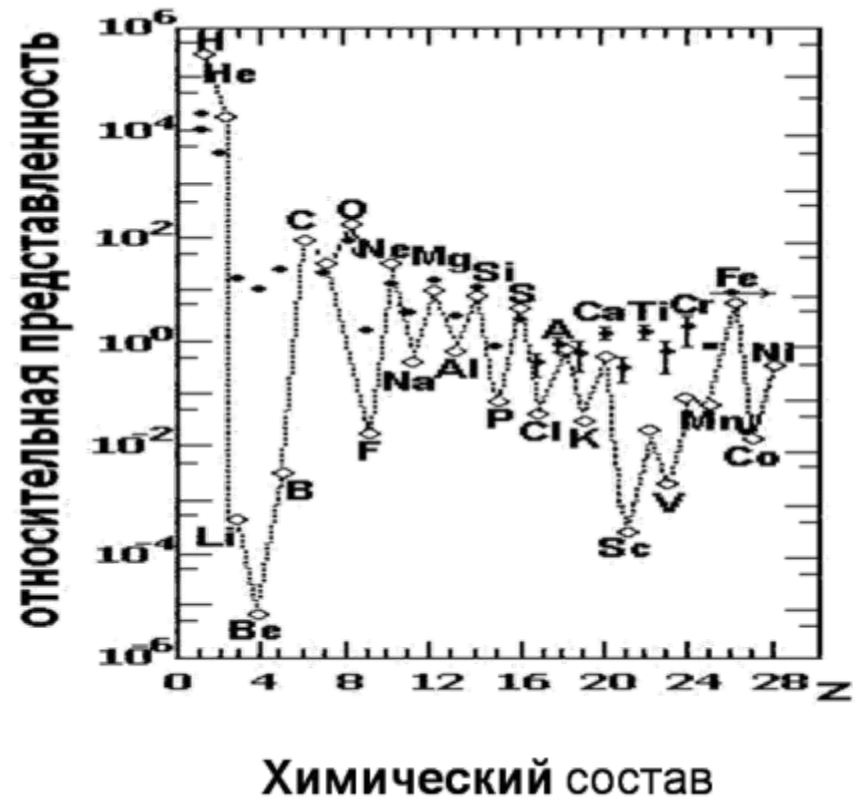


- На четырех спутниках серии "Протон" были получены первые прямые экспериментальные материалы об энергетическом спектре всех частиц до  $10^{15}$  эВ, а также о зависимости сечения протон-протонного взаимодействия от энергии в области  $10^{11}$  -  $10^{12}$  эВ.
- В течение почти 20 лет полученные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

