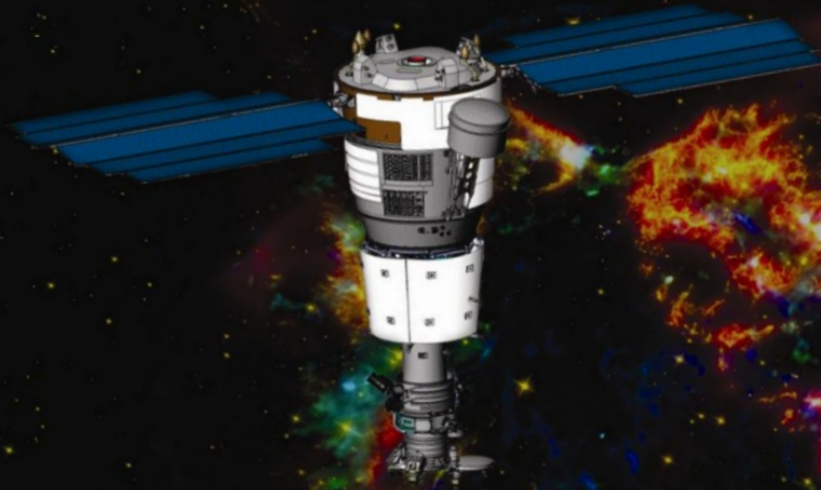


«НУКЛОН» - химический состав космических лучей до «колена»



