

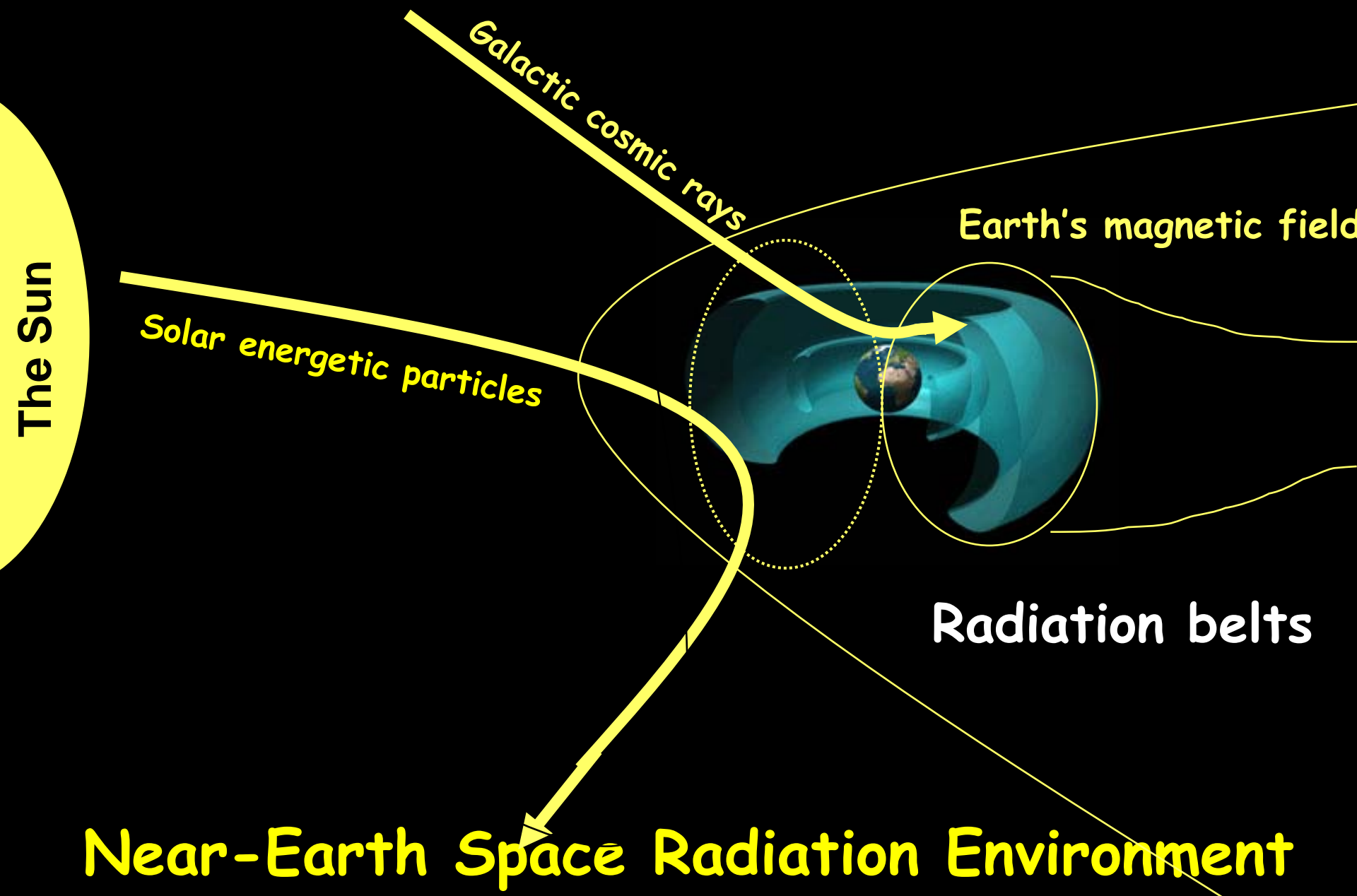
Радиационный моделирование, мониторинг и исследования космических лучей для долговременной Лунной Базы



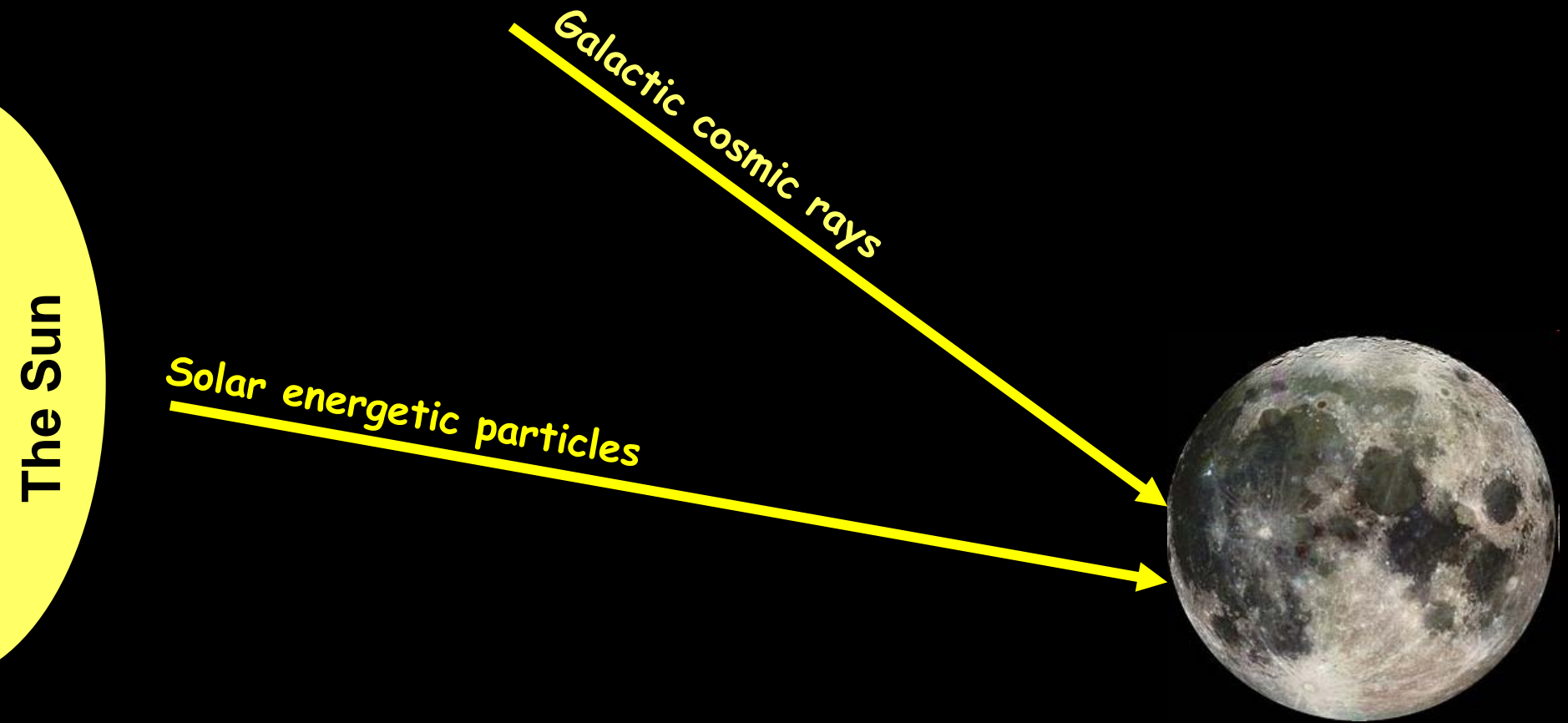
М. Панасюк

*НИИ ядерной физики им. Д.В. Скобельцына
МГУ им. М.В. Ломоносова*

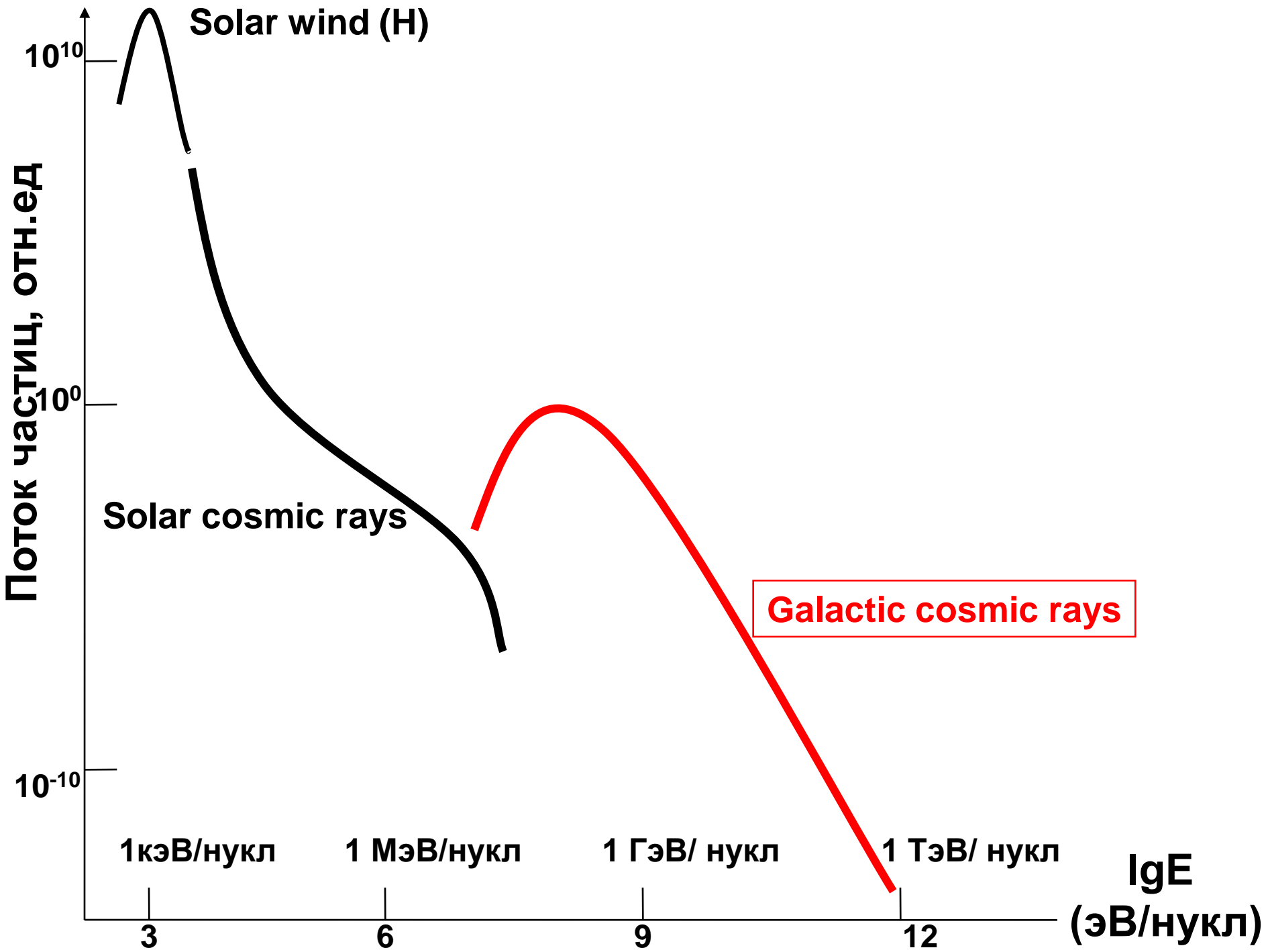
Космическая радиация вблизи Земли



Космическая радиация вблизи Луны



Near-Moon Space Radiation Environment



Галактические космические лучи

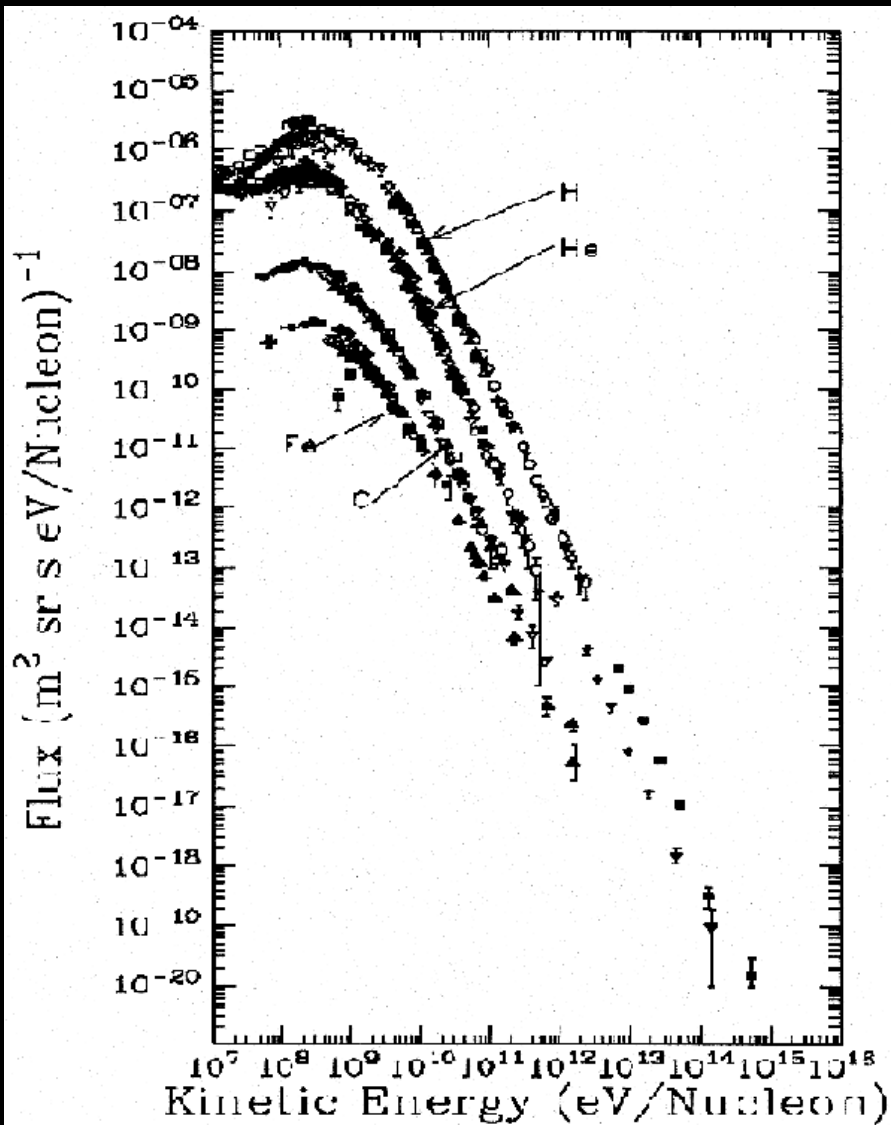
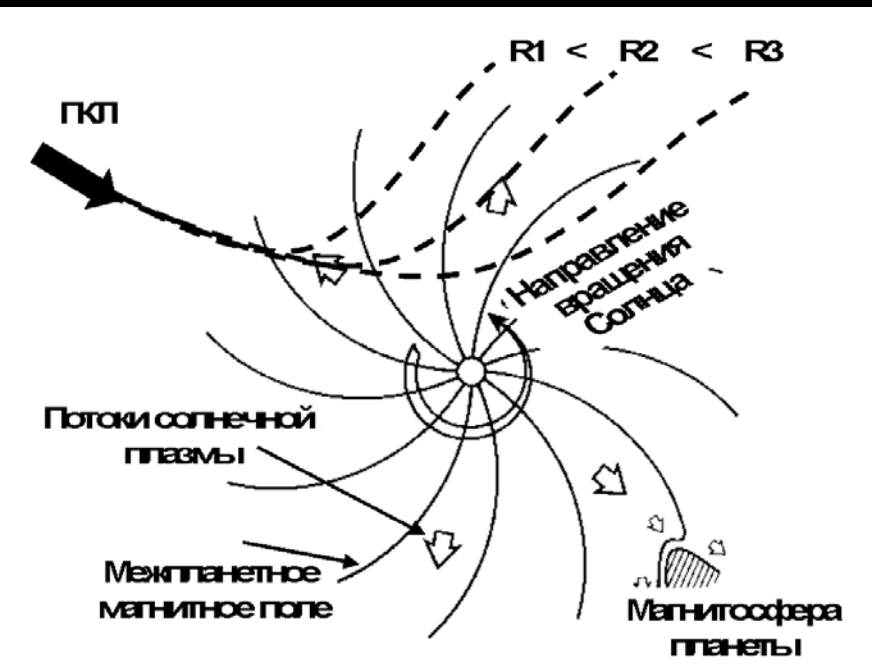


Figure 3. The cosmic ray differential energy spectrum in kinetic energy per nucleon for the elements H, He, C and Fe.

- * Galactic and extra-Galactic origin.
- * All elements.
- * Fully ionized.
- * Omnidirectional
- * 10⁸ - 10²¹ eV.
- * Solar cycle modulation (11 years).