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

**ПОТОК**

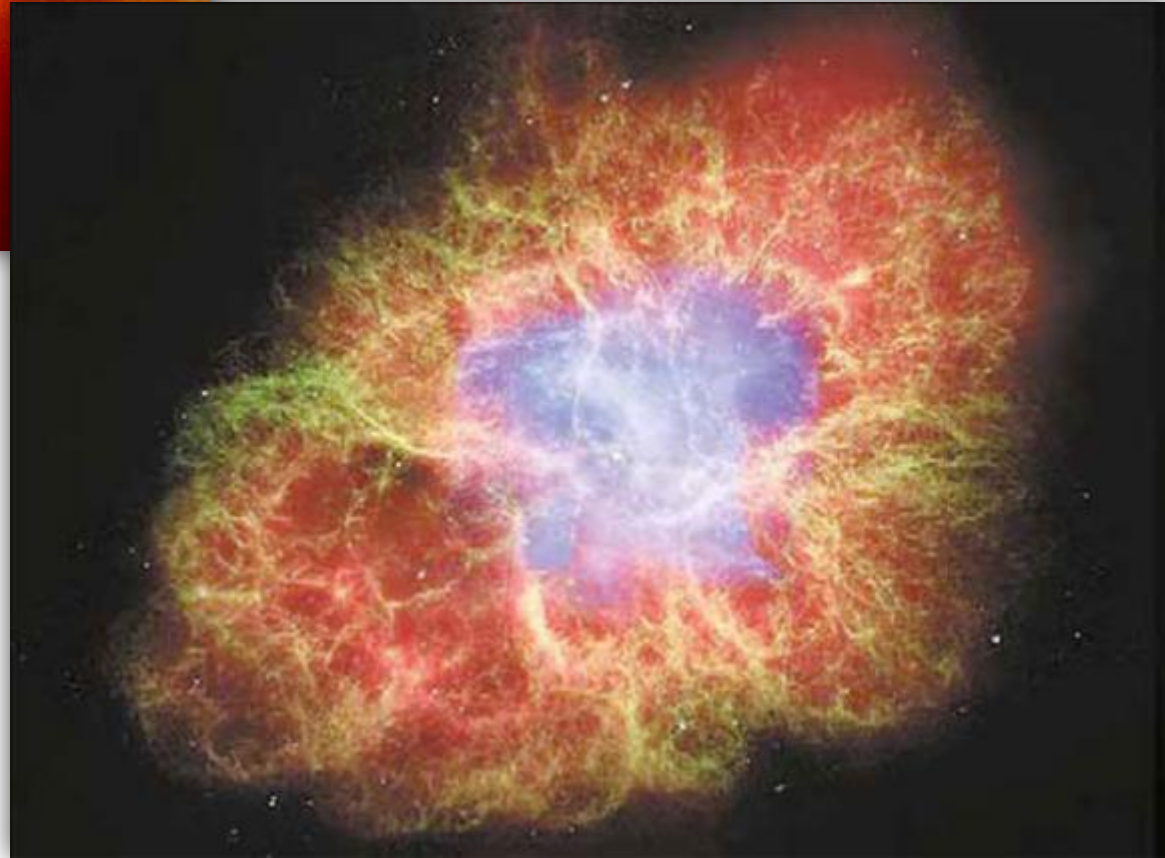
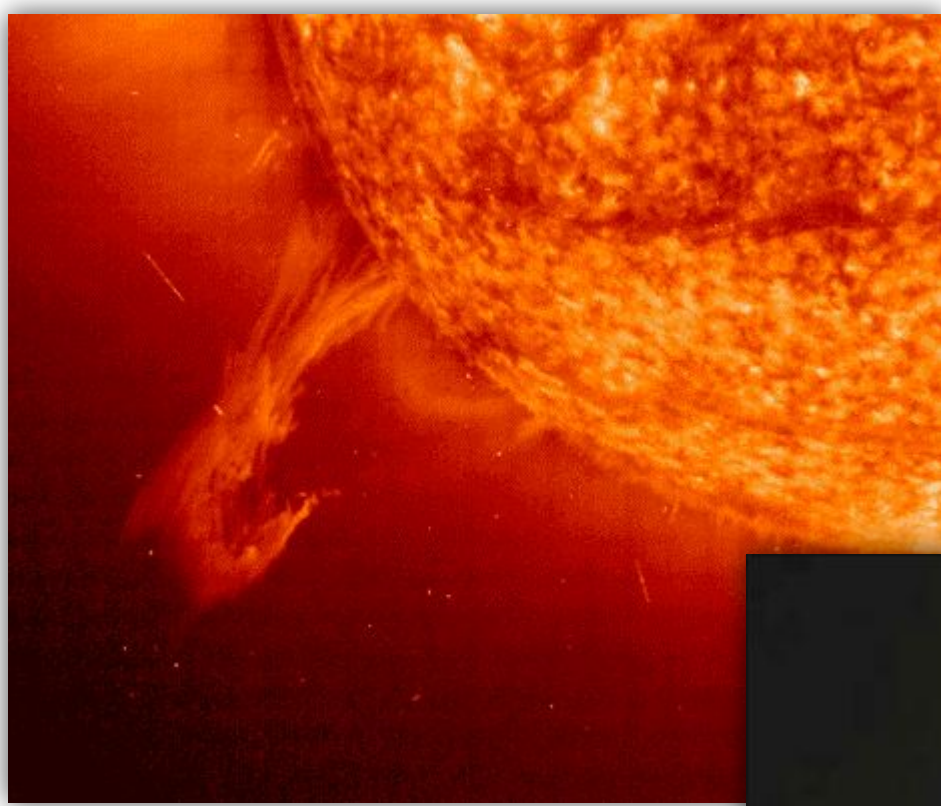
**СОСТАВ**