НИИЯФ МГУ, Москва

ОИЯИ, Дубна

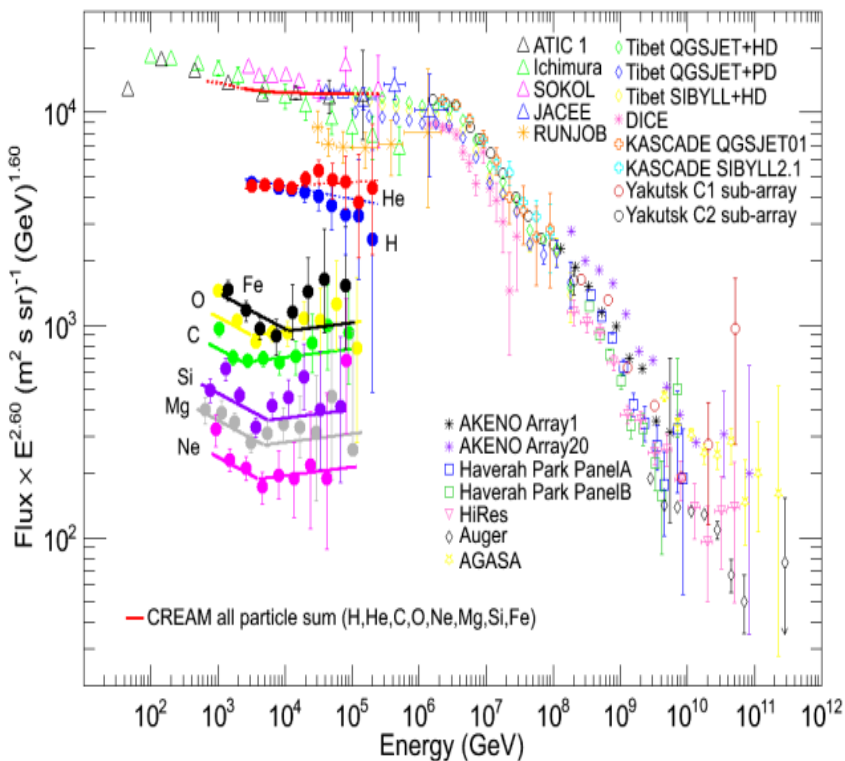
НПО Автоматика, Екатеринбург

НИИМВ, Зеленоград

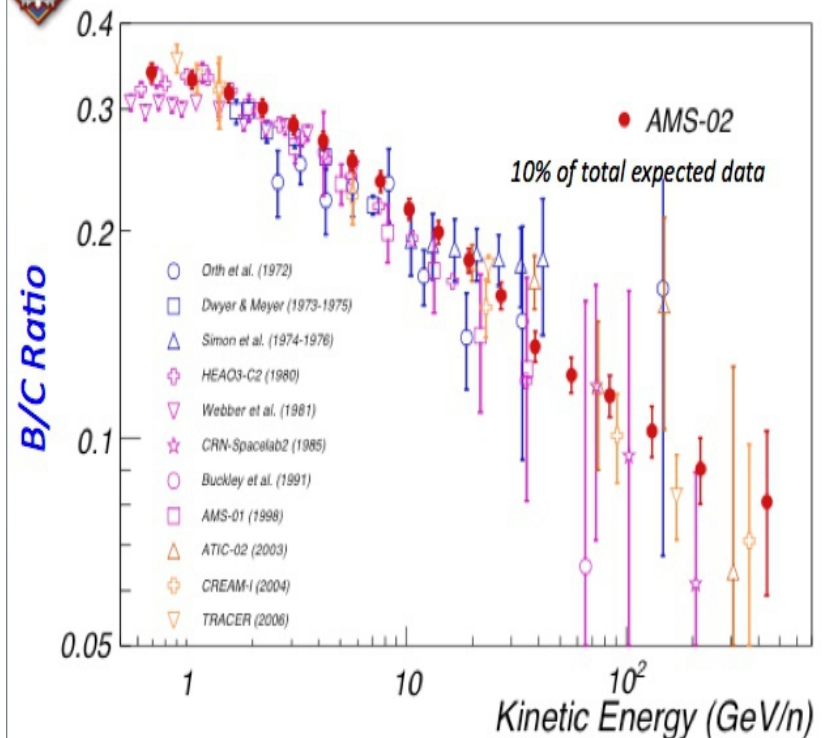
КБ Арсенал, Санкт-Петербург

ЦСКБ Прогресс, Самара

Научные задачи. Химический состав в области «колена». Первичные и вторичные ядра. Проблема источников.



Boron-to-Carbon ratio compared with previous data

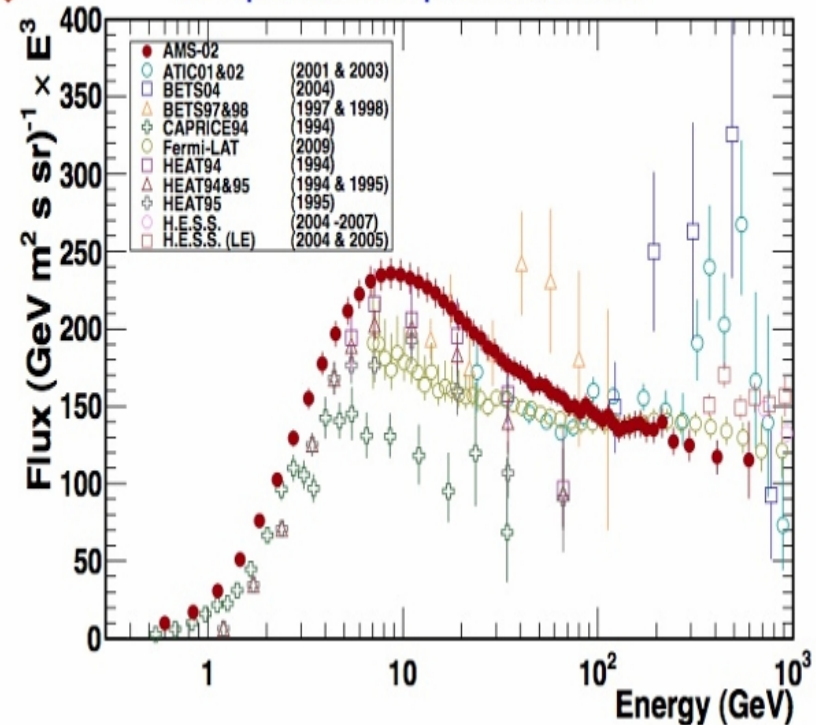


Электроны. Близкие источники

- 1) Есть признаки тонкой структуры(ATIC).
- 2) Анализ данных эксперимента Fermi показал, что невозможно объяснить спектр электронов в области высоких энергий одной популяцией электронов из оболочек сверхновых.
- 3) Данные эксперимента PAMELA по электронам отличаются от эксперимента Fermi, в результатах которого представлен спектр суммы электронов и позитронов, что свидетельствует о росте примеси позитронов в высокоэнергичной части суммарного спектра e^\pm .
- 4) Полученный результат может быть интерпретирован как сигнал от темной материи.



Electron plus Positron Spectrum compared with previous data



Основные характеристики

Фактор экспозиции (с учетом вероятности регистрации) м²ср суток

Протоны (KLEM) ~240

Протоны (калориметр) ~55

Ядра Fe (KLEM) ~600

Ядра Fe (калориметр) ~140

Электроны (калориметр) ~150

Энергетическое разрешение, %

Протоны (KLEM) 70-80

Протоны (калориметр) ~50

Ядра Fe (KLEM) 70-80

Ядра Fe (калориметр) ~30

Электроны (калориметр) ~8

Зарядовое разрешение 0.2

Уровень режекции e/p >10⁴

Масса научной аппаратуры ~300 кг
(с гермоконтейнером ~360 кг)