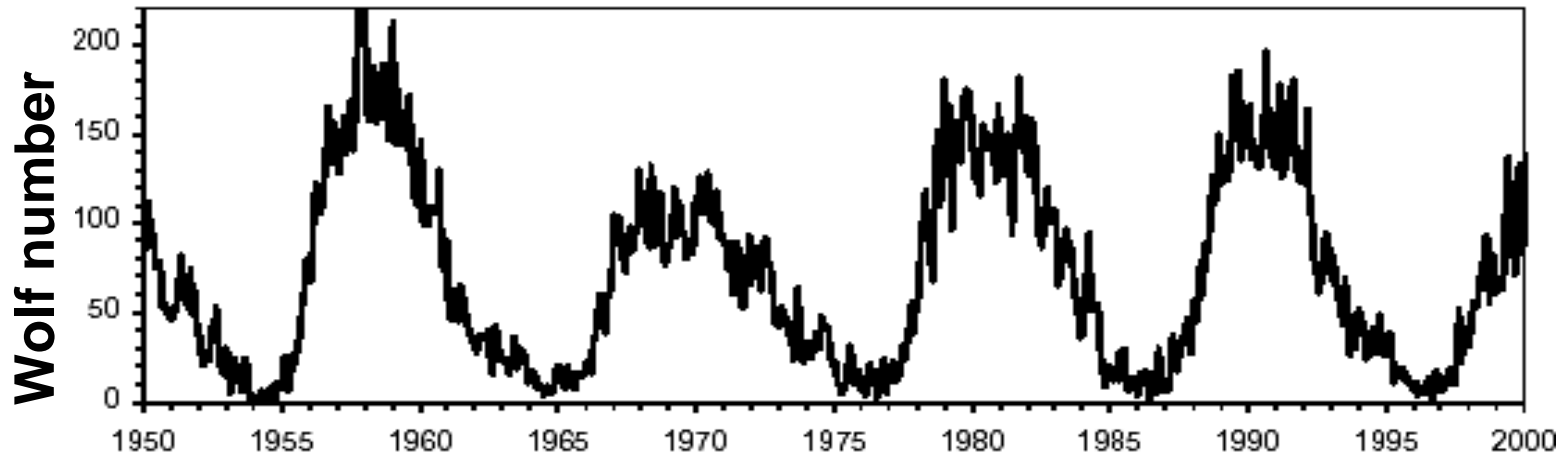
Earth's Radiation Environment



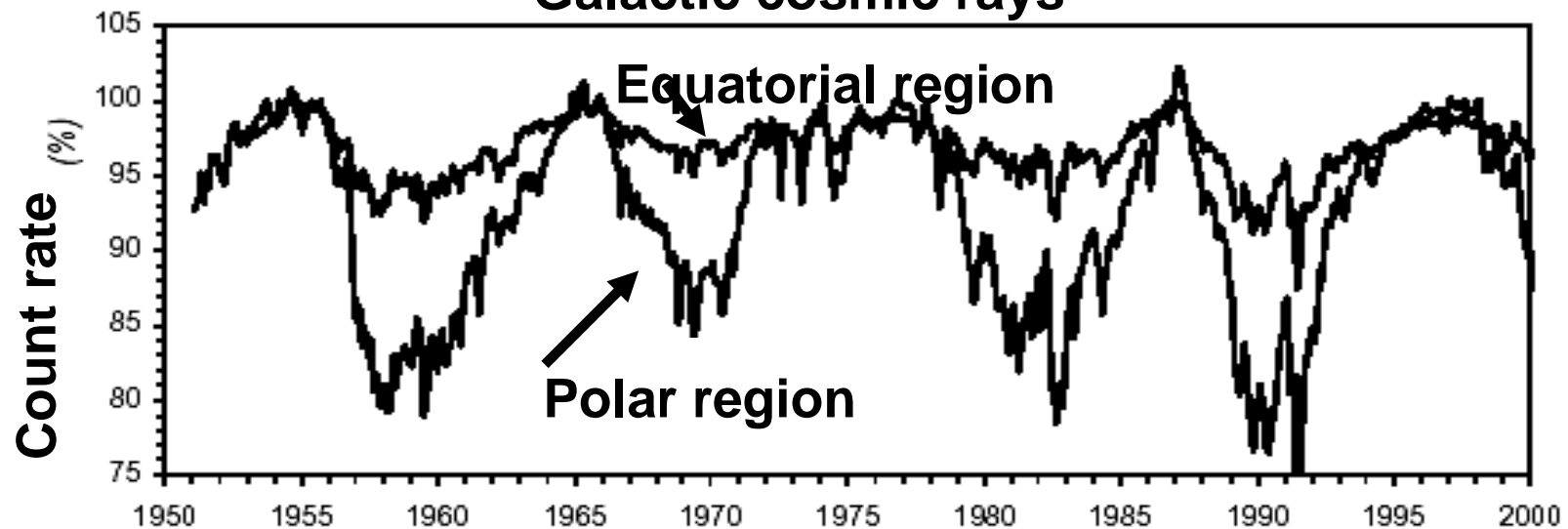
Galactic cosmic rays

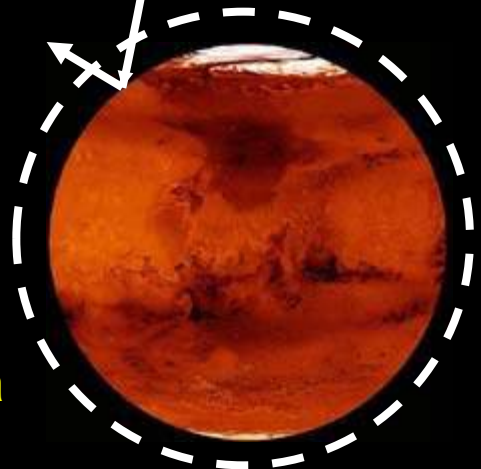
Galactic Cosmic Rays

Solar activity



Galactic cosmic rays



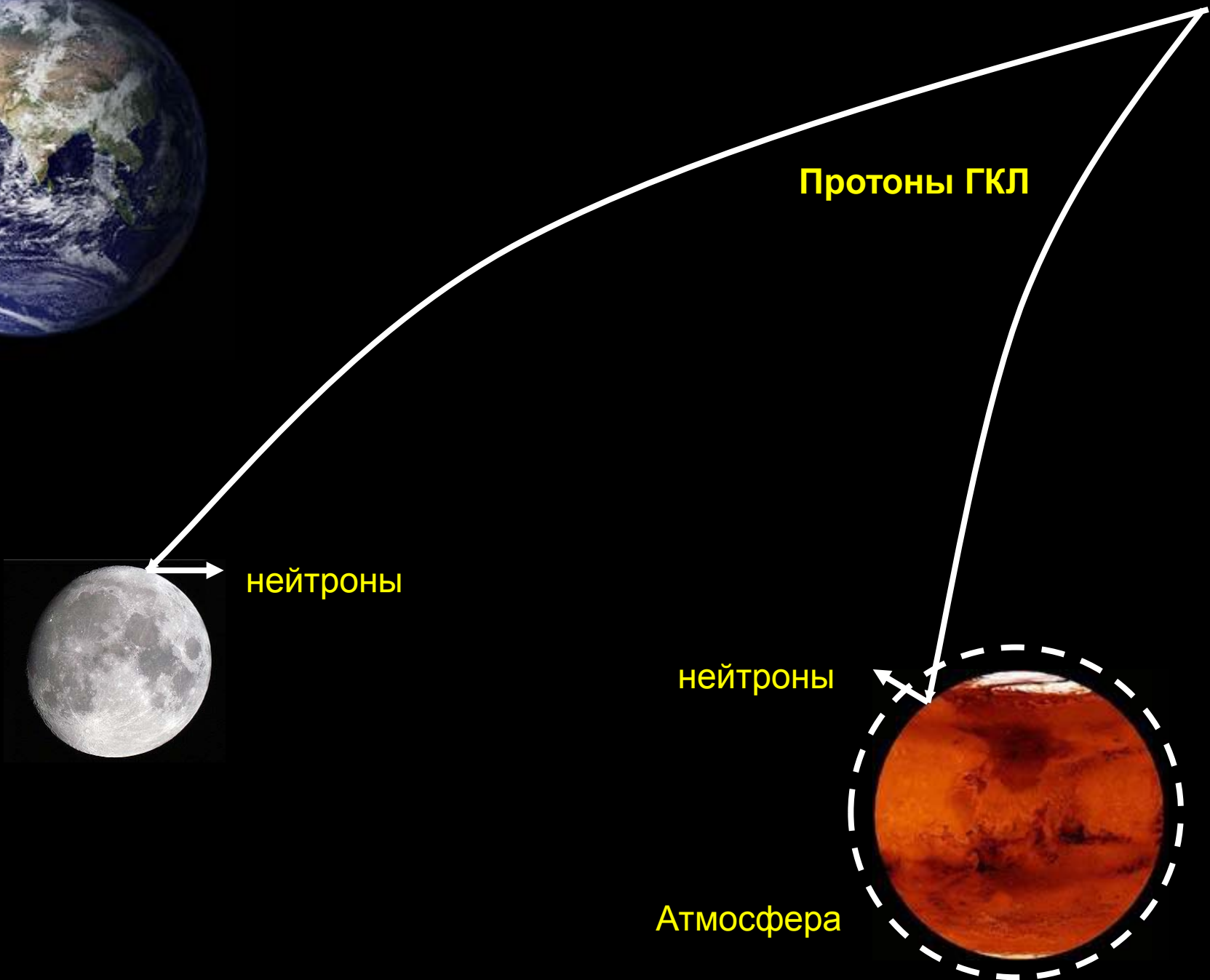


нейтроны

Протоны ГКЛ

нейтроны

Атмосфера

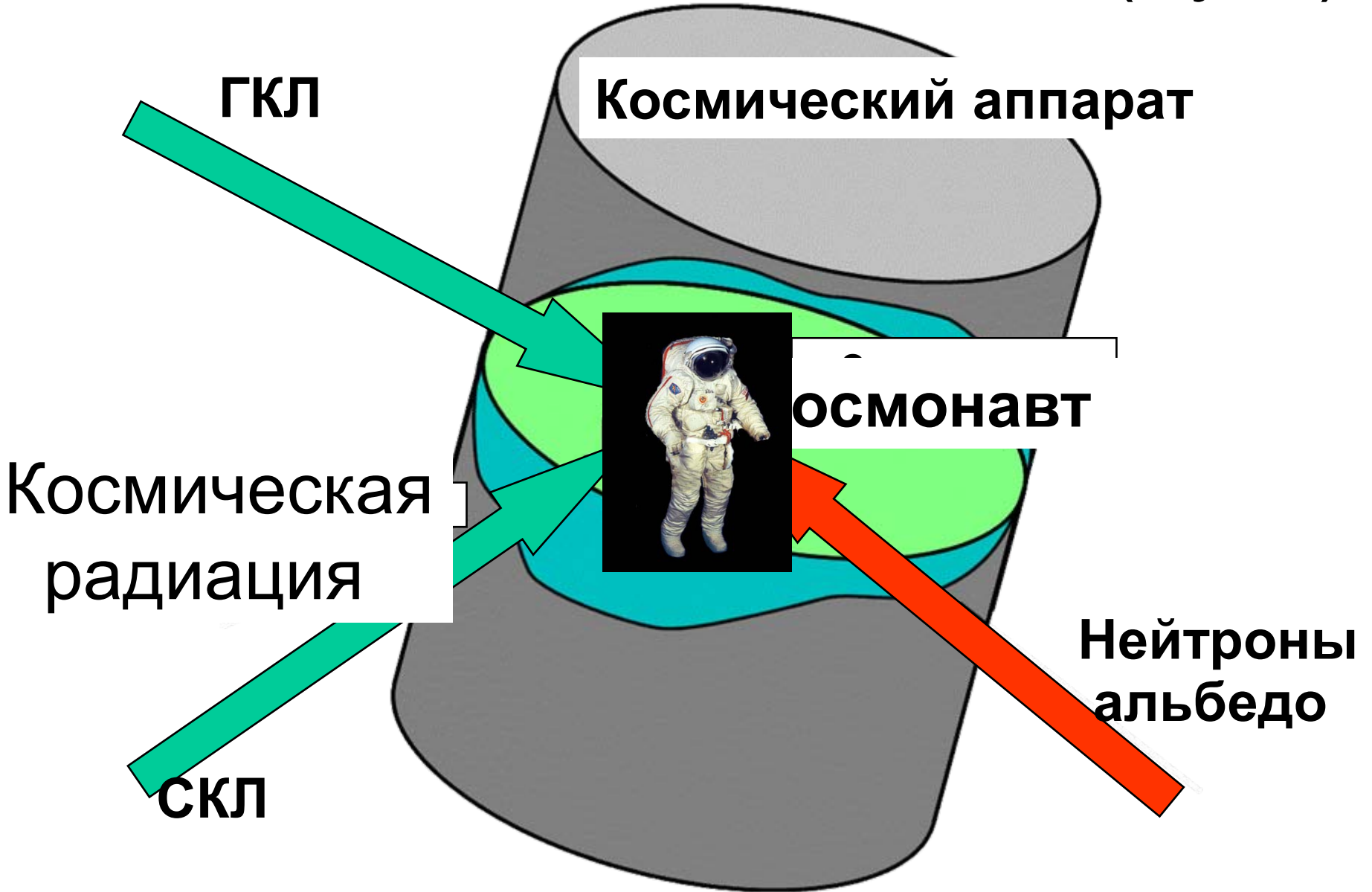


Нейтроны на Луне и Марсе

Флюенс



Радиационное воздействие (Луна)



Модели радиационных полей

В КОСМОСЕ

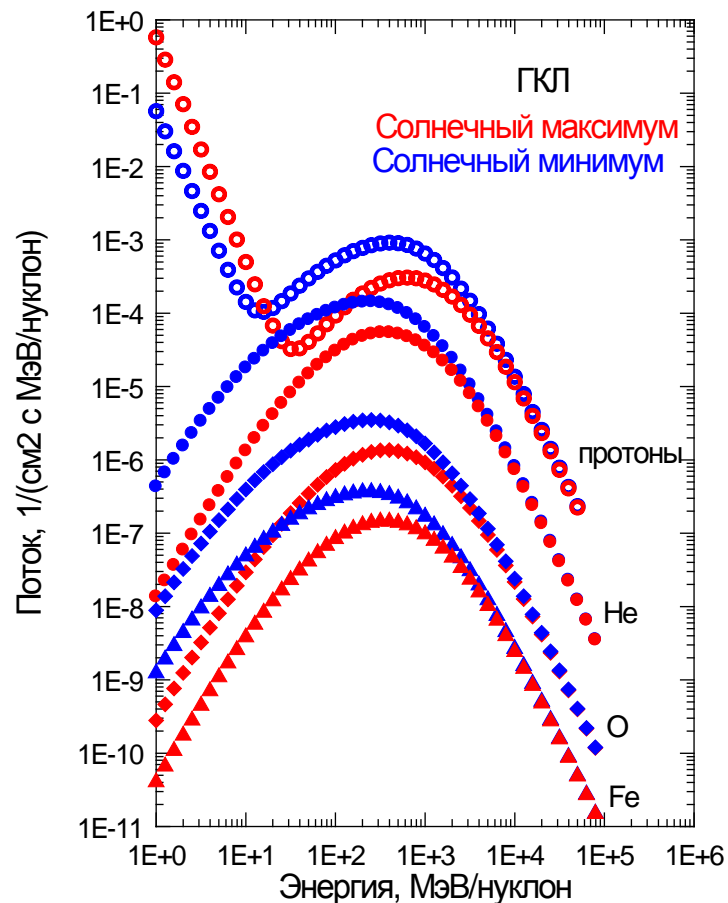
Луна

Radiation environment models

Moon

GCR & neutrons

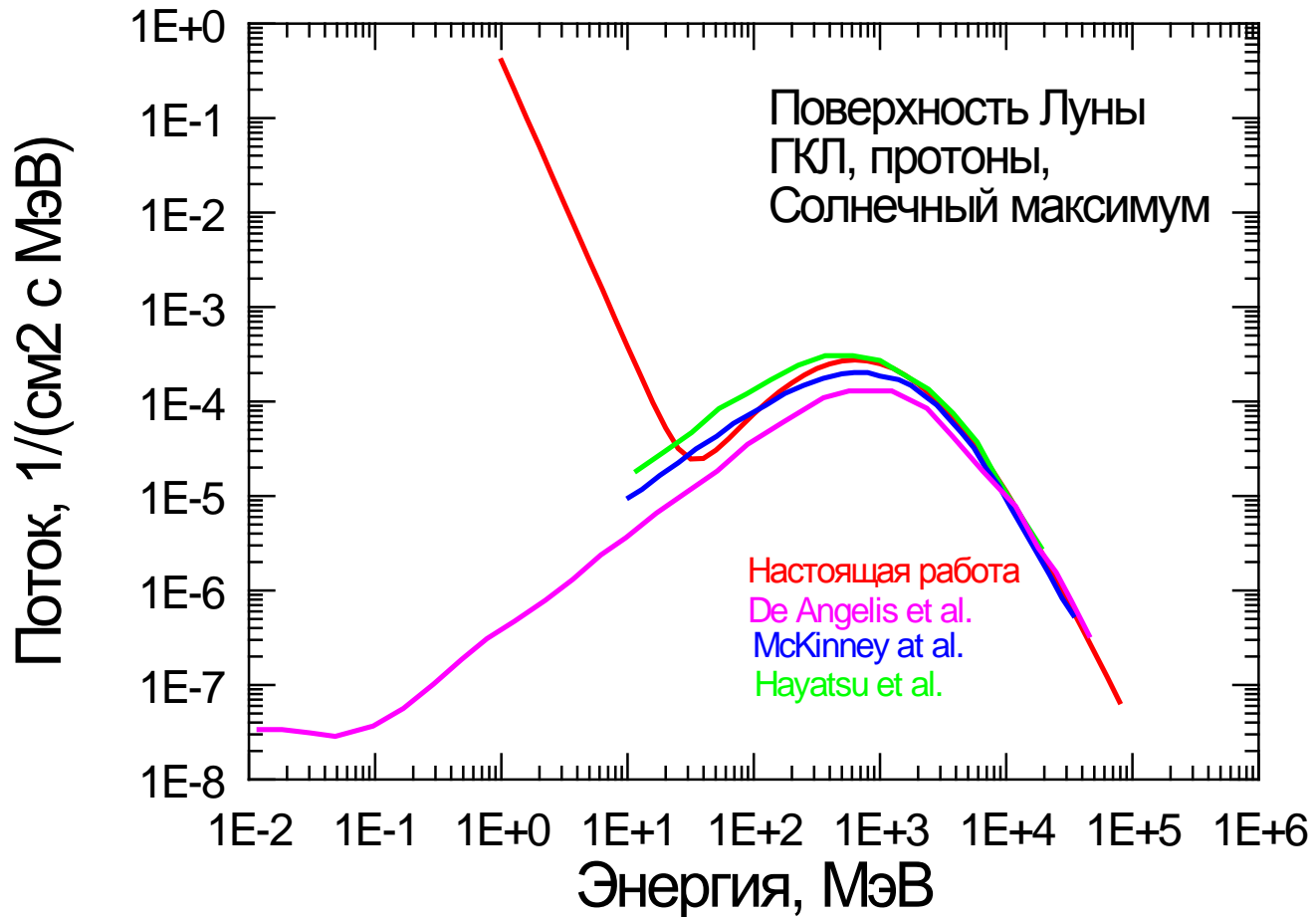
GCR/ SINP MSU model



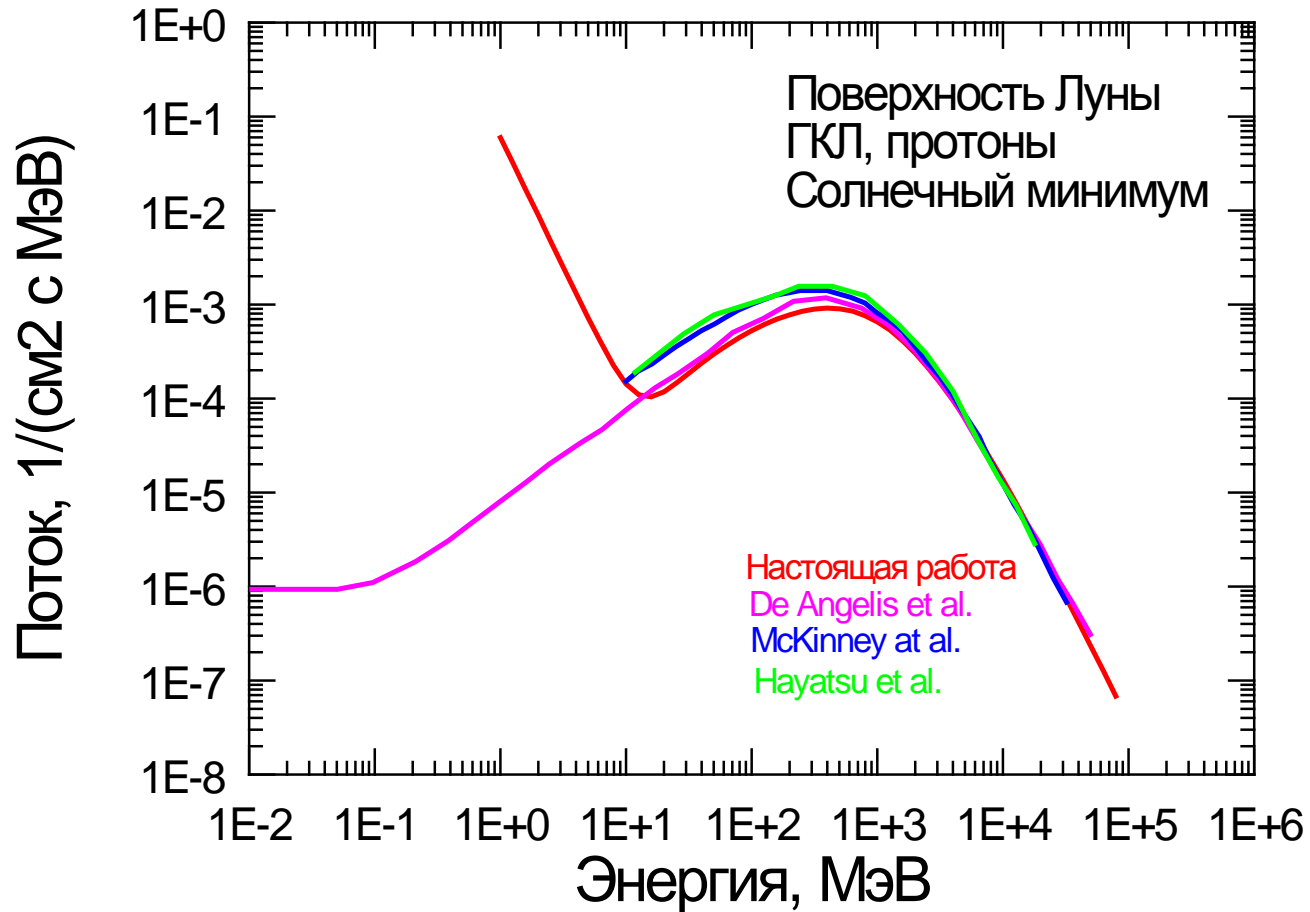
International standard since.... ~ 10 years

Модели устанавливают изотропные потоки частиц в межпланетном пространстве в районе орбиты Земли (1 а.е.). Они учитывают зависимость потоков частиц от солнечной активности, которая задается среднемесячными числами Вольфа W .

