

# Восстановление анизотропных потоков легких ядер с $1 < Z < 6$ во внутреннем радиационном поясе Земли для захваченной компоненты

Национальный исследовательский ядерный  
университет «МИФИ»

Аспирант: Прошин Сергей Алексеевич

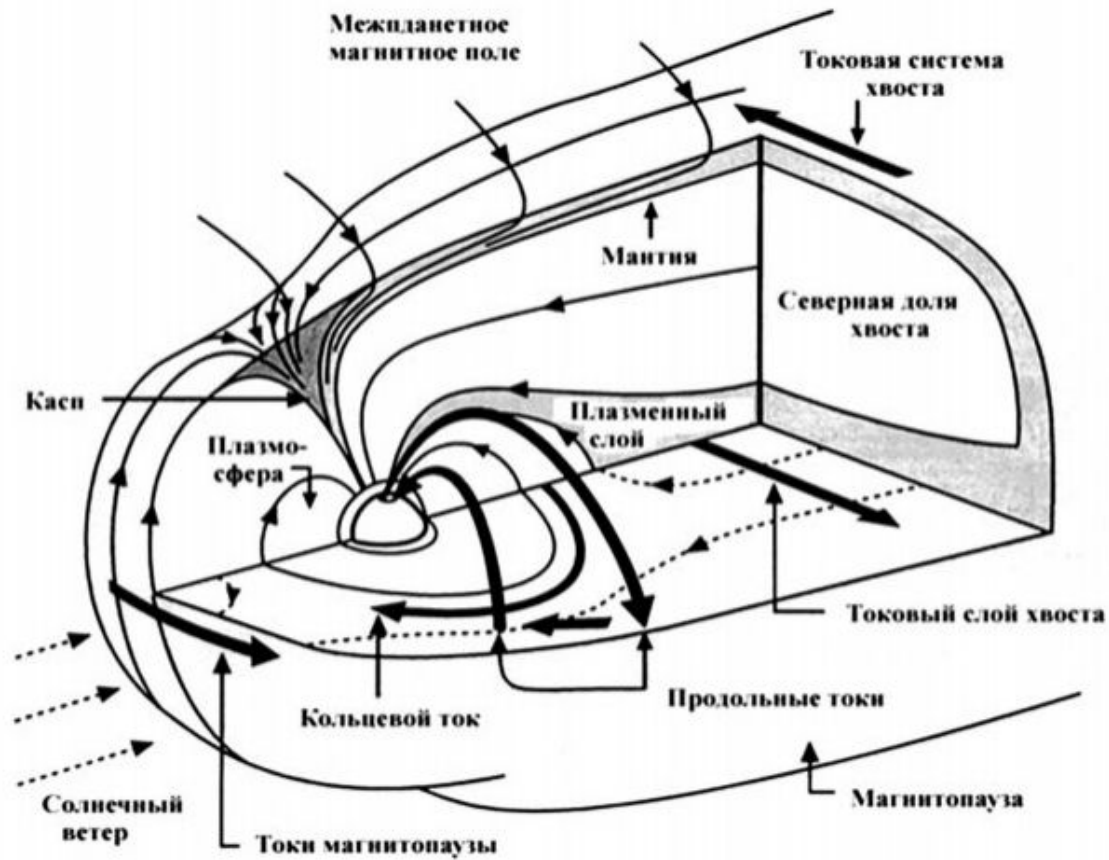
Научный руководитель, к.ф.-м.н.: Майоров Андрей Георгиевич