Энергопотребление <160 Вт

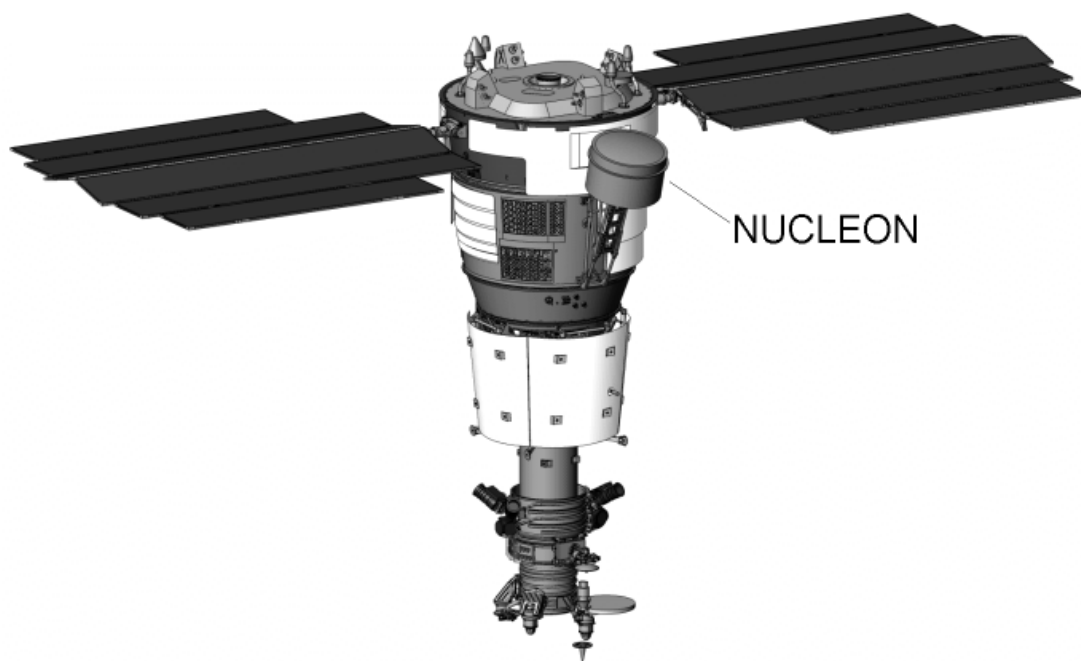
Суточный объем телеметрии ~10 GB

Число независимых каналов ~11104

Гарантированное время функционирования >5 лет

Научную аппаратуру НУКЛОН предполагается разместить в качестве дополнительной полезной нагрузки на серийном КА Ресурс-П №2.

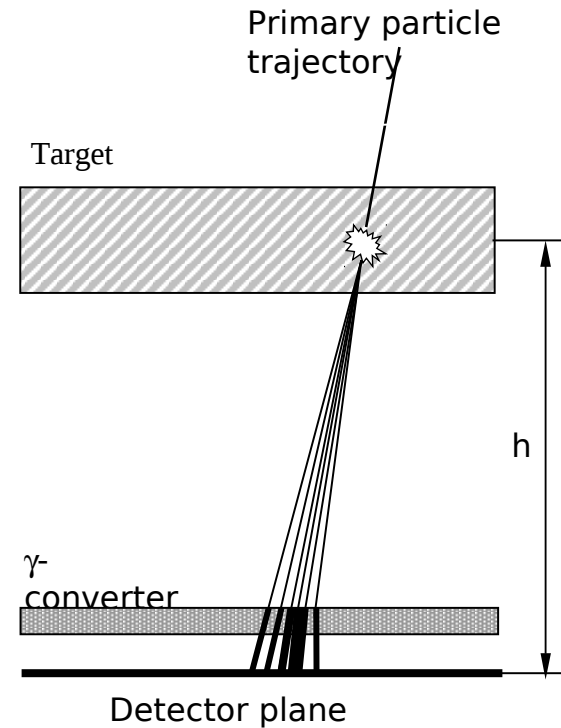
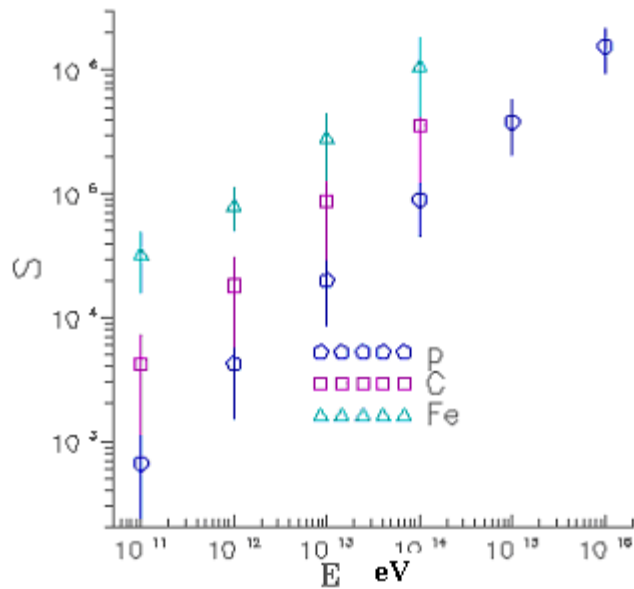
Спутник планируется вывести на солнечно-синхронную орбиту с наклоном $97,276^\circ$ и средней высотой 475 ± 5 км.