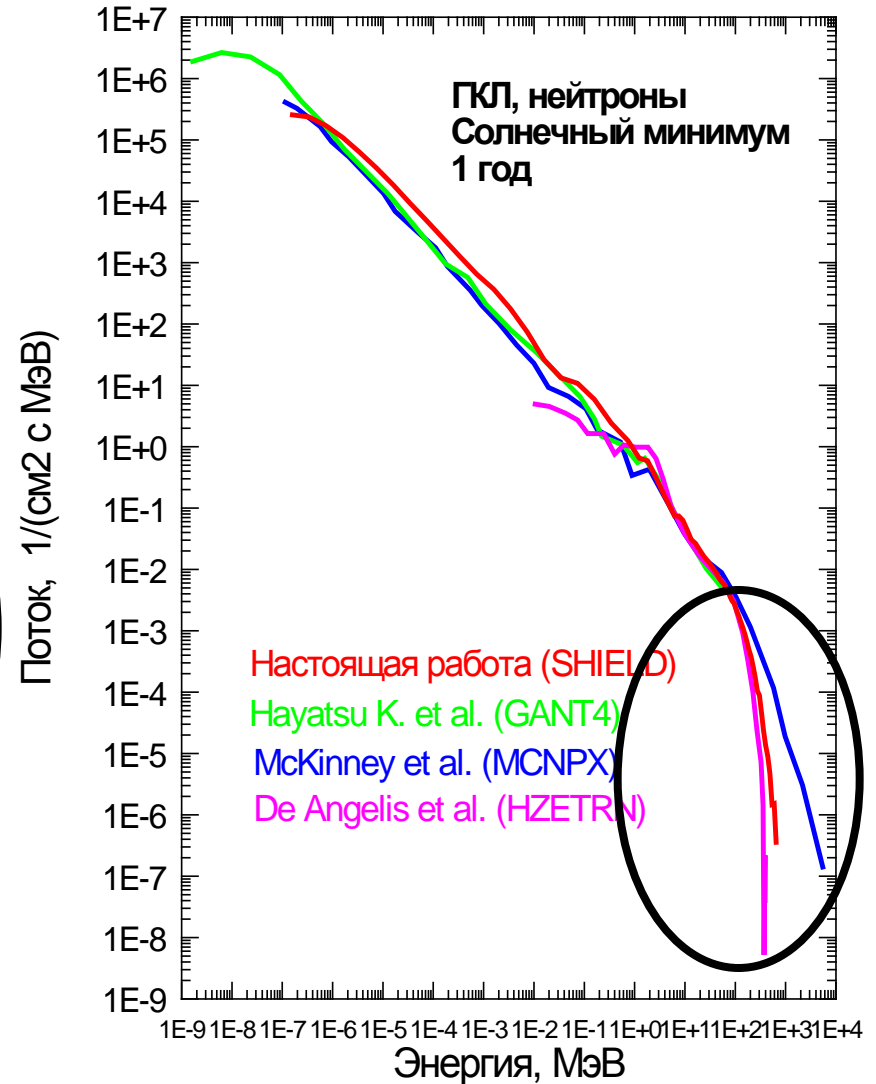
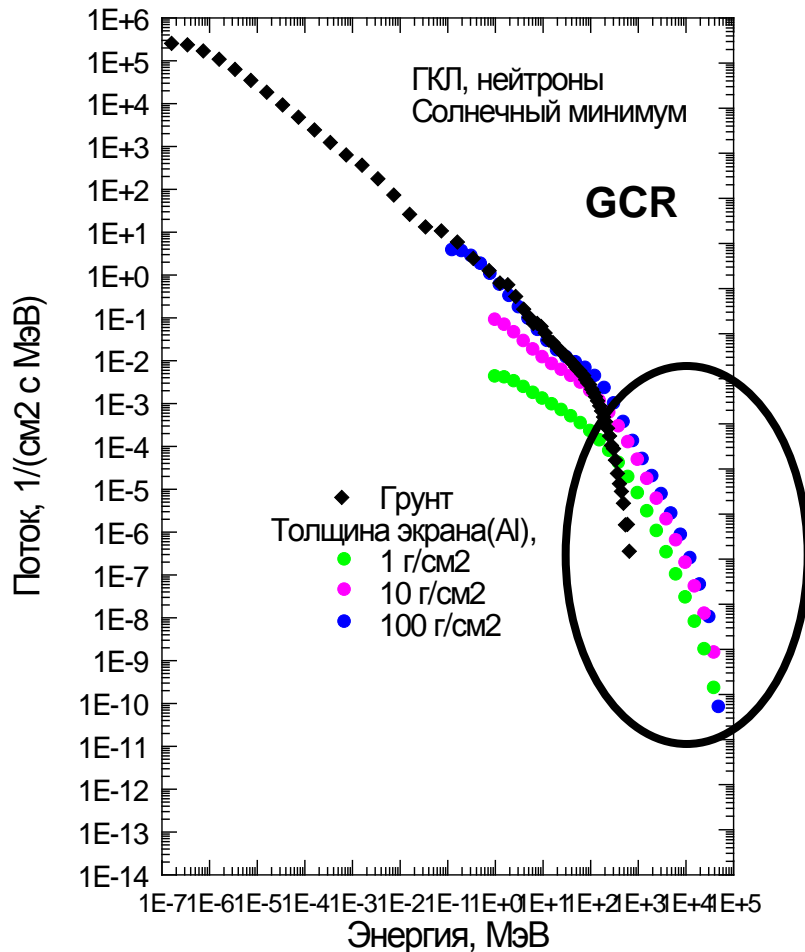
GCR, solar max