**ЭНЕРГИЯ**

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

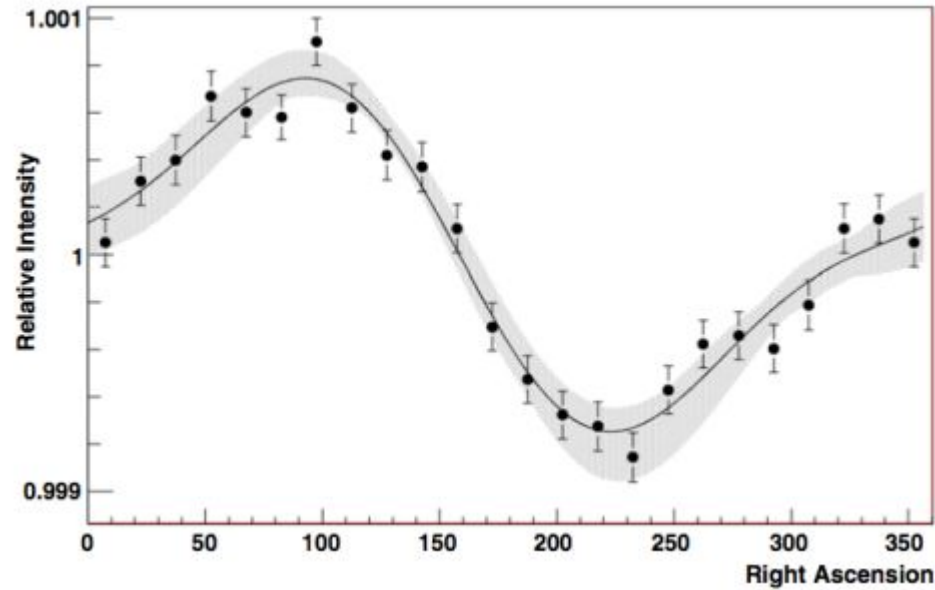


Солнечный  
протуберанец