В основе энергетических измерений методика KLEM (Kinematic Lightweight Energy Meter) $S = \sum \eta^2$

$$S_x = \sum \ln^2(2H/(X_i - X_0)) N_i$$

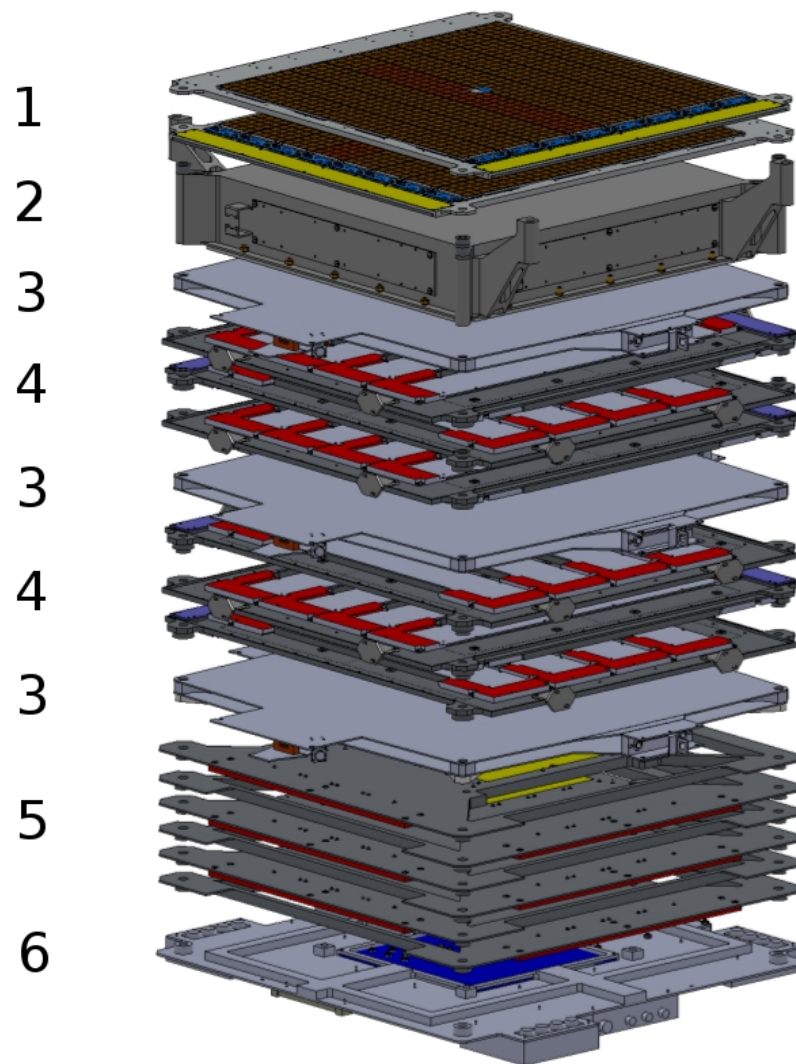
$$S_y = \sum \ln^2(2H/(Y_i - Y_0)) N_i$$