GCR, solar min



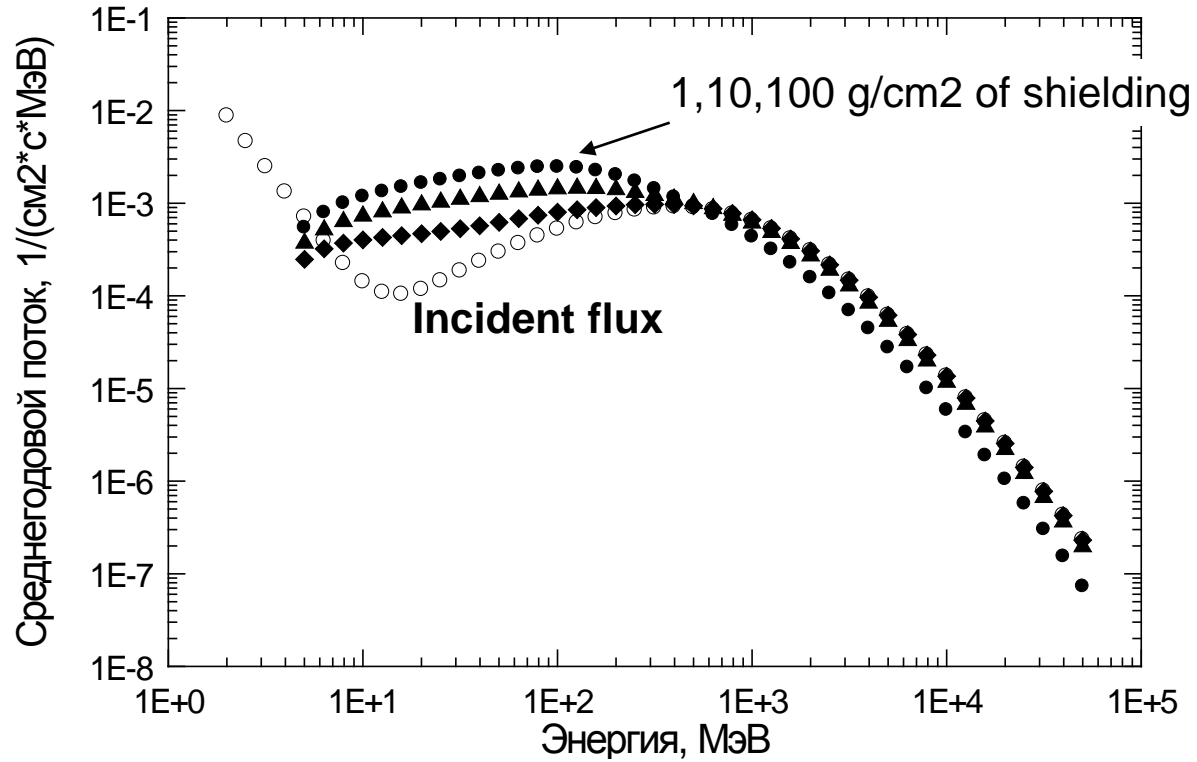
Neutrons generation in regolith



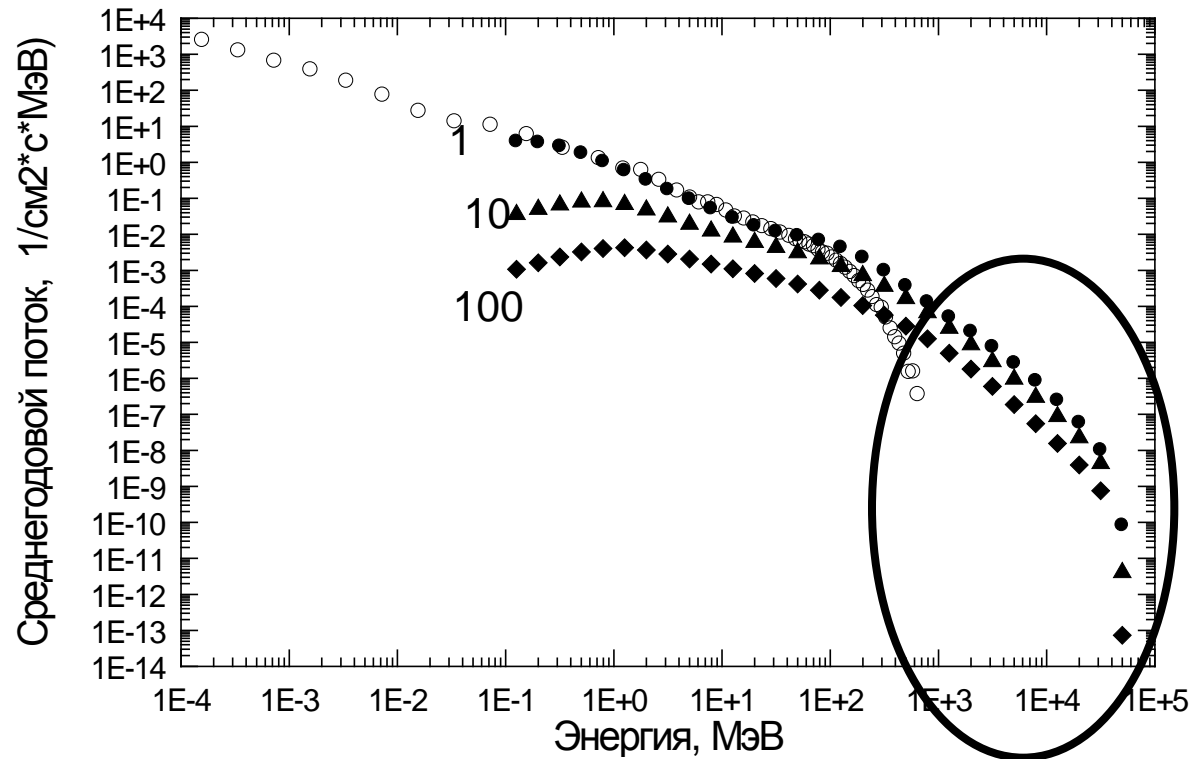
GCR & neutrons

Shielding

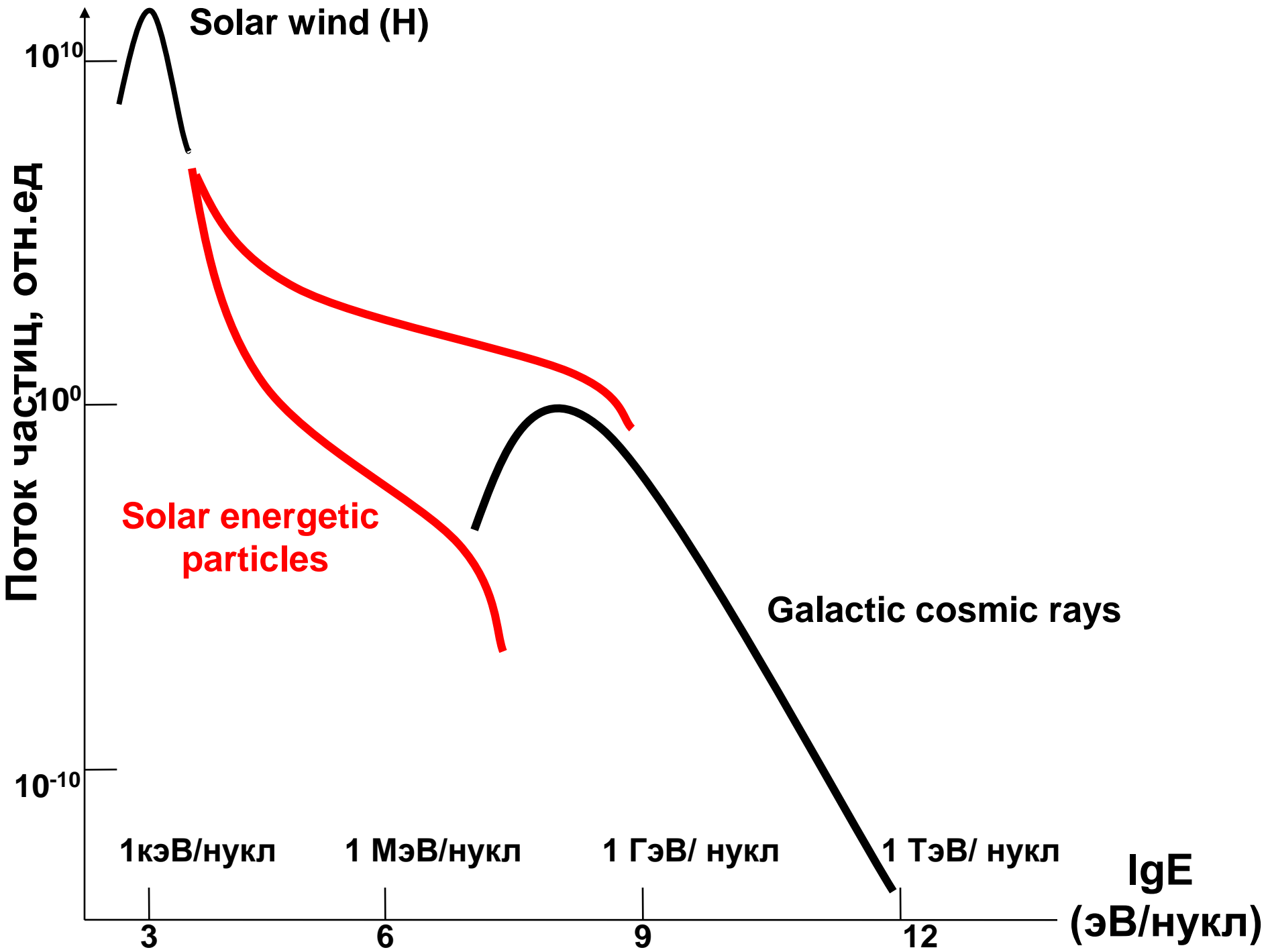
GCR spectra under the shielding

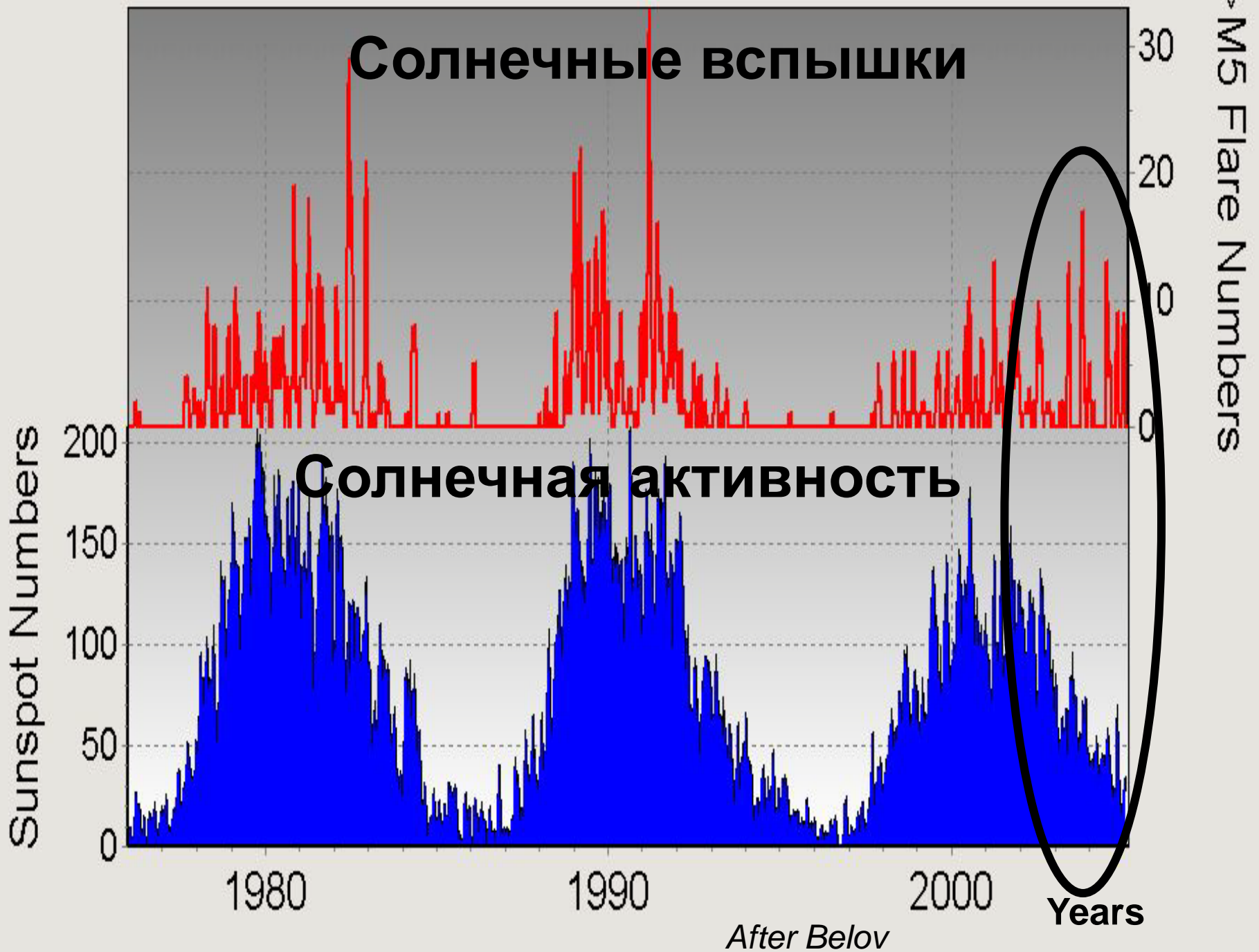


Albedo neutrons spectra under the shielding

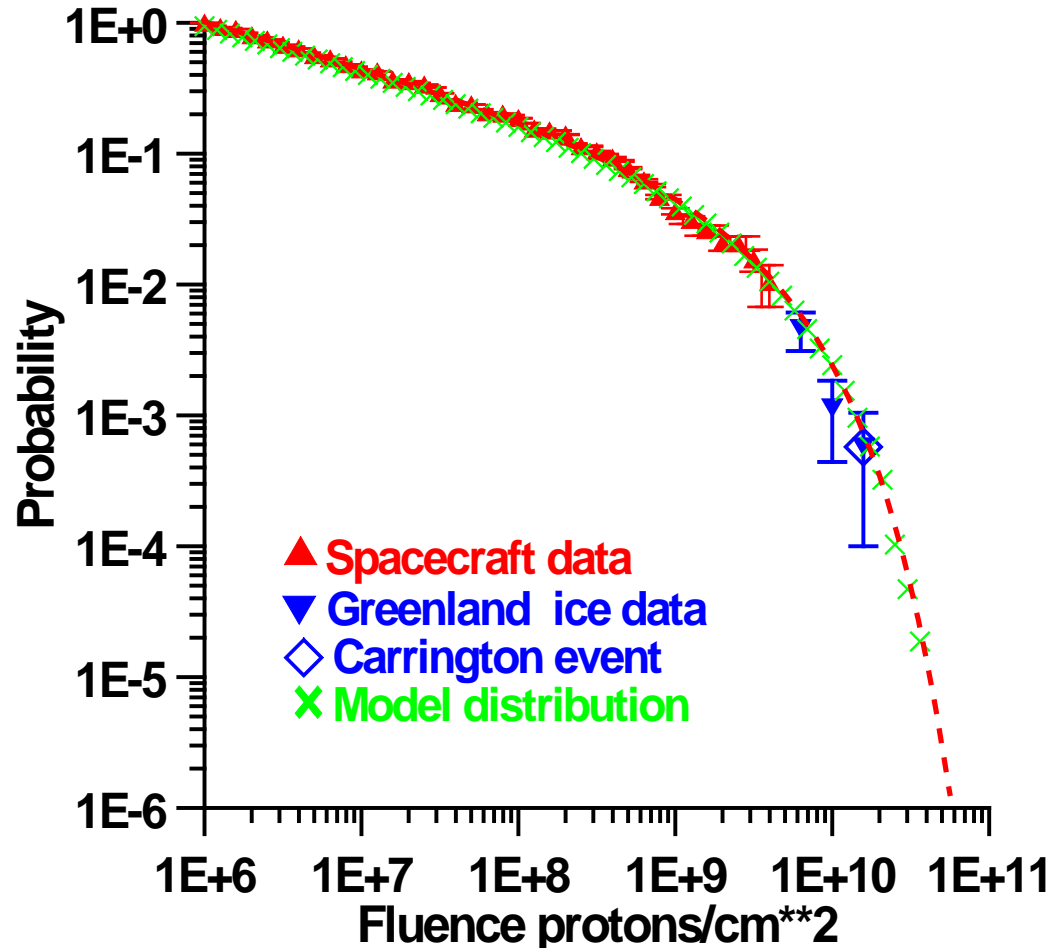


SEP



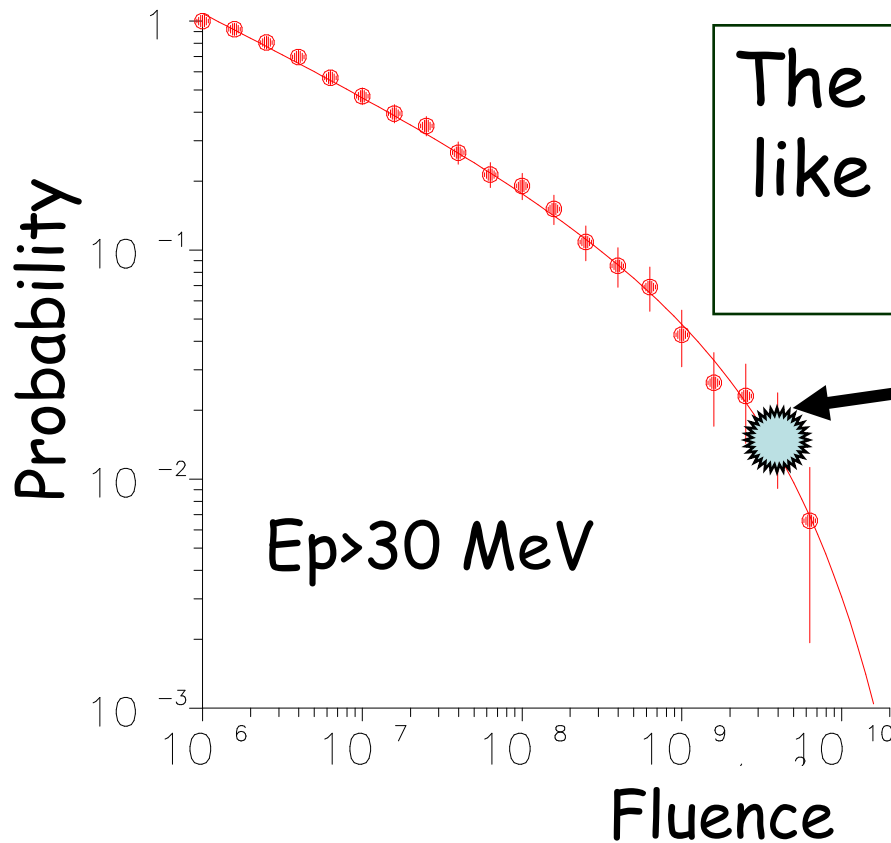


SEP distribution function(MSU model)



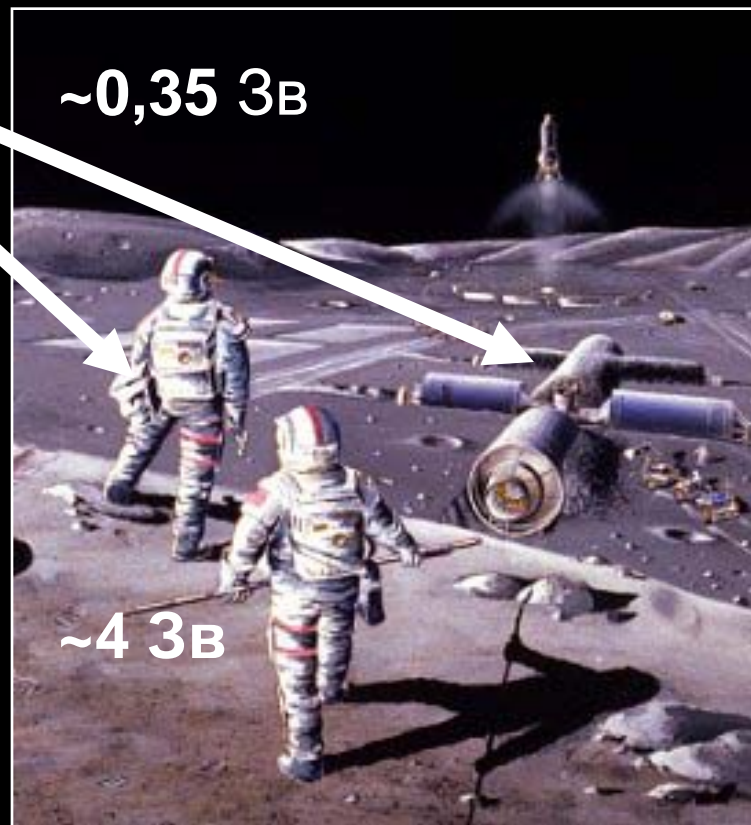
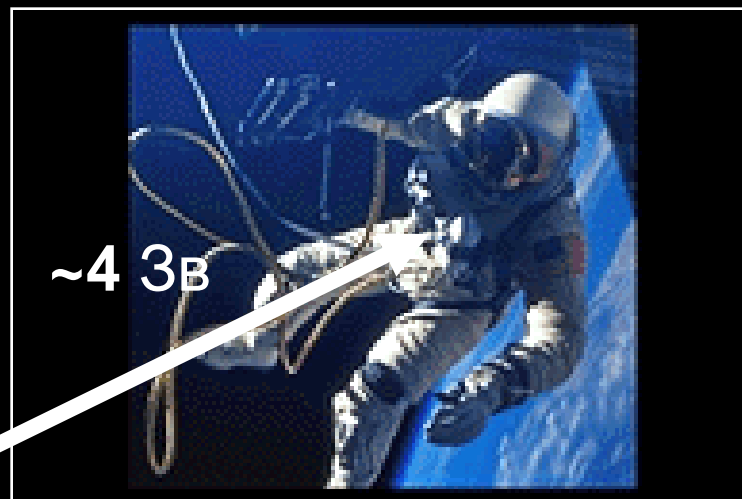
SEP modelling

From Nymmik's SINP/MSU SEP model:

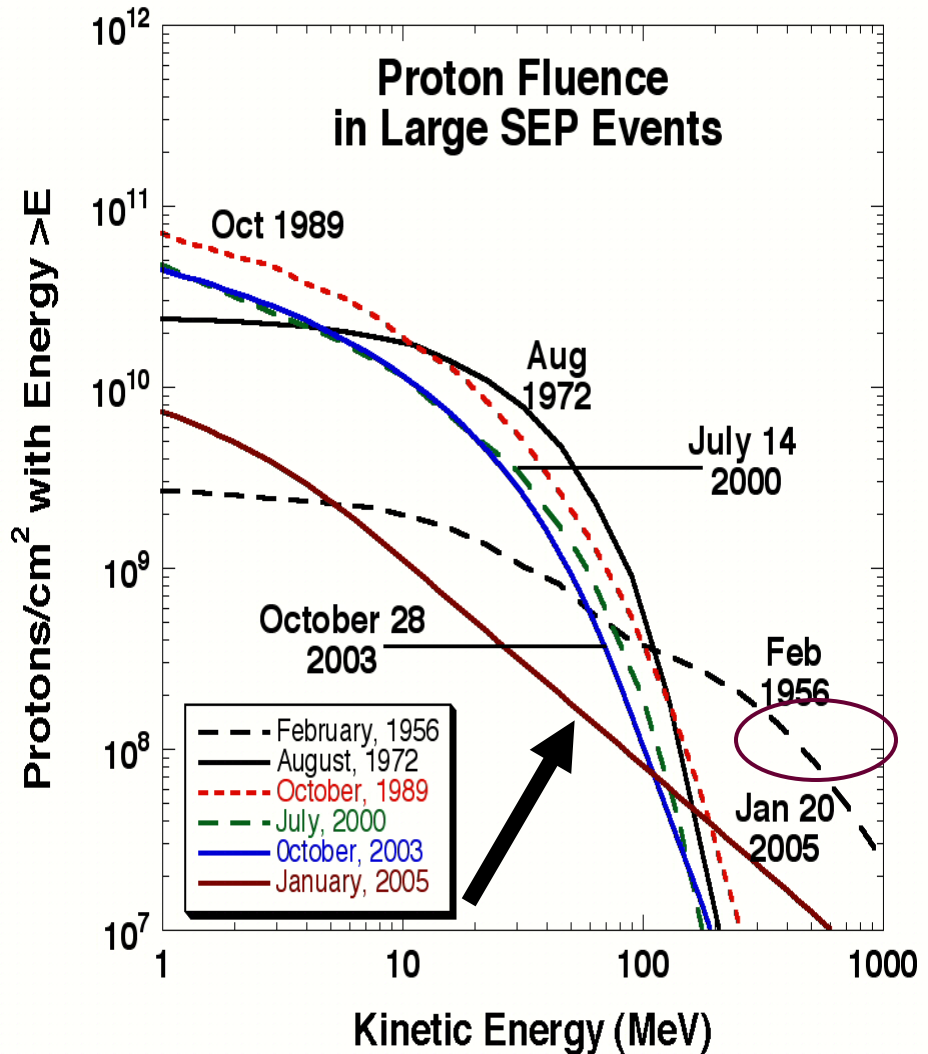
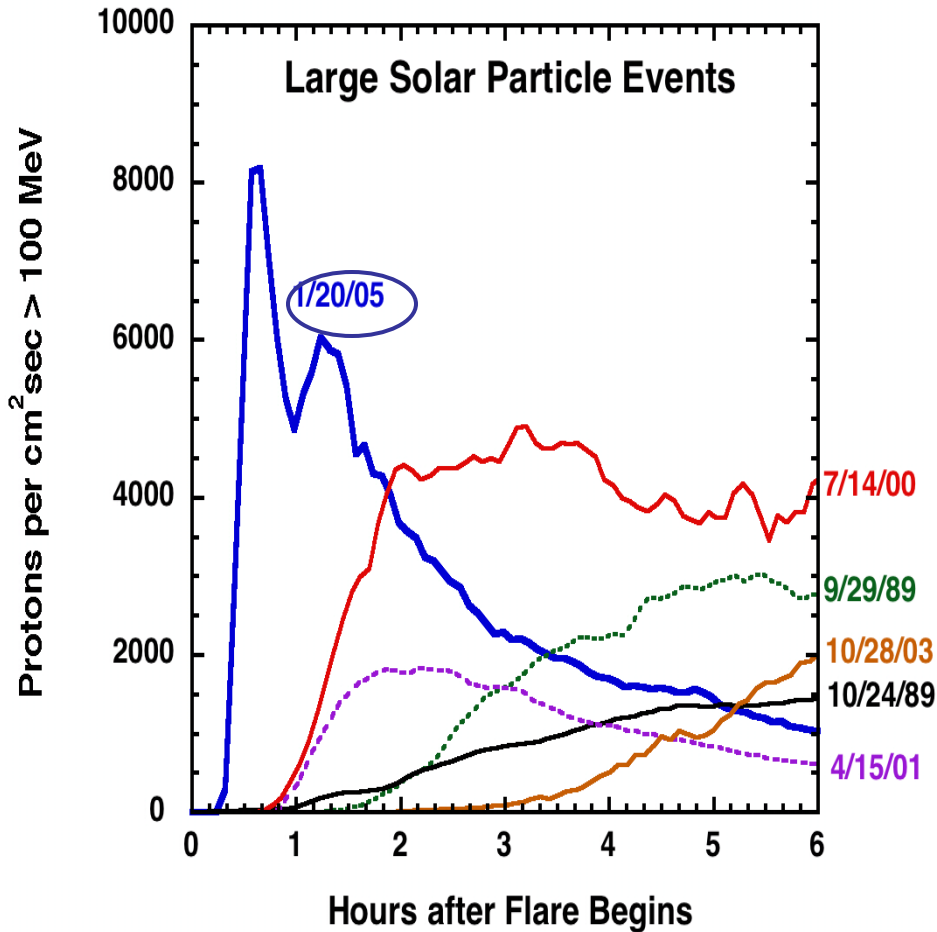


The probability of event like Oct., 28, 2003 level is ~2%!

