

Идентификация лёгких ядер в космических
лучах в эксперименте PAMELA по
многократным измерениям потерь энергии
вдоль трека.

Алексеев В.^{1, 2}, Голуб О.¹, Майоров А.¹

¹Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ», Москва

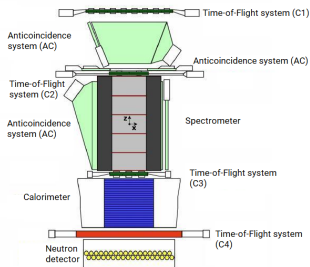
²ЯрГУ им. П.Г. Демидова, Ярославль

Москва, НИЯУ МИФИ

19 ноября 2020 г.

PAMELA (Payload for **A**ntimatter **M**atter **E**xploration and **L**ight-nuclei **A**strophysics) — орбитальный модуль, предназначенный для исследования космических лучей (2006 – 2016).

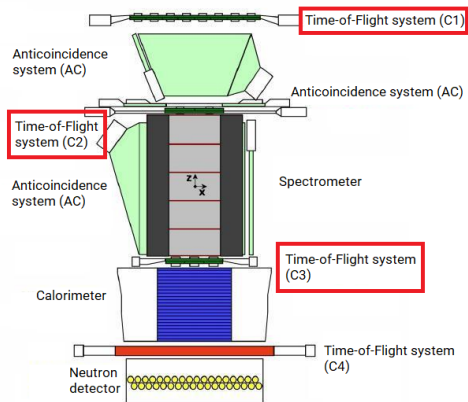
Основное предназначение прибора: обнаружение протонов и антипротонов в космических лучах.



Трекер и время-пролётная система PAMELA

Время-пролётная система:

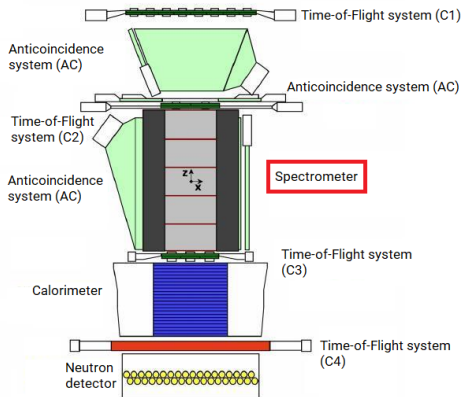
3 плоскости \times 2 проекции = 6 измерений.



Трекер и время-пролётная система PAMELA

Магнитный спектрометр (трекер):

6 плоскостей \times 2 проекции = 12 измерений.



Цель: определить тип частицы по набору из $12 + 6 = 18$ значений энерговыделений.

Критерии качества классификации:

- доля идентифицированных событий (должна быть большой);
- вероятность ошибки (должна быть близкой к нулю).

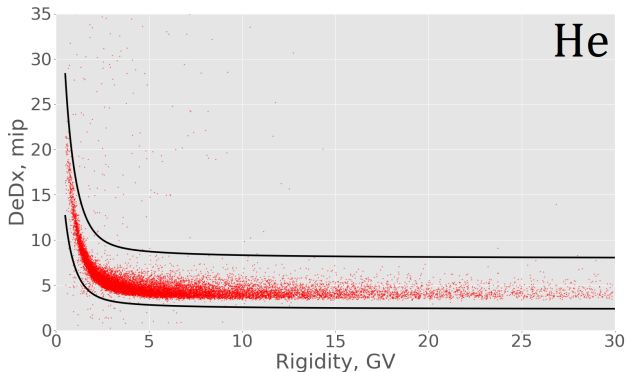
Критерии отбора:

- В трековой системе идентифицирован один трек, соответствующий прохождению одной частицы через прибор.
- Траектория в треkere восстановлена с использованием 4-х и более точек в отклоняющей проекции X , 3-х и более точек в ортогональной проекции Y , что достаточно для надежного измерения жёсткости частицы.
- Отсутствуют срабатывания всех детекторов системы анτισовпадений.
- Отсутствует сигнал одновременно в нескольких счетчиках одной плоскости время-пролетной системы, чтобы исключить рождение вторичных частиц внутри прибора.

Классификация событий (по одному взаимодействию)

Для каждого типа ядер и каждого прибора вычисляются две «отделяющих» кривых $L(Rig)$ и $H(Rig)$. В диапазон между кривыми попадают $> 97\%$ событий данного типа ядер.