# Предпосылки существования радиационных поясов

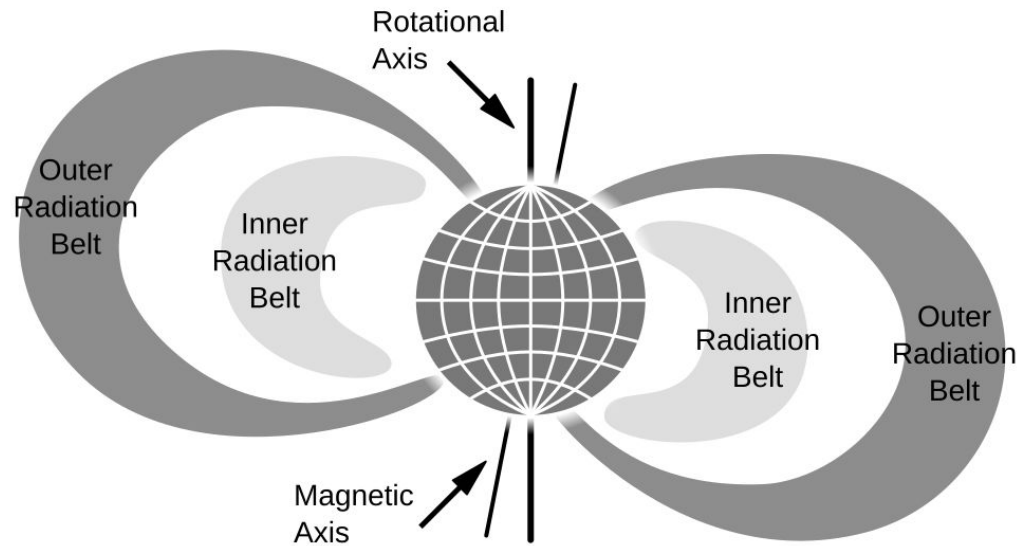
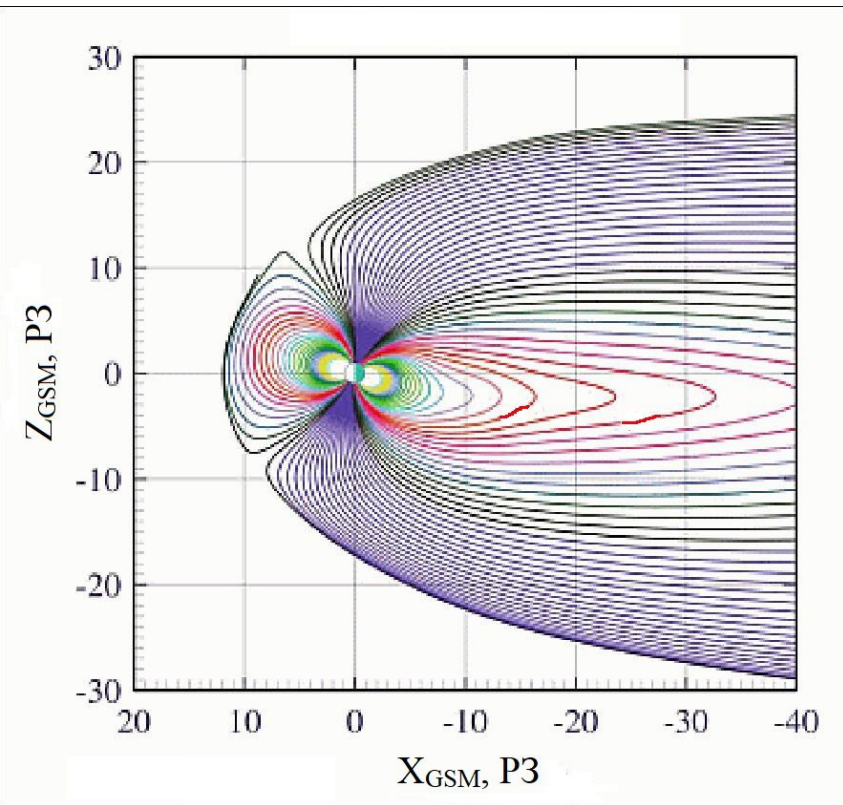
Штермер в своей теории движения заряженных частиц в магнитном поле Земли, имеющим дипольную конфигурацию, на рубеже XIX-XX веков предсказал существование условно разрешенных областей пространства для заряженных частиц вблизи Земли.

С 3 ноября 1957 г. на втором советском искусственном спутнике Земли (ИСЗ), с апогеем орбиты — 1671 км и углом ее наклона  $i=69,3^\circ$ , гейгеровскими счетчиками, установленными группой С. Н. Вернова, регистрировался хорошо известный рост с широтой потока космических лучей. Неожиданно на его фоне был зарегистрирован быстрый всплеск интенсивности заряженных частиц.

С 1 февраля 1958 г. экранированный гейгеровский счетчик, установленный группой Ван Аллена на борту первого американского спутника «Эксплорер-1», начал регистрировать энергичные заряженные частицы. Неожиданно было обнаружено, что на больших высотах у экватора и над Южной Америкой его счет прекращался полностью, причем не регистрировались даже космические лучи, присутствующие всегда.