Радиационный эффект вспышки типа августа 1972



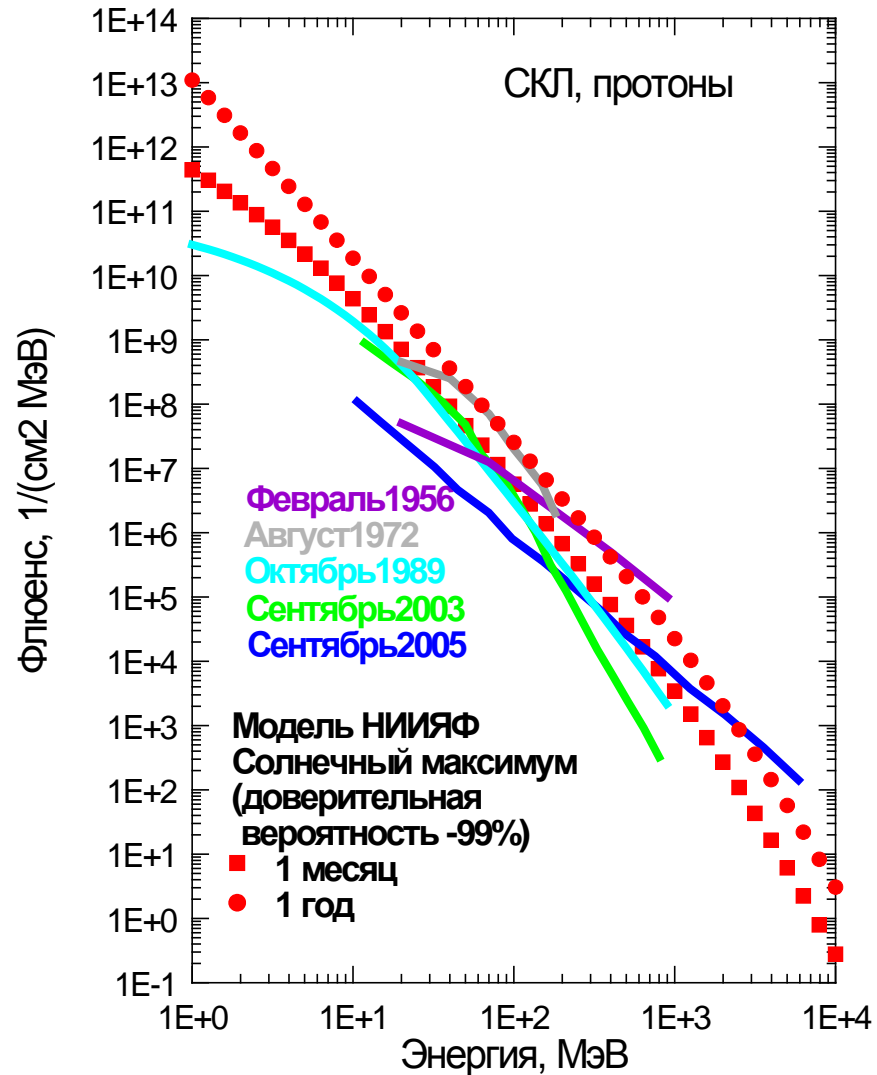
SEP dynamics & spectra



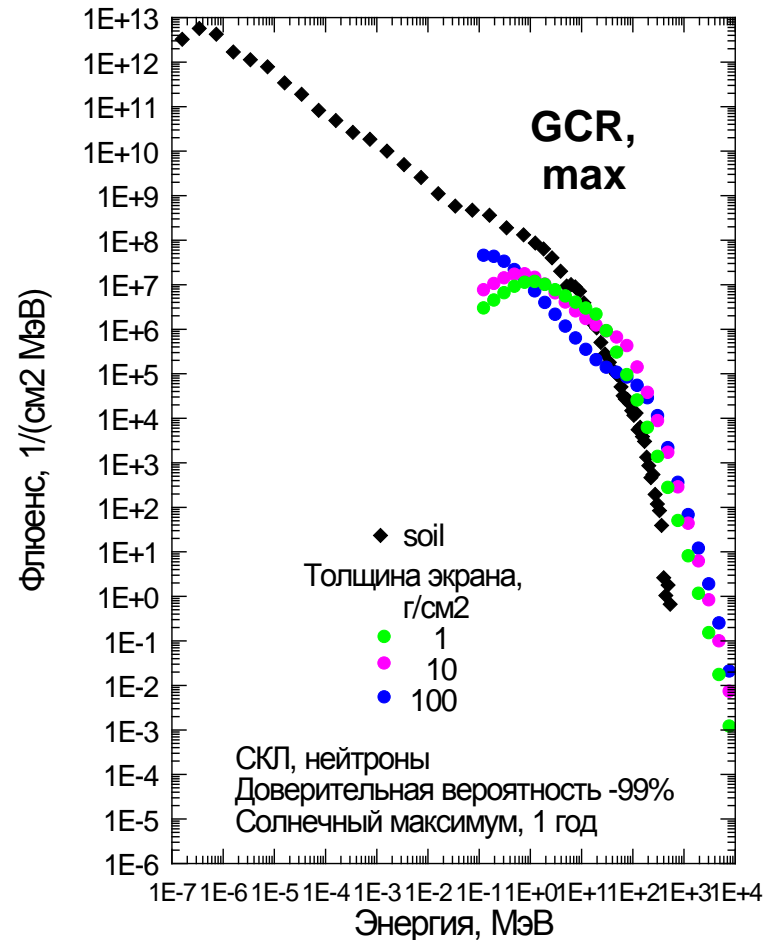
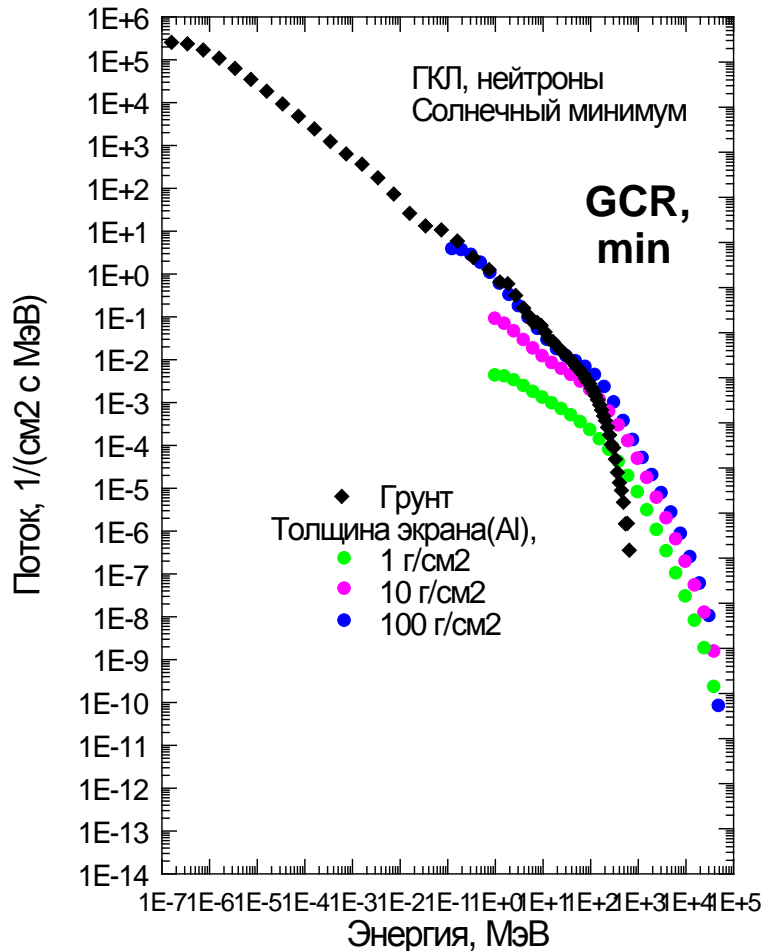
Very short time to maximum intensity (30 min)

Very hard spectrum (from Mewaldt et al. 2005)

Calculated and experimental fluences of SEP protons

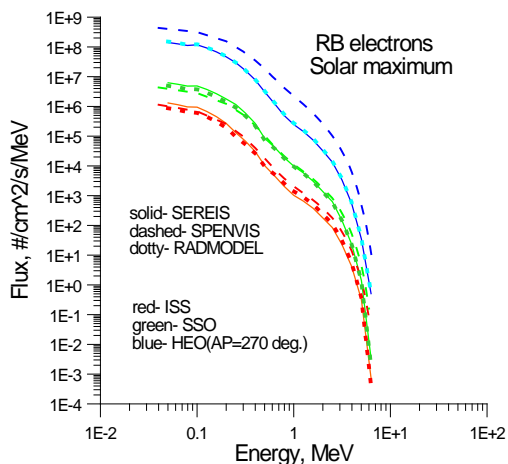


Neutrons generation in regolith

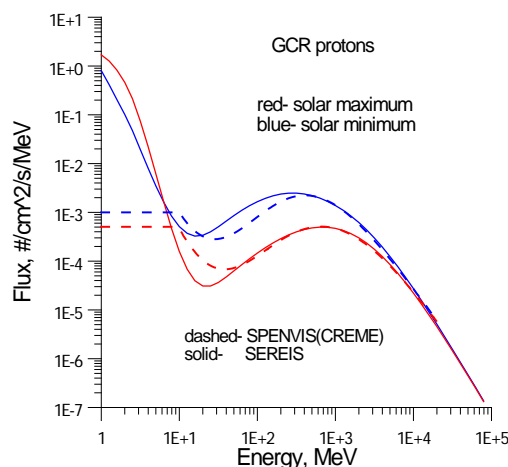


Модели радиации НИИЯФ МГУ

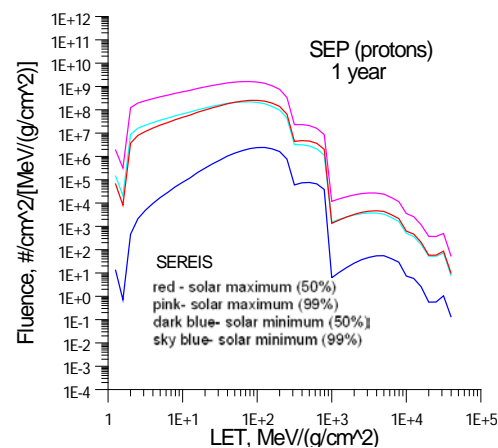
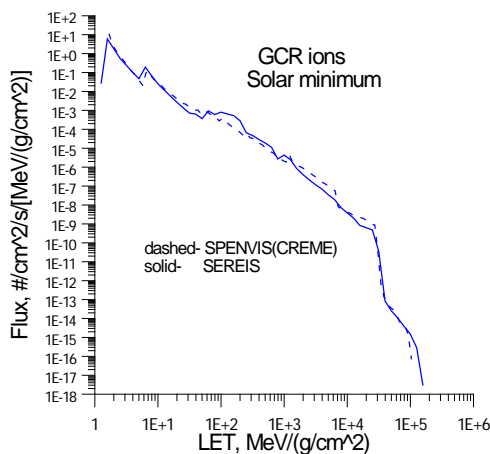
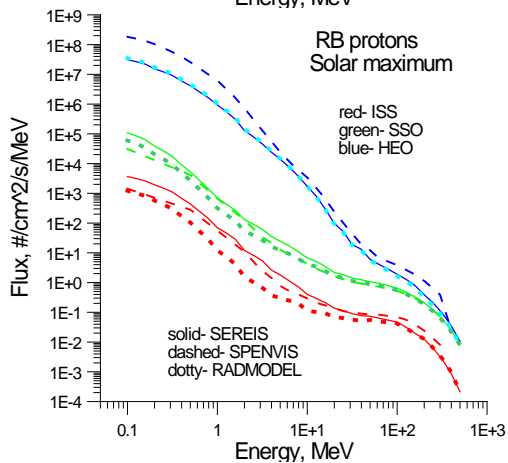
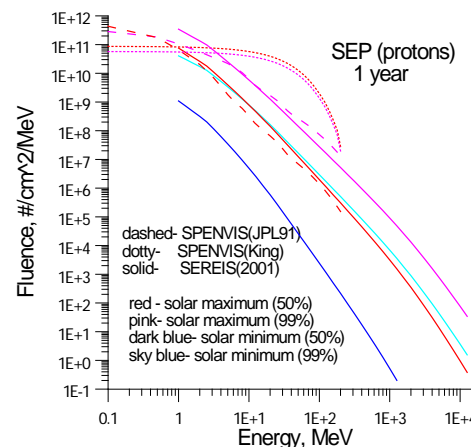
РП