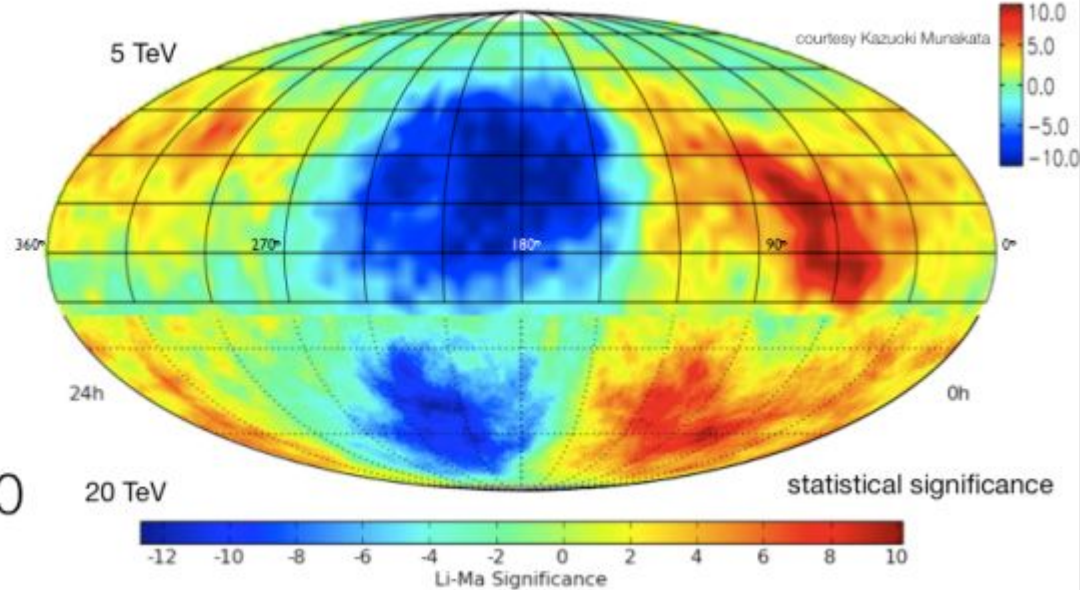


Крабовидная  
туманность

# Анизотропия космических лучей



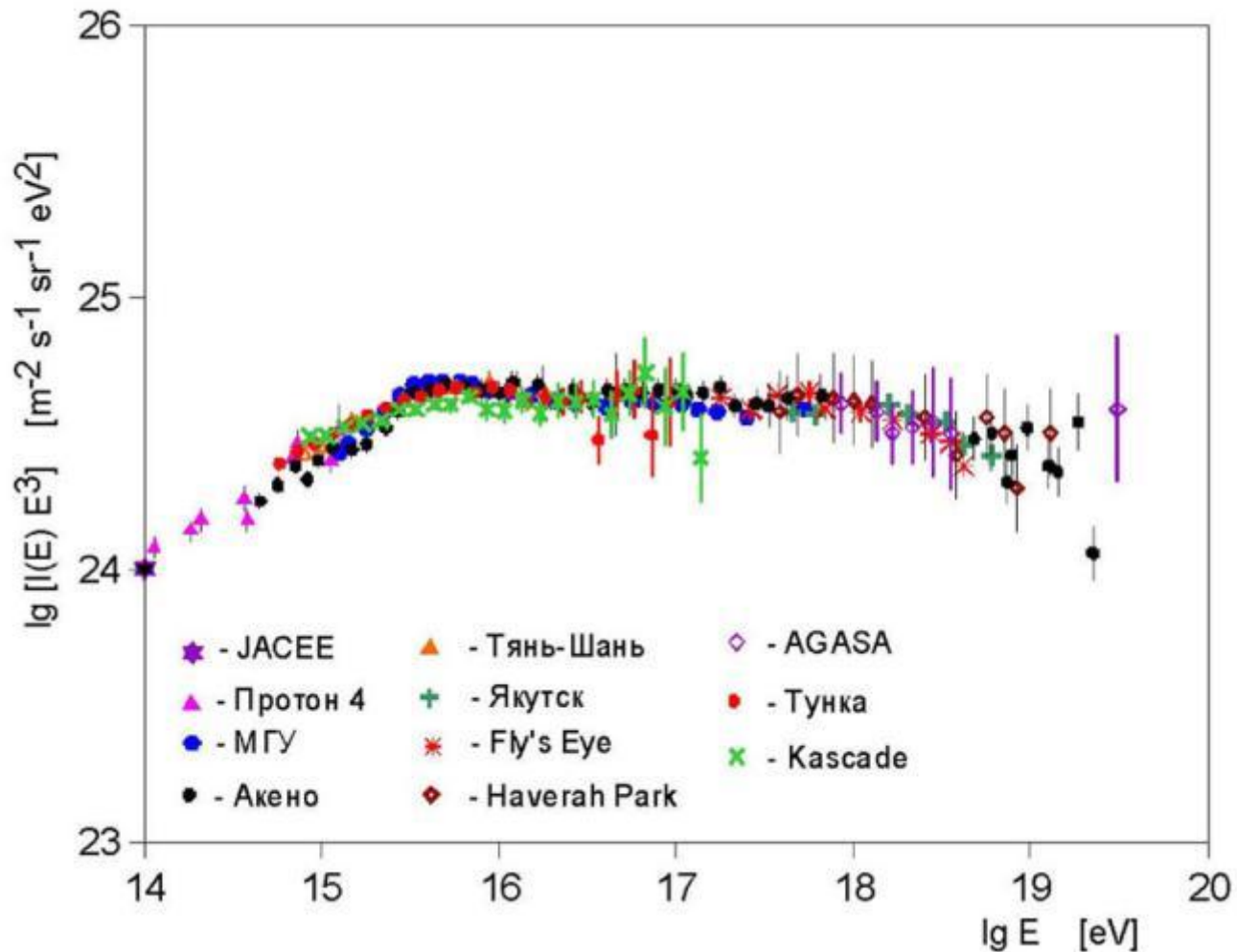
Tibet-III  
(5° smoothing)