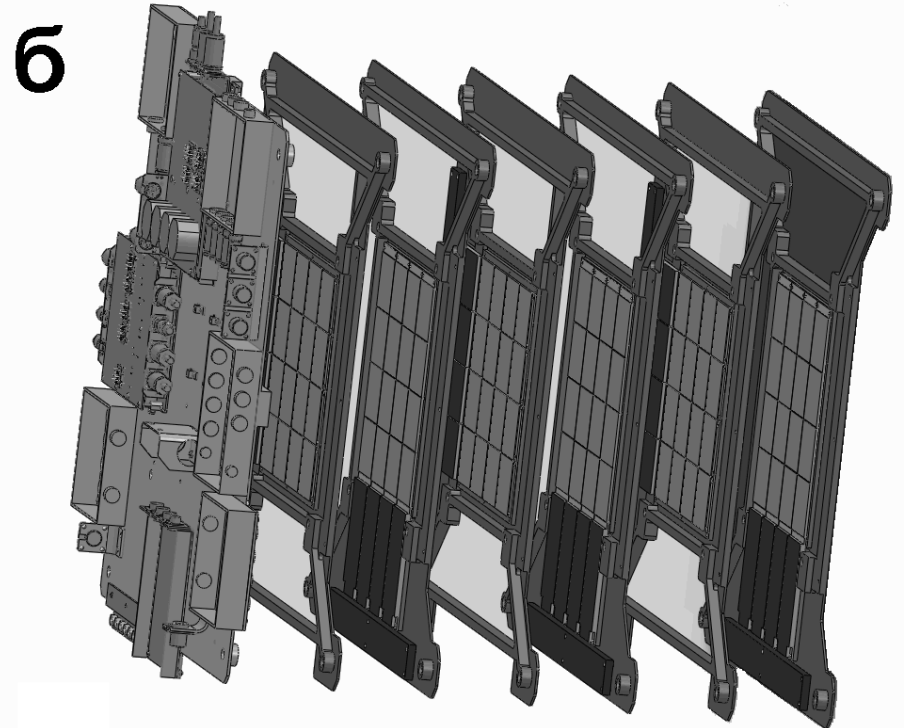
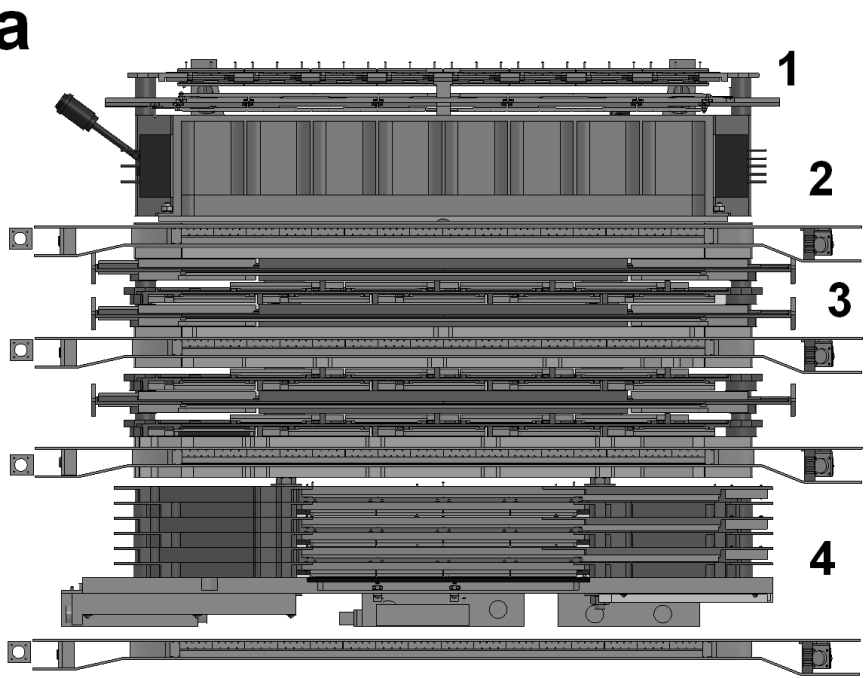
- В методике KLEM было предложено использовать метод, основанный на одновременном измерении углов вылета как заряженных, так и нейтральных частиц. Для этой цели в состав аппаратуры после мишени, где произошло взаимодействие первичной частицы, вводятся конвертор γ -квантов (слой тяжелого вещества, вольфрама, глубиной не менее одной радиационной единицы L).
- Кроме этого известно, что средняя множественность рожденных вторичных частиц также пропорциональна энергии первичной частицы, поэтому параметр энергии S был определен как сумма всех псевдобыстрот. Для ослабления влияния медленных частиц, образованных во вторичных взаимодействиях, эмпирически было предложено суммирование произвести по η^2 .
- Таким образом, методика KLEM – это комбинированный метод определения энергии, основанный, с одной стороны, на определении Лоренц-фактора как заряженных, так и нейтральных вторичных частиц (кинематический метод), а с другой, в параметр определения энергии S введен учет величины общей их множественности (метод «микрокалориметра»). Вклад наиболее «быстрых» частиц подчеркнут суммированием по η^2 .
- В относительно тонкой мишени из легкого вещества (углерода), первичная частица испытывает ядерное взаимодействие. Образуются вторичные γ -кванты (от распада π^0 и η -мезонов) и заряженные однозарядные частицы с энергией E_i (в основном пионы и каоны). На некотором расстоянии от мишени (H) расположен тонкий слой вольфрама, который конвертирует практически все γ -кванты в электронно-позитронные пары. Непосредственно под конвертором расположен слой координатно-чувствительных детекторов, способных фиксировать число и координаты заряженных частиц.

Растянутая схема аппаратуры НУКЛОН

- 1 – детектор заряда
- 2 – мишень (графит)
- 3 – триггерная система
- 4 – микростриповые детекторы
- 5 - микрокалориметр