ГКЛ

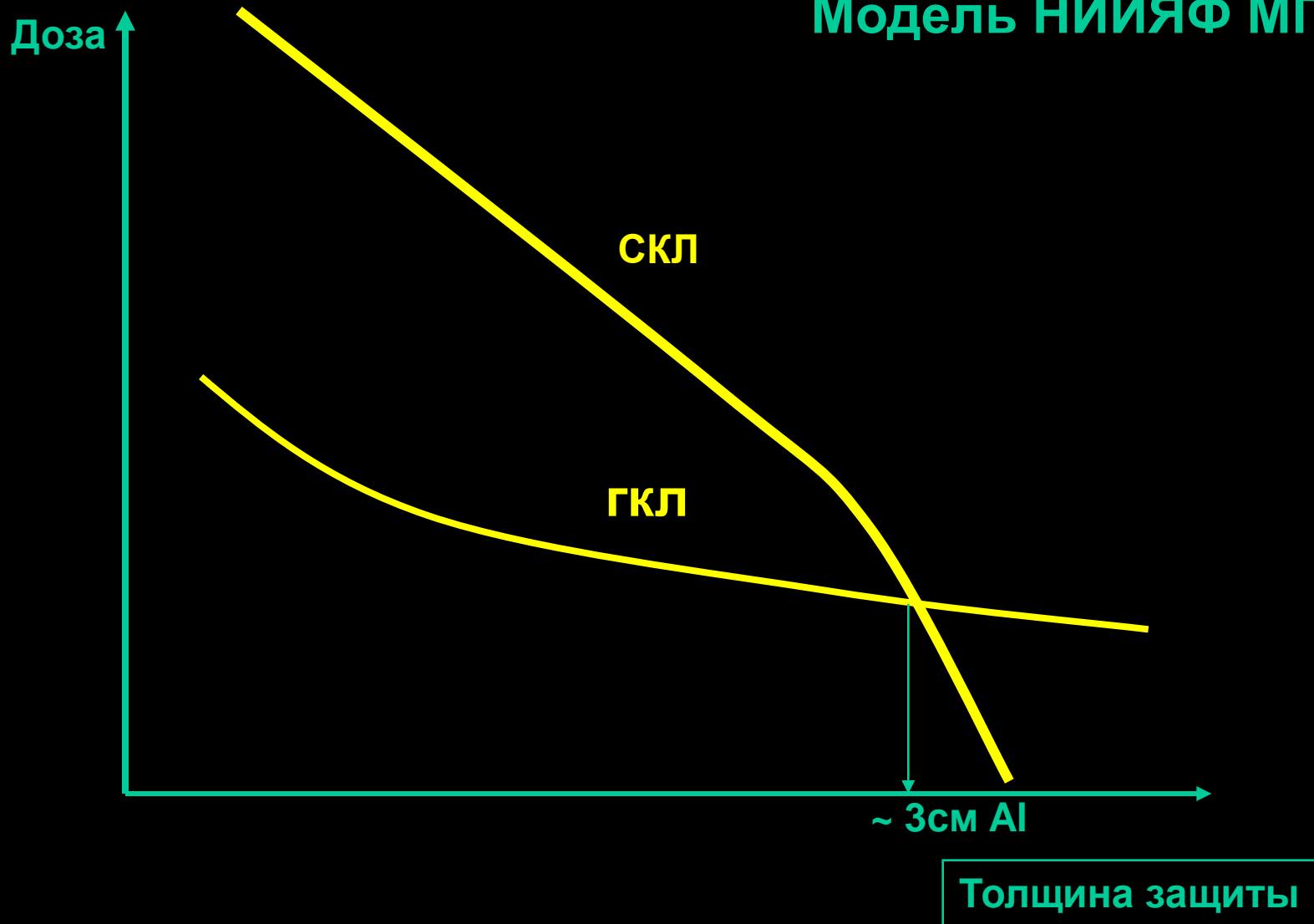


СЭЧ



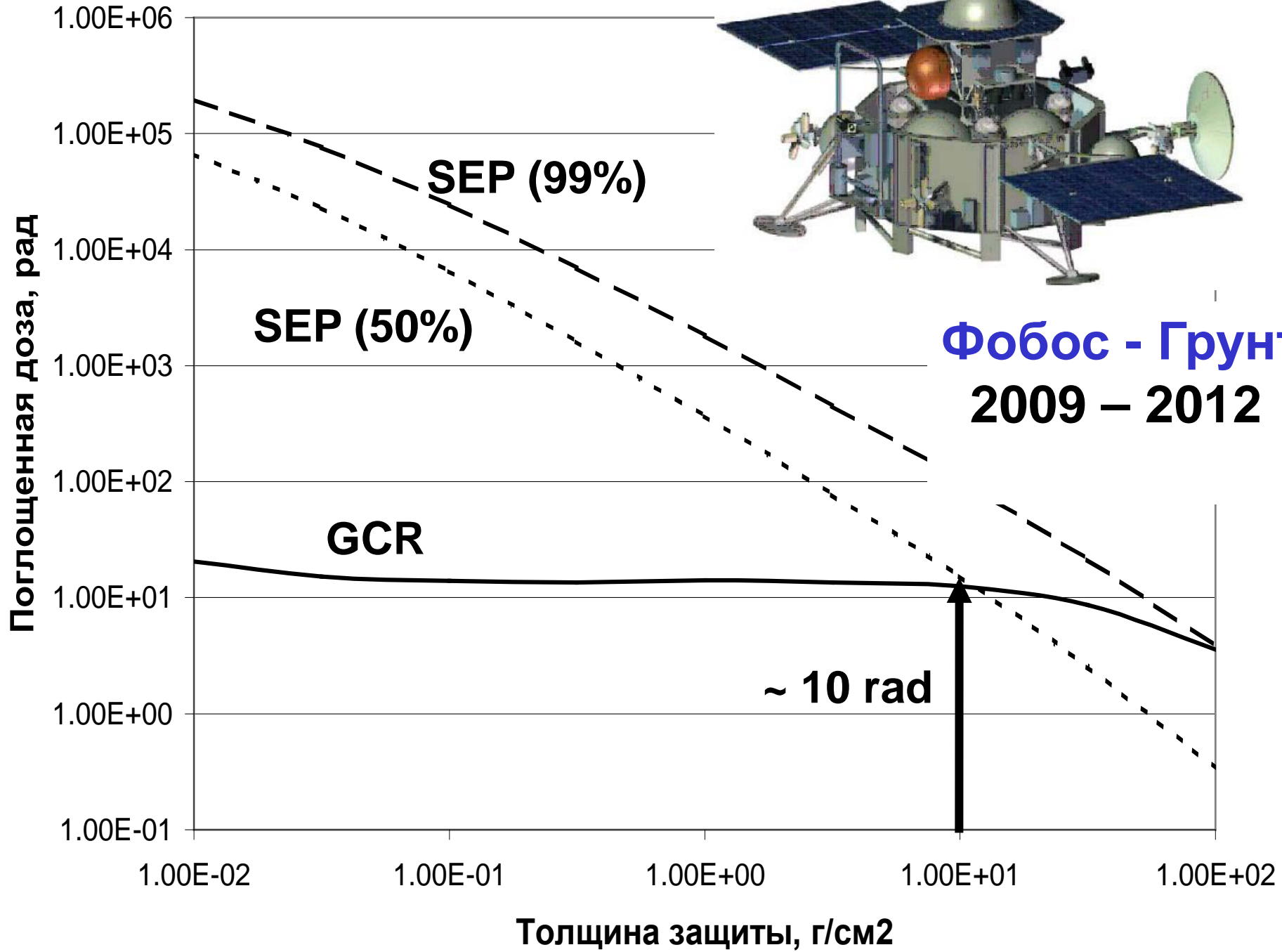
Дозы радиации при дальних полетах

Модель НИИЯФ МГУ





Фобос - Грунт
2009 – 2012



Поглощенная доза, рад

Толщина защиты, г/см²

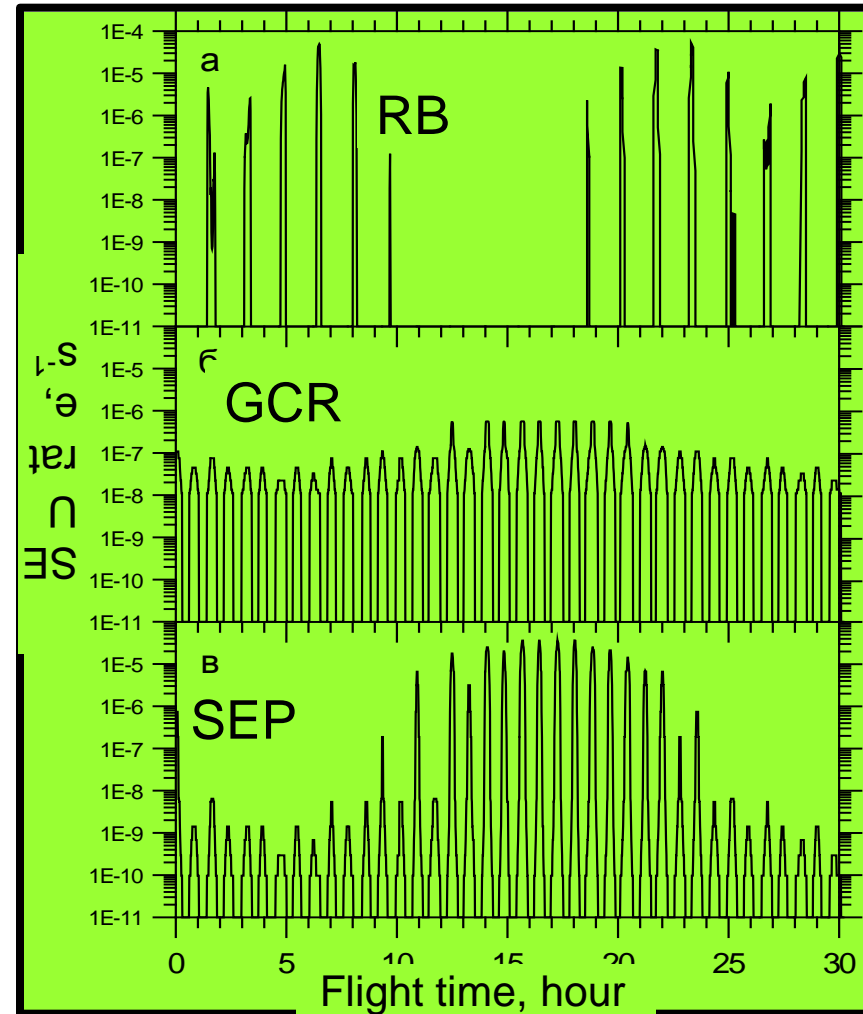
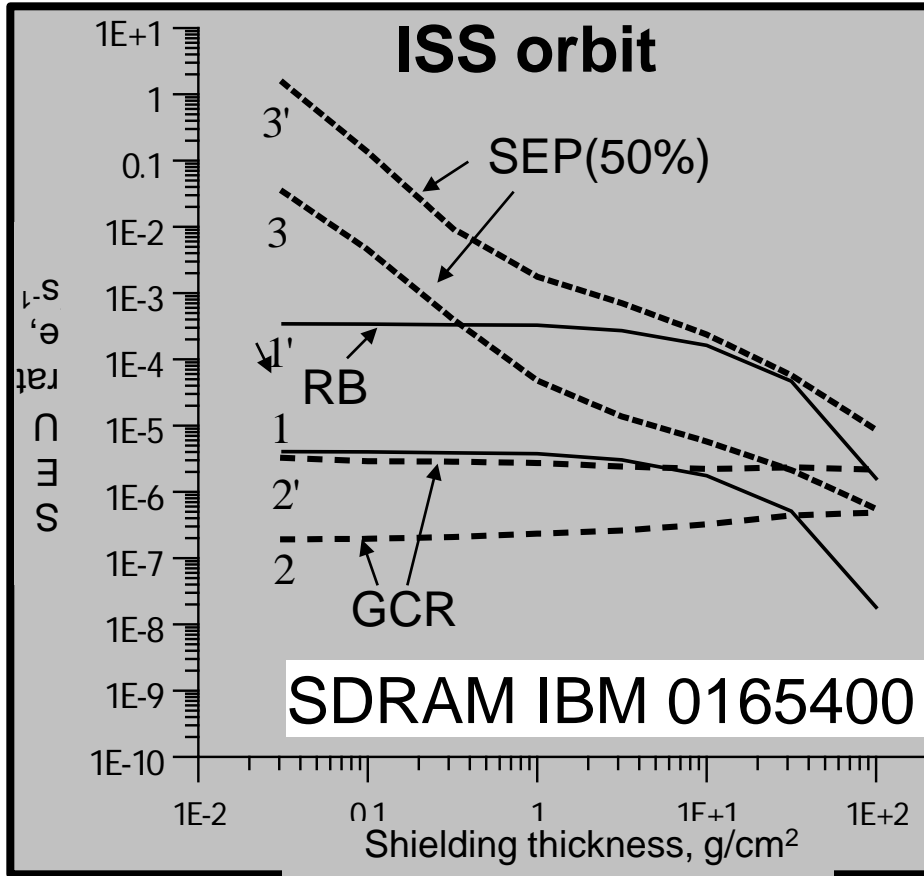
SEP (99%)

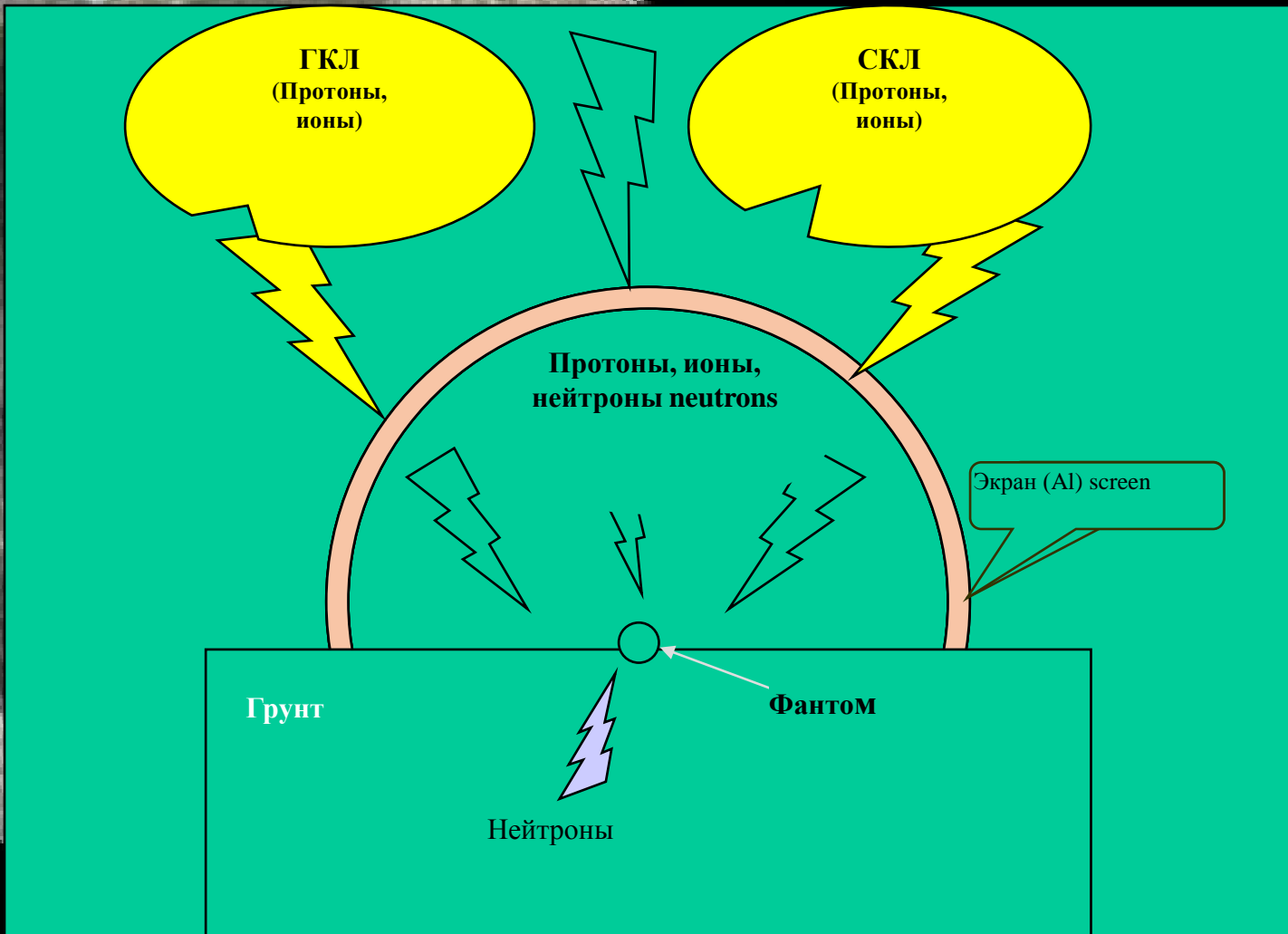
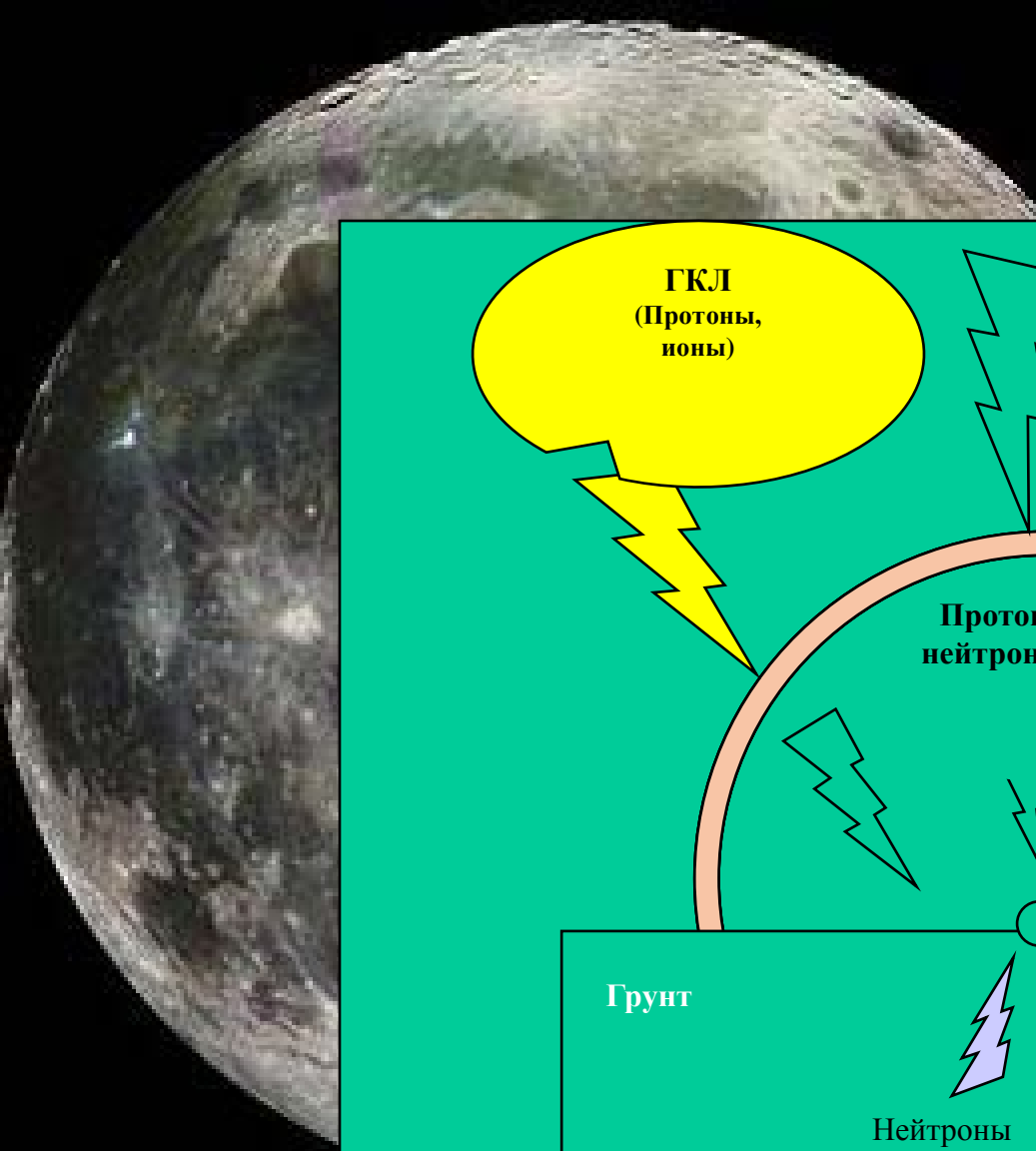
SEP (50%)

GCR

~ 10 rad

SEE

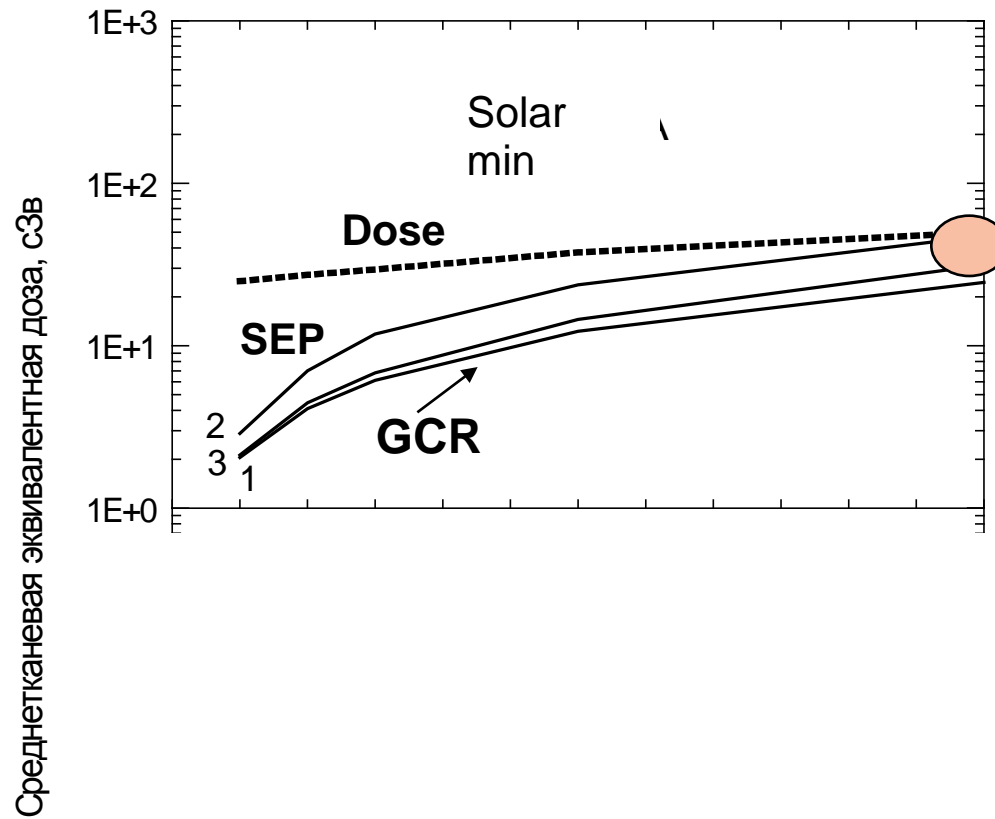




**Оценка радиационного риска для человека на Луне
выполнена для разной продолжительности лунных экспедиций
и с учетом нахождения на поверхности Луны защитного экрана.**

Среднетканевая эквивалентная доза (H) *от ГКЛ, СКЛ и нейтронов*

- Вклад нейтронов в значение H значительно меньше вклада заряженных частиц при толщине алюминиевого экрана менее ~ 30 г/см² и сравним при большей толщине экрана;
- значение $H_{СКЛ}$, ожидаемое за год от частиц СКЛ ($r = 1\%$), выше значения $H_{ГКЛ}$, создаваемое частицами ГКЛ во всем диапазоне рассмотренных толщин экрана во время максимума солнечной активности, и при толщине экрана менее 10 г/см² - во время минимума солнечной активности.