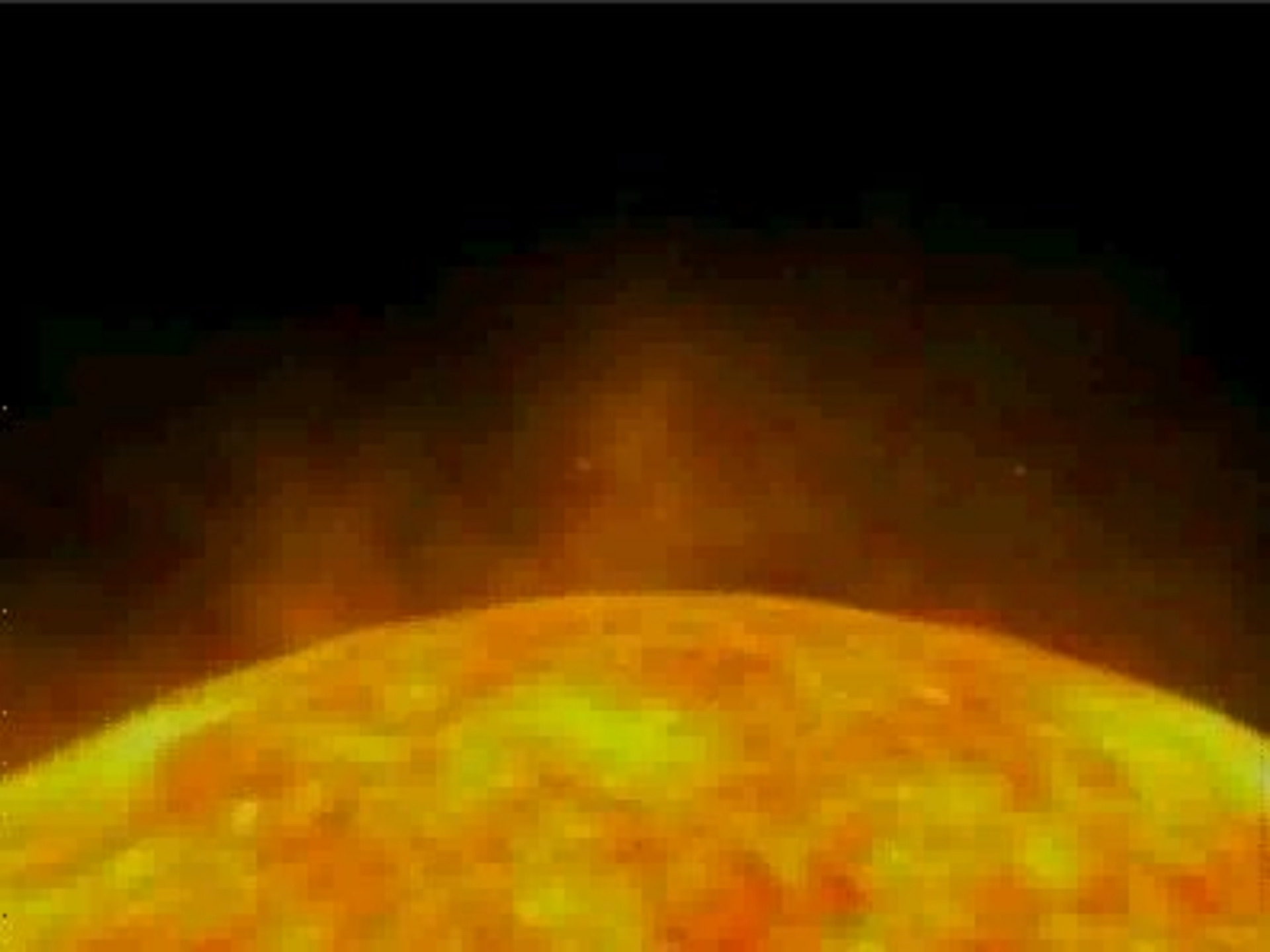


IceCube-40  
(3° smoothing)



# Есть ли частицы с большей энергией?..





И ещё пару слов...

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