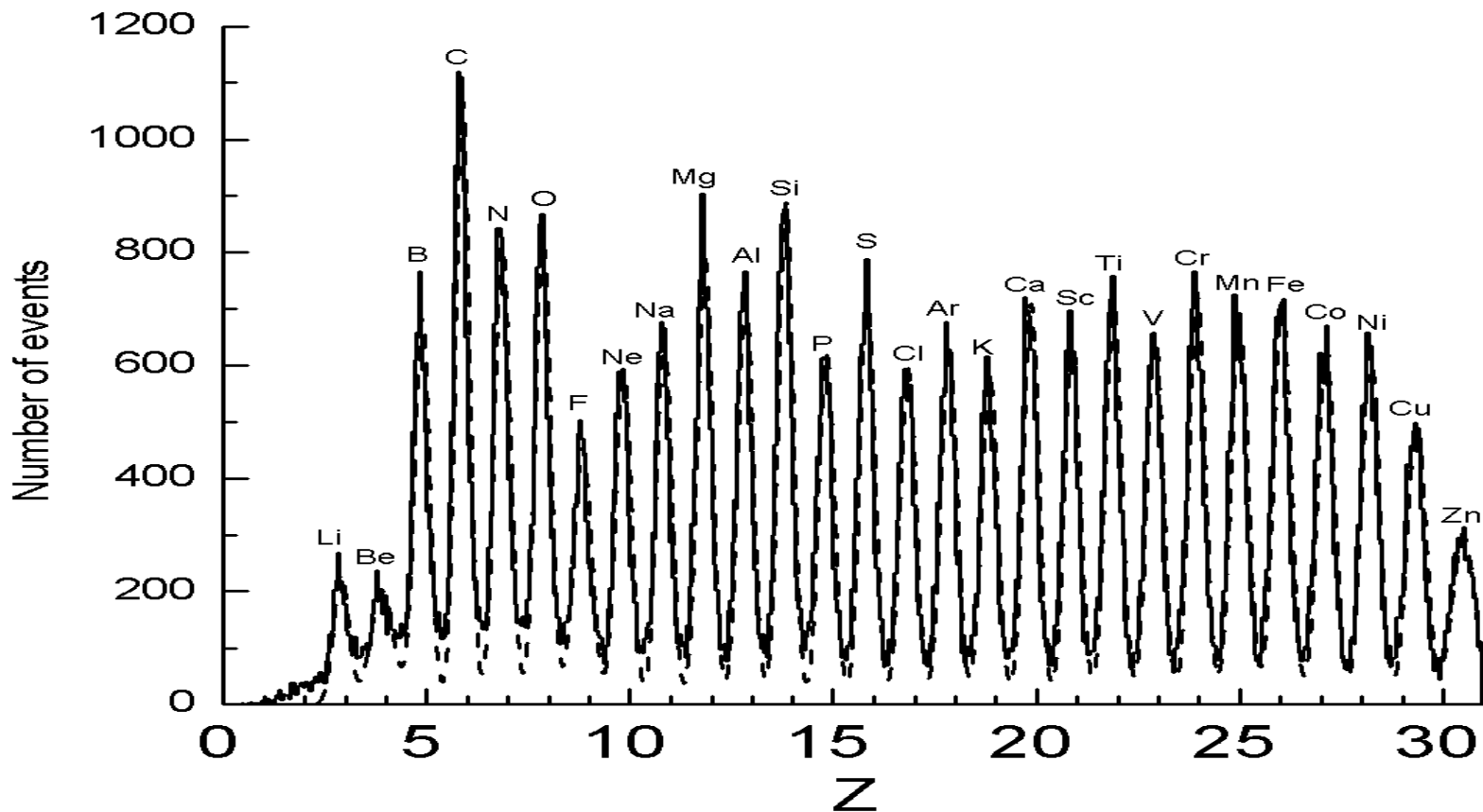
НУКЛОН. а – общая компоновка (1 – система измерения заряда, 2 – графитовая мишень, 3 – системы KLEM и триггера, 4 – микрокалориметр). б – устройство микрокалориметра (слои раздвинуты).