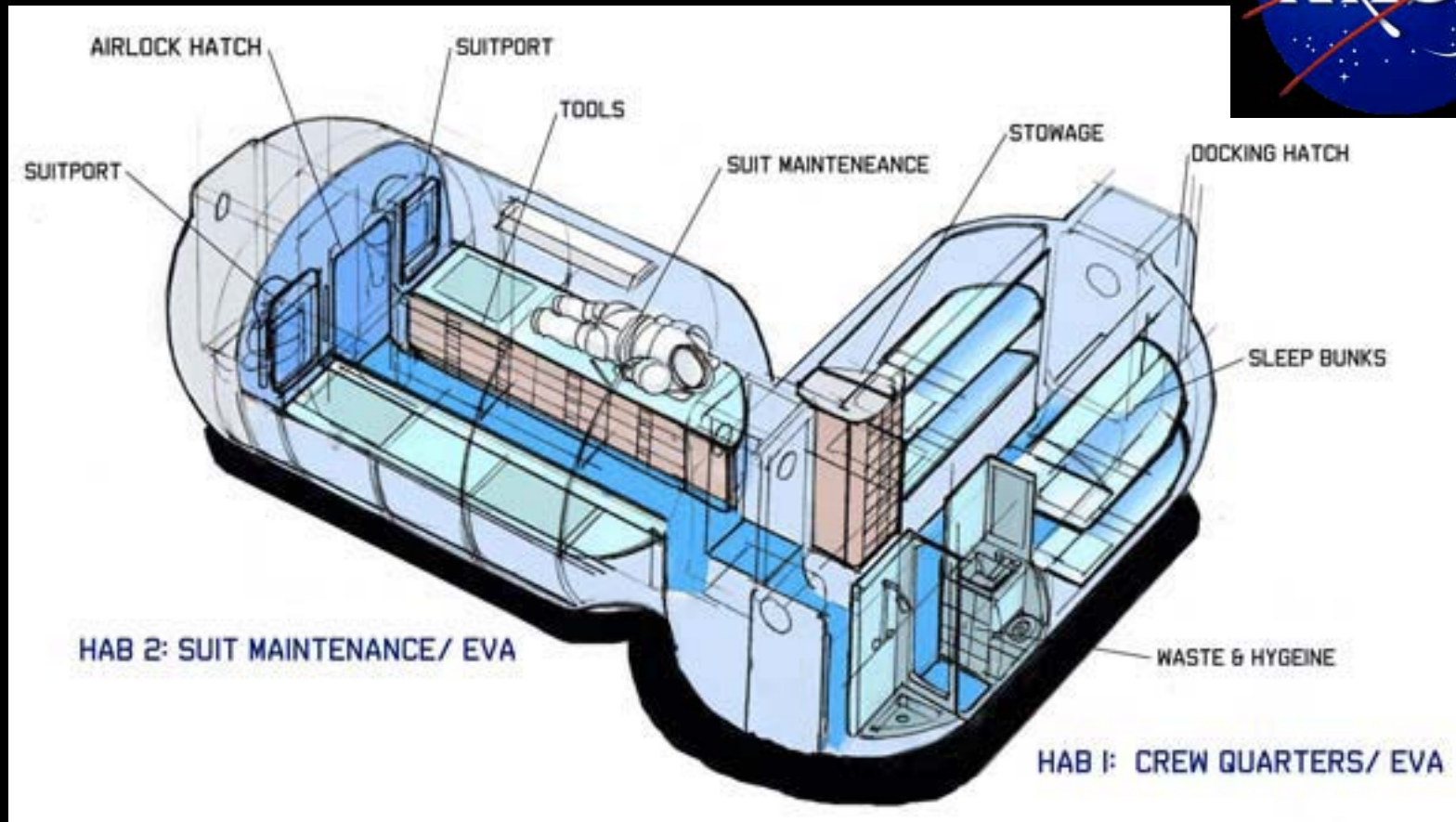
Radiation risk

Расчетные значения среднетканевой эквивалентной дозы (сплошные кривые), созданные потоком частиц ГКЛ (кривая 1) и СКЛ (кривые: 2-1%, 3- 3%, 4- 10%) в зависимости от продолжительности лунной экспедиции в периоды минимума (верхний рисунок) и максимума (нижний рисунок) солнечной активности на поверхности Луны за защитным экраном толщиной 10 г/см².

Вывод

- При уровне радиационного риска 3% прогнозируемая длительность пребывания человека на поверхности Луны не должна превышать полутора месяцев во время максимума солнечной активности и 1 года во время минимума солнечной активности, если при этом персонал защищен алюминиевым экраном толщиной 10 г/см².

Probabilistic Assessment of Radiation Risk for Development of Protection System with Conceptual Lunar Habitat



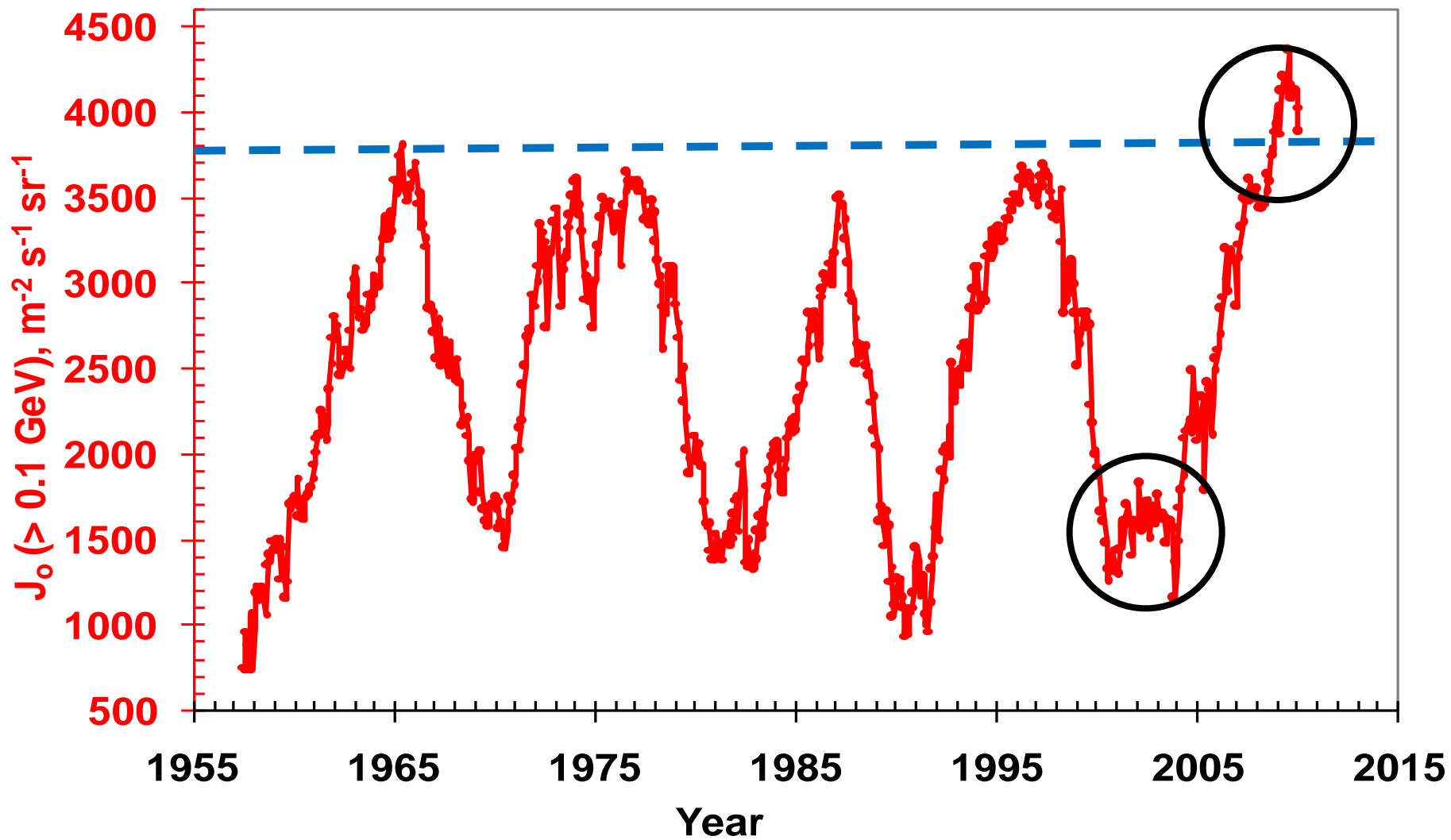


Future mission planning based on the probabilistic analysis of the risk and shielding with the current conceptual lunar habitat:

- **At solar minimum (Y2028-2030), lunar missions to 90 days allowed.**
- **At solar maximum, longer lunar missions up to 210 days are possible.**
- -Crew selection provided.
- -Mitigation strategy easily utilized.
- NASA cancer model to be updated with probability of causation based on the reported data.

Problems of GCR modeling

GCR



Problems of SEP modeling

1. Solar ejection forecast
2. Low statistics at high SEP energies

**Моделирование радиационных условий и
расчеты доз/одиночных эффектов**

должны быть дополнены

**мониторингом космической радиации в
реальном времени**

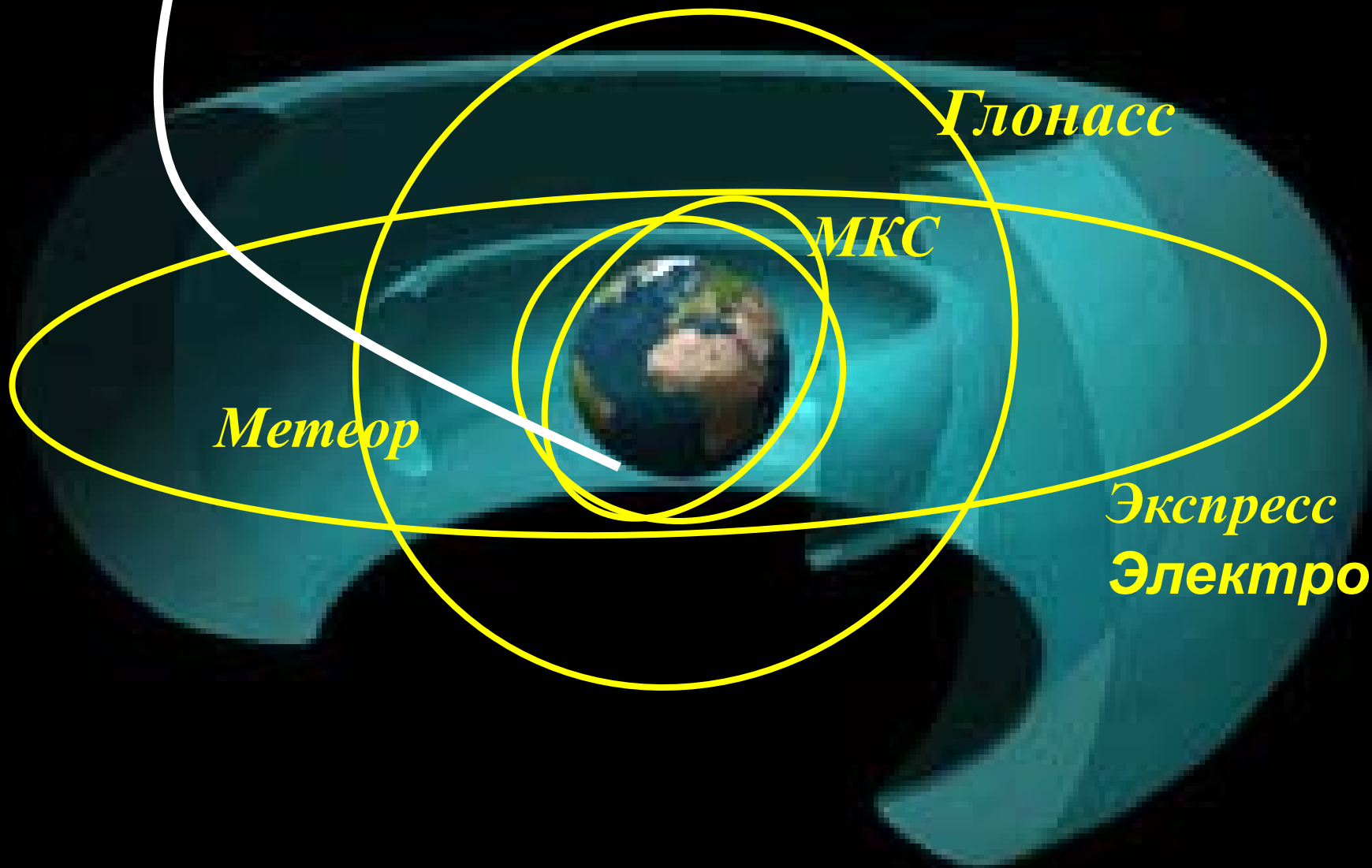
**Modeling of space radiation and doses/SEE
effects calculations**

**have to be supplemented by real-time
monitoring of space radiation**

Цели мониторинга:

- определение реального уровня воздействия космической радиации на КА и установление корреляционных связей отказов в бортовых системах КА с радиационными воздействиями;
- рекомендации по управлению КА в условиях изменяющейся радиационной обстановки с целью снижения негативного влияния космической радиации;
- рекомендации разработчикам и конструкторам бортовых систем с целью минимизации поражающего воздействия космической радиации;
- уточнение и совершенствование существующих динамических моделей радиации.

Межпланетные КА



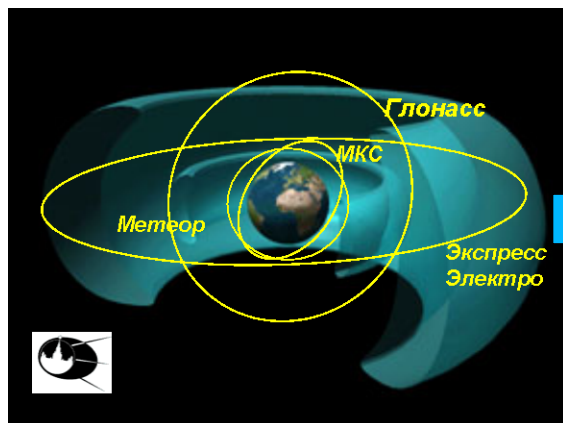
Глонасс

МКС

Метеор

*Экспресс
Электро*

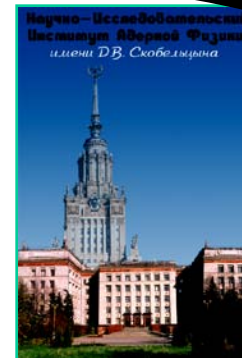
Система радиационного мониторинга в околоземном пространстве



Радиационный
мониторинг

Прогноз
космической погоды
(РАН)

Центр радиационного мониторинга и моделирования – анализ информации МГУ



Суперкомпьютерный центр МГУ

Ситуационный центр радиационной опасности - выработка решений



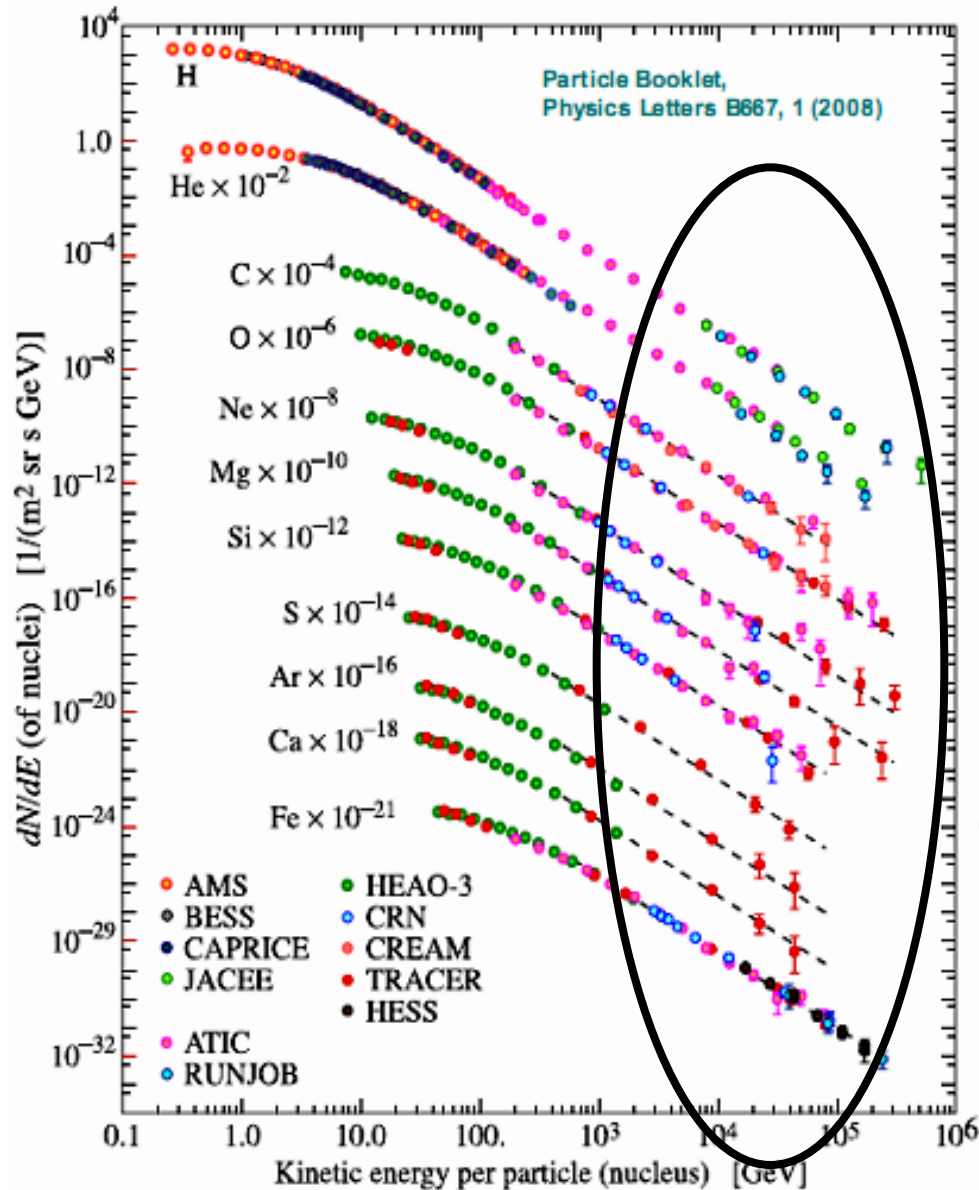
Адекватные модели и расчеты обеспечат безопасность лунных миссий с посадкой на ее поверхность;

Выбор места посадки с точки зрения создания в будущем долговременных обитаемых станций , т.е. – начала освоения Луны.

Зачем освоение Луны
физике космических лучей (astroparticle physics)?

Эксперимент «Нейтроний»

CR nuclei spectra



Spectra with
the same slope?