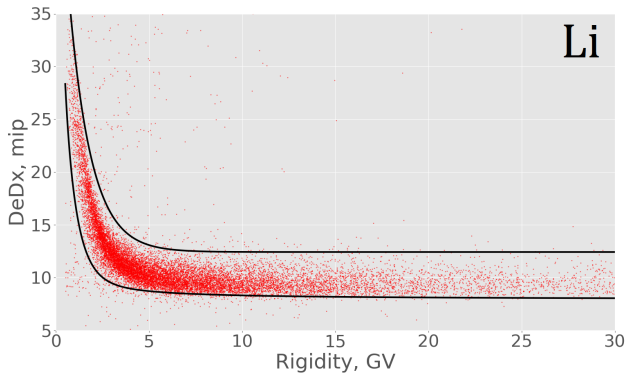
Кривые $H(Rig)$ и $L(Rig)$ для гелия (1 плоскость ToF).



Классификация событий (по одному взаимодействию)

Для каждого типа ядер и каждого прибора вычисляются две «отделяющих» кривых $L(Rig)$ и $H(Rig)$. В диапазон между кривыми попадают $> 97\%$ событий данного типа ядер.

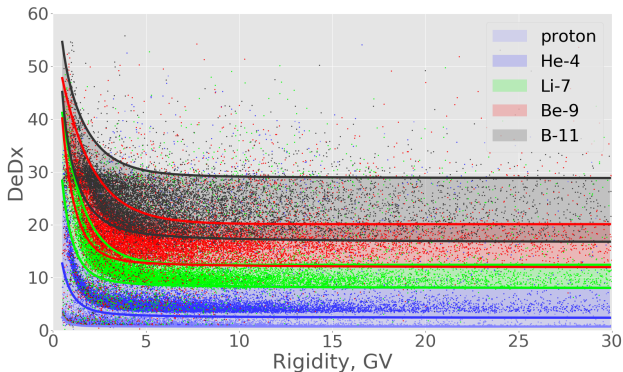
Кривые $H(Rig)$ и $L(Rig)$ для лития (1 плоскость ToF).



Классификация событий (по одному взаимодействию)

Для каждого типа ядер и каждого прибора вычисляются две «отделяющих» кривых $L(Rig)$ и $H(Rig)$. В диапазон между кривыми попадают $> 97\%$ событий данного типа ядер.

Кривые $H(Rig)$ и $L(Rig)$ для всех ядер (1 плоскость ToF).



Классификация событий (по набору взаимодействий)

Для каждого события получаем набор из 18 «ответов» – в диапазон энерговыделений какого ядра попало соответствующее значение.

Событие идентифицируется как ядро типа j , если

- 8+ значений в трекаре и 4+ значений в *ToF* соответствуют ядру типа j ;
- по предыдущему пункту событие идентифицируется однозначно;
- если предыдущие два пункта не выполнены, событие не идентифицируется.

Матрица априорных вероятностей ошибок M :

$$M_{ij} = P(\text{answer} = j \mid \text{real} = i).$$

	H	He	Li	Be	B
H	0.961	0.000	0.000	0.000	0.000
He	0.011	0.929	0.000	0.000	0.000
Li	0.003	0.013	0.819	0.004	0.000
Be	0.002	0.006	0.007	0.701	0.005
B	0.000	0.003	0.000	0.020	0.764

Матрица апостериорных вероятностей ошибок Q (с учётом соотношения потоков ядер в КЛ):

$$Q_{ij} = P(\text{real} = j \mid \text{answer} = i) = \frac{P(\text{real} = j)M_{ij}}{\sum_k P(\text{real} = k)M_{ik}}.$$

	H	He	Li	Be	B
H	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000
He	0.000	1.000	0.000	0.000	0.000
Li	0.000	0.008	0.986	0.004	0.002
Be	0.000	0.002	0.010	0.923	0.065
B	0.000	0.000	0.000	0.003	0.997

- Метод позволяет точно идентифицировать ядра водорода и гелия, отсеивается малая доля событий ($\approx 4\%$ и $\approx 7\%$, соответственно).
- Метод позволяет с хорошей точностью идентифицировать ядра лития, бора и бериллия (ошибка менее 2%). При этом отсекается менее четверти событий.
- Основная неточность метода связана с разделением бора и бериллия: около 6.5% событий, идентифицированных как бериллий, фактически являются ядрами бора. Это связано с близостью распределений энергосекций данных частиц при фиксированной жёсткости.