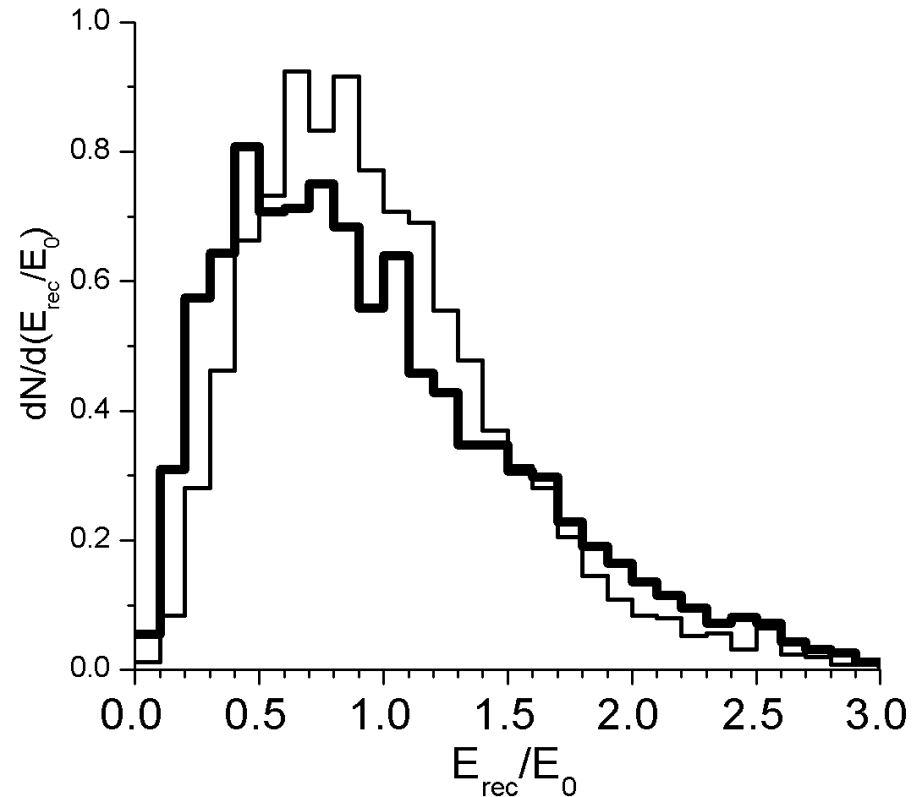
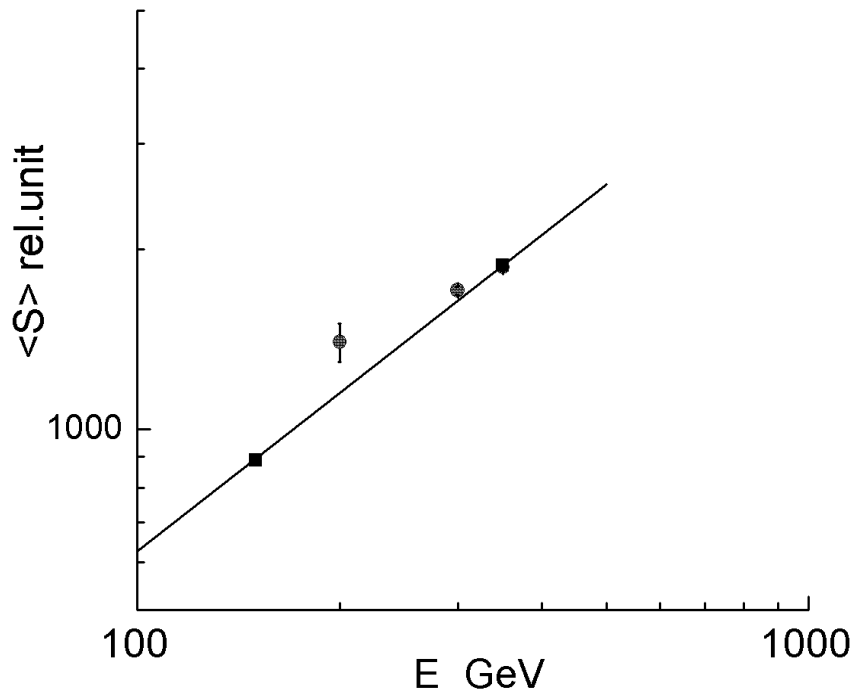
- В состав установки НУКЛОН входит система измерения заряда (четыре слоя падовых кремниевых детекторов), система измерения энергии KLEM (включает графитовую мишень и набор кремниевых микростриповых детекторов, разделенных тонкими вольфрамовыми пластинами), триггерную систему из трех модулей, а также микрокалориметр. Микрокалориметр включает шесть слоев вольфрама и шесть слоев кремниевых микростриповых детекторов.
- Геометрический фактор установки должен составить $0.3 \text{ м}^2\text{ср}$ для KLEM и около $0.1 \text{ м}^2\text{ср}$ при использовании микрокалориметра.

- Микрокалориметр (МИК) регистрирует каскад вторичных частиц после основной системы измерения энергии. Функционально МИК измеряет ионизацию от частиц каскада и служит для выделения и измерения энергии электромагнитной компоненты (электронов, позитронов, гамма-квантов) в общем составе космического излучения. Также МИК позволяет провести дополнительные измерения энергии протонно-ядерной компоненты космических лучей и выполнить калибровки системы KLEM.
- МИК состоит из шести плоскостей по четыре ледера. Один ледер содержит четыре кремниевых микростриповых детектора со 128 стрипами толщиной 300 мкм, шириной 1 мм и длиной 25 см. Каждая плоскость включает вольфрамовый поглотитель и четыре ледера после него. Стрипы в соседних плоскостях ориентированы перпендикулярно друг другу. Суммарно в МИК информация считывается с 1536 каналов.
- Каждая плоскость содержит пластину вольфрамового поглотителя толщиной 7.5 мм и плотностью 17.3 г/см³. Таким образом, один слой содержит 1.92 радиационных длин (X_0). Дополнительный слой поглотителя толщиной 3.5 мм, помещенный позади МИК для улучшения рассеяния электронов в обратном направлении в условиях развитого каскада, увеличивает полную толщину МИК до 12.4 X_0 . Вместе с системой измерения энергии и мишенью толщина ионизационного калориметра НУКЛОН составляет 15.3 X_0 .
- Для проверки работоспособности систем измерения заряда и энергии была проведена серия тестов на ускорителе SPS.