The knee

Standard Model of Cosmic Ray Acceleration

SN 1987

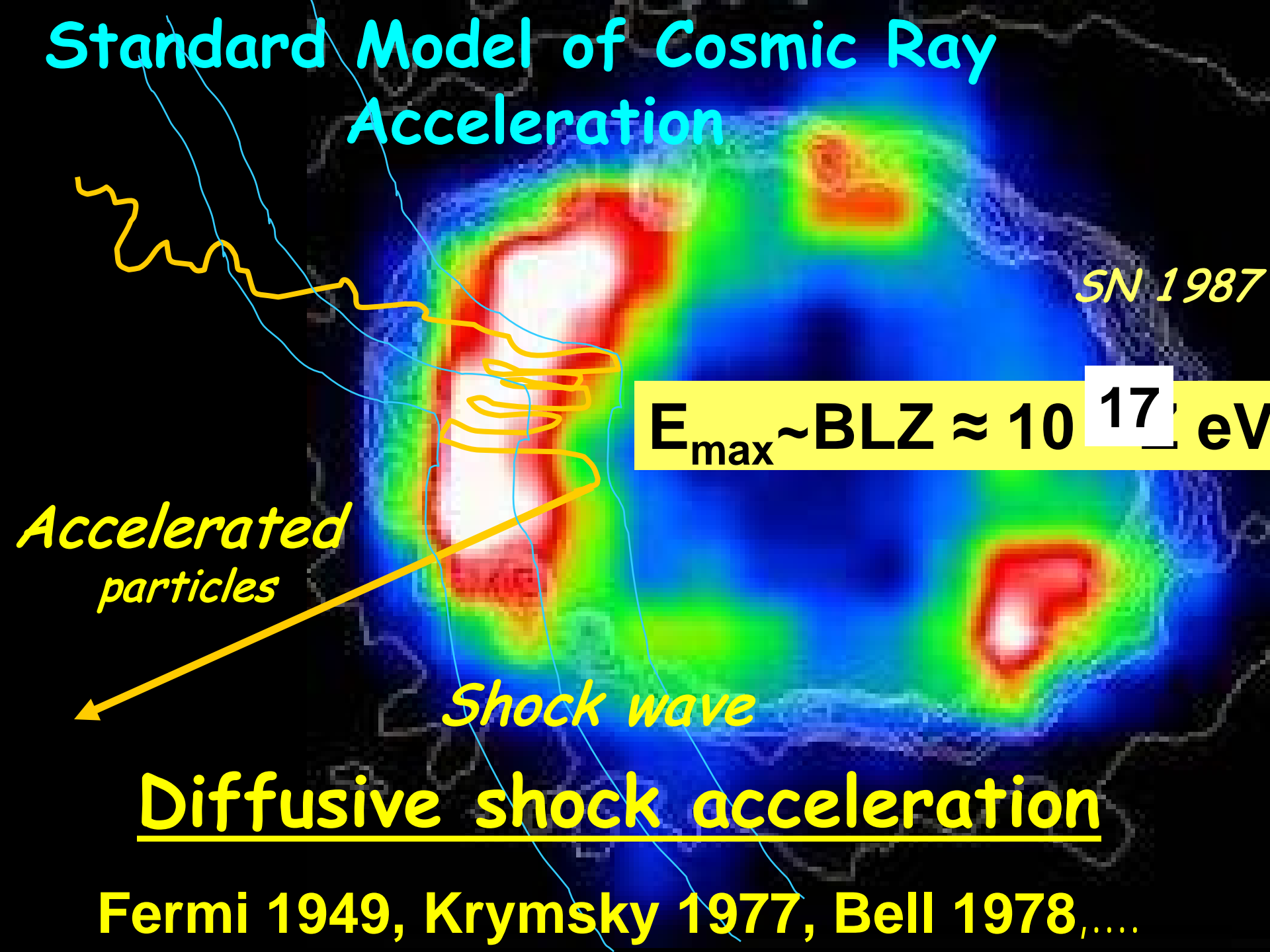
$$E_{\text{max}} \sim \text{BLZ} \approx 10^{17} \text{ eV}$$

Accelerated particles

Shock wave

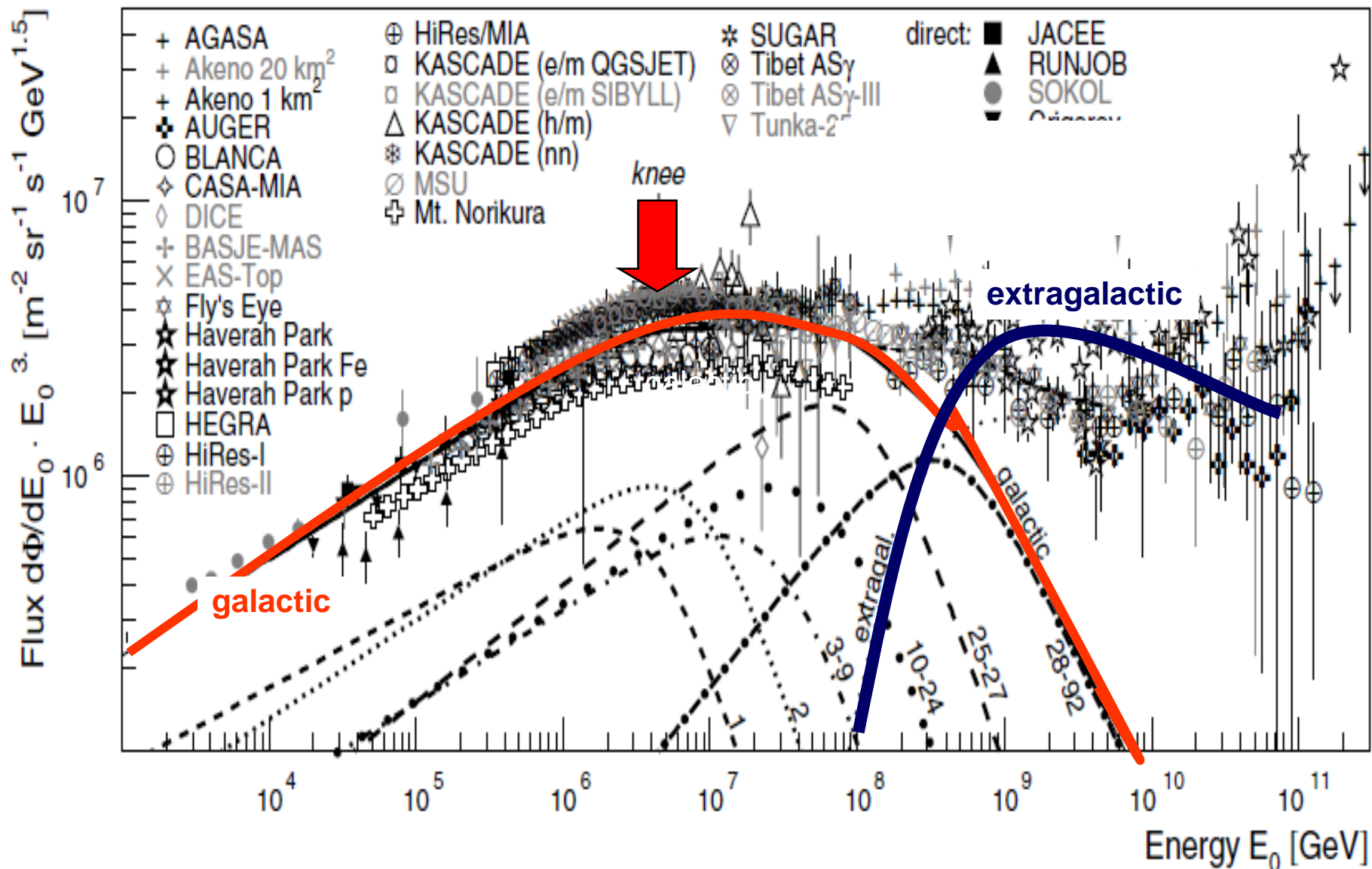
Diffusive shock acceleration

Fermi 1949, Krymsky 1977, Bell 1978,



- But ... devil in details...

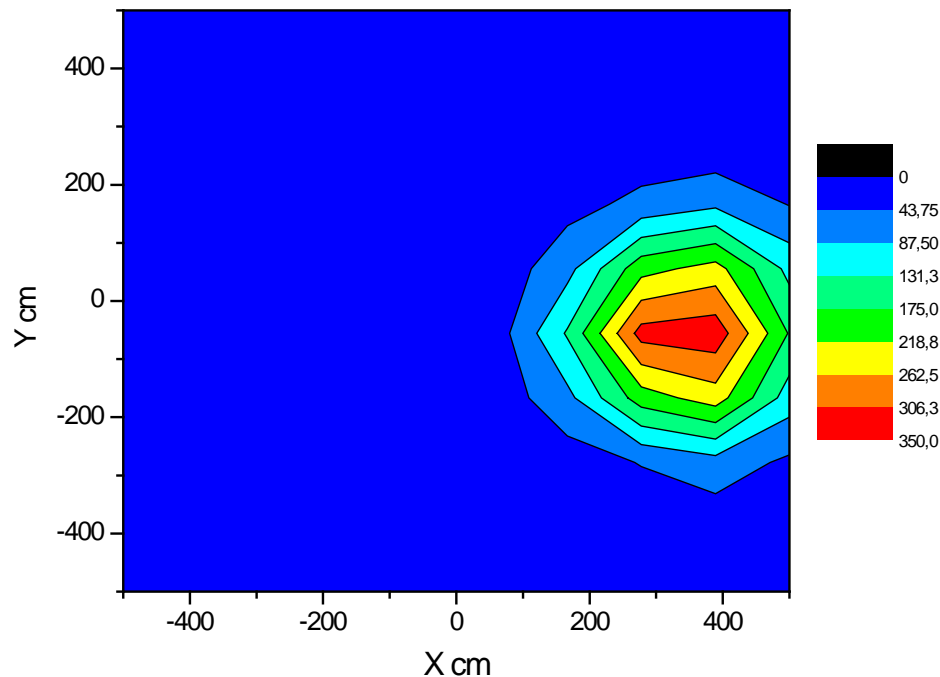




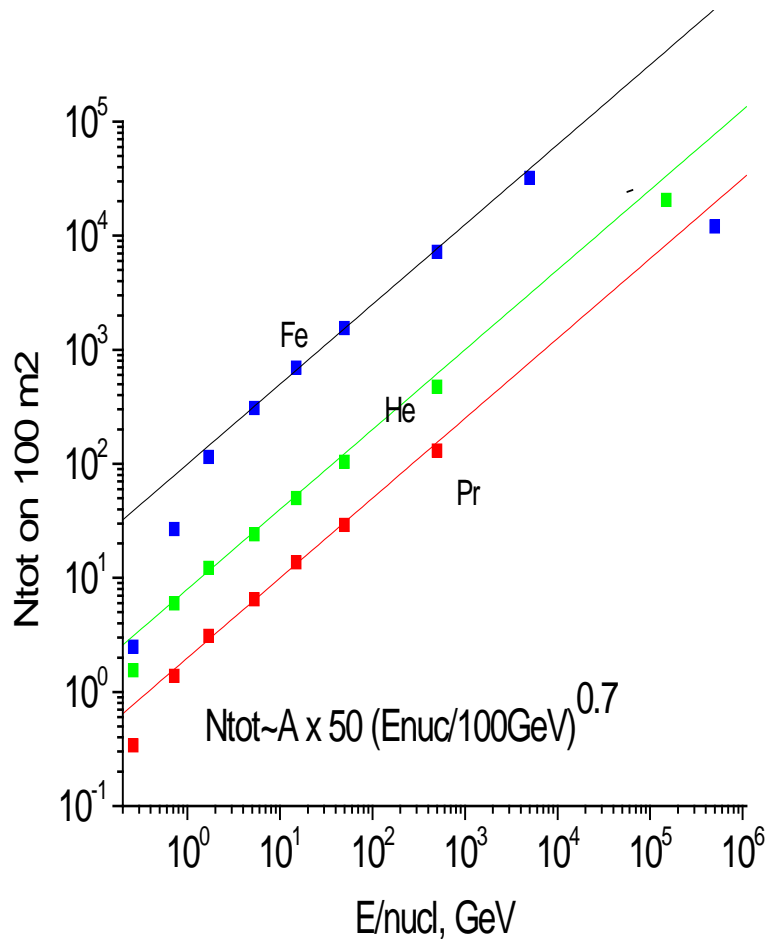
Neutrons, gamma and radio emissions as a source for CR study

- **Нейтроны альbedo из каскадов в лунном грунте**
- **Гамма-кванты альbedo из каскадов в лунном грунте**
- **Альbedo радиоизлучения каскадов из каскадов в лунном грунте**

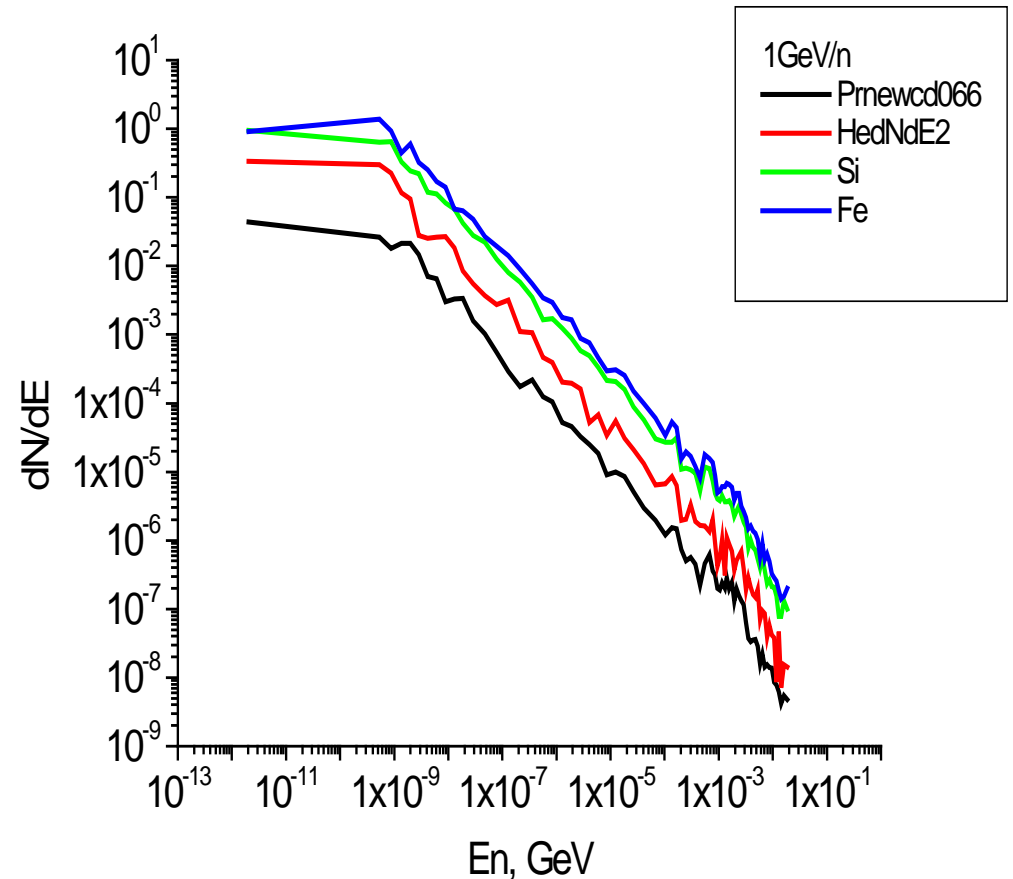
Neutrons emissions from 500 TeV protons of GCR



Восстановление энергии первичной частицы по нейтронам альbedo



Энергетическая зависимость потока нейтронов альbedo от каскада в реголите

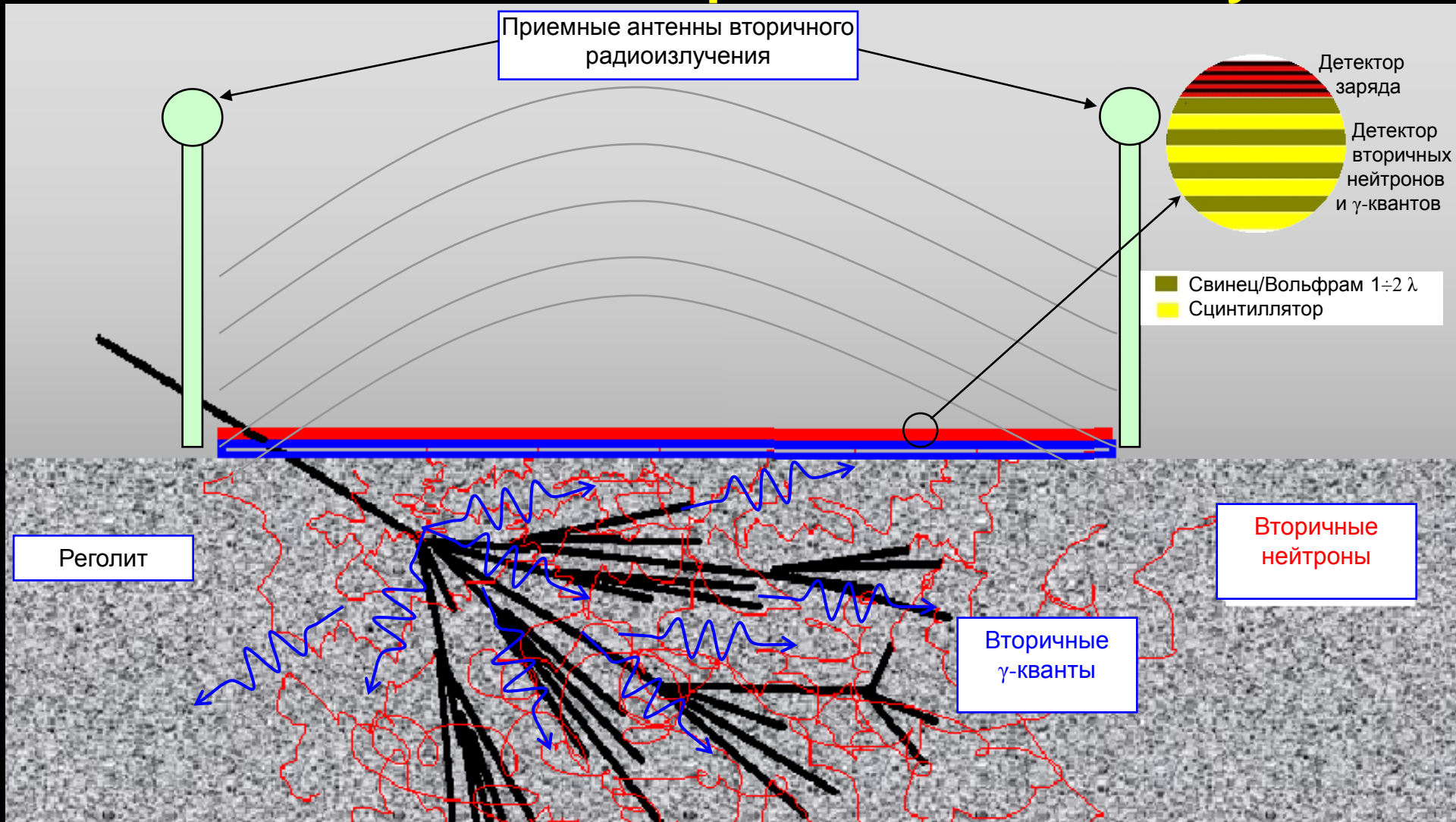


Спектры нейтронов на поверхности Луны от первичного протона, ядра гелия, кремния и железа с энергией 15 ГэВ/нуклон

Выводы

- **Число нейтронов, пересекающих детекторы, установленные на поверхности Луны, при прохождении первичного ядра через реголит, растет с ростом энергии как $E_n^{0.7}$, и пропорционально массе первичного ядра.** Флуктуации выхода нейтронов зависят от массы ядра. RMS составляет 20% для ядер железа, 50 % для ядер гелия и 70% для протонов при энергиях $> 10^{14}$ эВ.
- **Средний размер ‘пятна’, на котором регистрируется 95% нейтронов – составляет около 30 м^2 , а 70% энергии – около 8 м^2 .**
- Время сбора сигнала – около 300 мкс.
- Общий фон на поверхности позволит детектировать частицы с энергией не менее 300 ТэВ.
- **Наличие водородосодержащих пород в месте размещения аппаратуры улучшает замедление нейтронов и упрощает регистрацию каскада.**
- **Самое «мокрое» место на Луне – не самое плохое для космических лучей**

LAO – Lunar Astroparticle Observatory



Общая глубина регистрирующей аппаратуры $10-20 \text{ гр/см}^2$, т.е. $\sim 100-200 \text{ кг/м}^2$

При общей массе установки ~ 10 тонн достижимо значение геометрического фактора $150-300 \text{ м}^2 \text{ ср}$



Спасибо за внимание