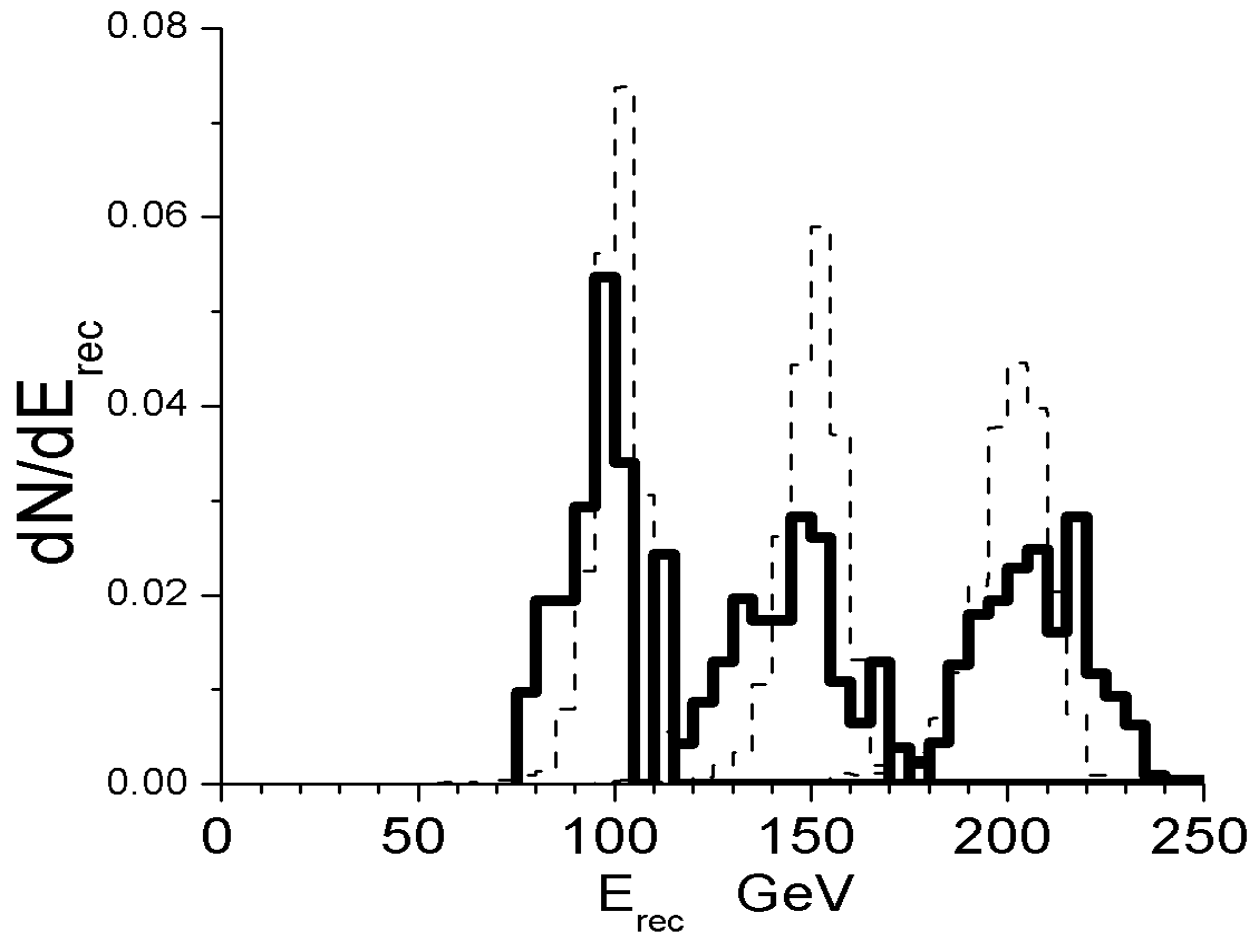
Тестирование системы измерения заряда.
Фрагментация ядер индия, отбор по магнитной жесткости. Ранговая статистика. Погрешность ~ 0.2



Тестирование системы измерения энергии 2008 (круги) и 2012 (квадраты) гг. Распределения для 150 (тонкая линия, 53%) и 350 (63%) ГэВ (пионы)



Тестирование микрокалориметра. Электроны. 100, 150, 200 ГэВ. Эксперимент и моделирование



Сравнение с другими экспериментами. Ядра

		Геометрический фактор, м ² ср	Время экспозиции, лет	Фактор экспозиции м ² ср год	Энергетическое разрешение, %
ATIC	p	0.25	~0.2-0.3	0.0034	50
	Fe	0.15		0.006	30
CREAM	p	0.46	~0.5	0.23	50
	Fe	1.5		0.65	30
ISS-CREAM		0.2	3	0.6	?
НУКЛОН	p	0.13	>5	0.66	70
KLEM	Fe	0.34		1.65	70
НУКЛОН	p	0.03	>5	0.15	50
Калор.	Fe	0.08		0.38	30

Сравнение с другими экспериментами. Электроны

	Геометрический фактор, м ² ср	Время экспозиции, лет	Фактор экспозиции м ² ср год	Энергетическое разрешение, %
ATIC	0.25	~0.2-0.3	0.006	3
PAMELA	0.00216	>3	0.0065	5.5
Fermi-LAT	2.8-0.8	5	14-4	12-30
AMS02	0.1	10	1	2.5-20
CALET	0.12	5(?)	0.6	2.5
НУКЛОН	0.08	>5	0.4	8

Выводы

- Эксперимент НУКЛОН позволяет решить поставленные научные задачи
- Информация, которая будет получена с помощью НУКЛОНа, существенно дополнит данные CALET и ISS-CREAM