Система магнитосферных токов



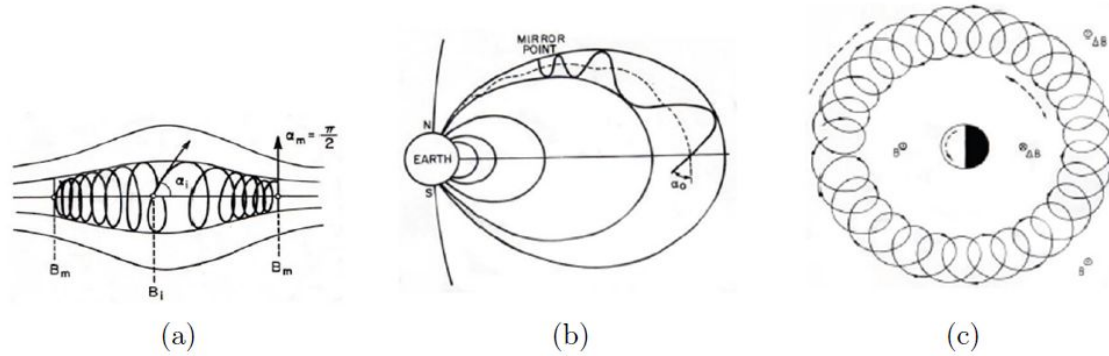


Рис. 1.4: Движение заряженной частицы, захваченной в дипольном магнитном поле:  
 а) круговое движение вокруг магнитно-силовой линии б) движение вдоль силовой линии между зеркальными точками с) долготный дрейф.

$$\left| \frac{\nabla B}{B} \right| \ll \frac{1}{\rho}; \frac{dB}{dt} \ll \frac{B}{\tau_g}$$

$$\frac{\tau_b}{B} \frac{dB}{dt} \ll 1$$

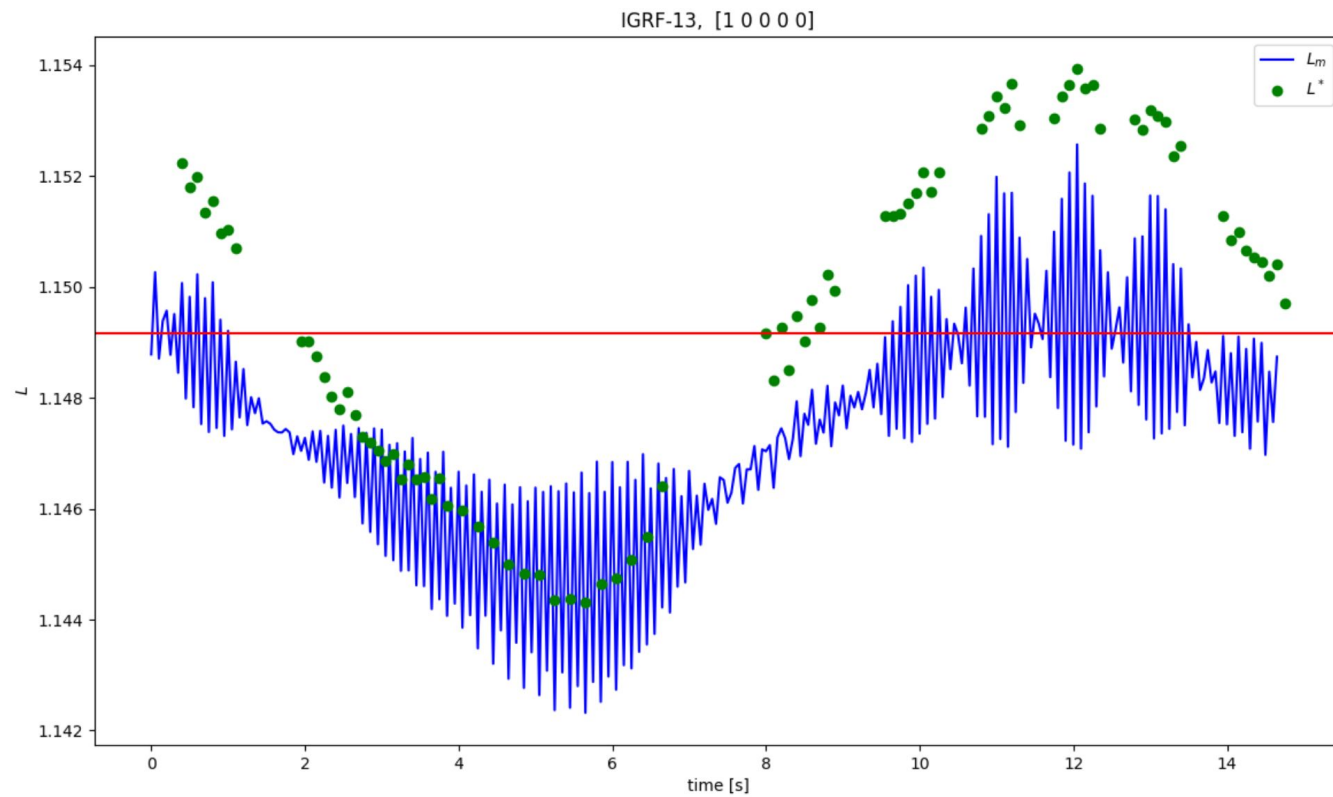
$$\frac{\tau_D}{B} \frac{dB}{dt} \ll 1$$

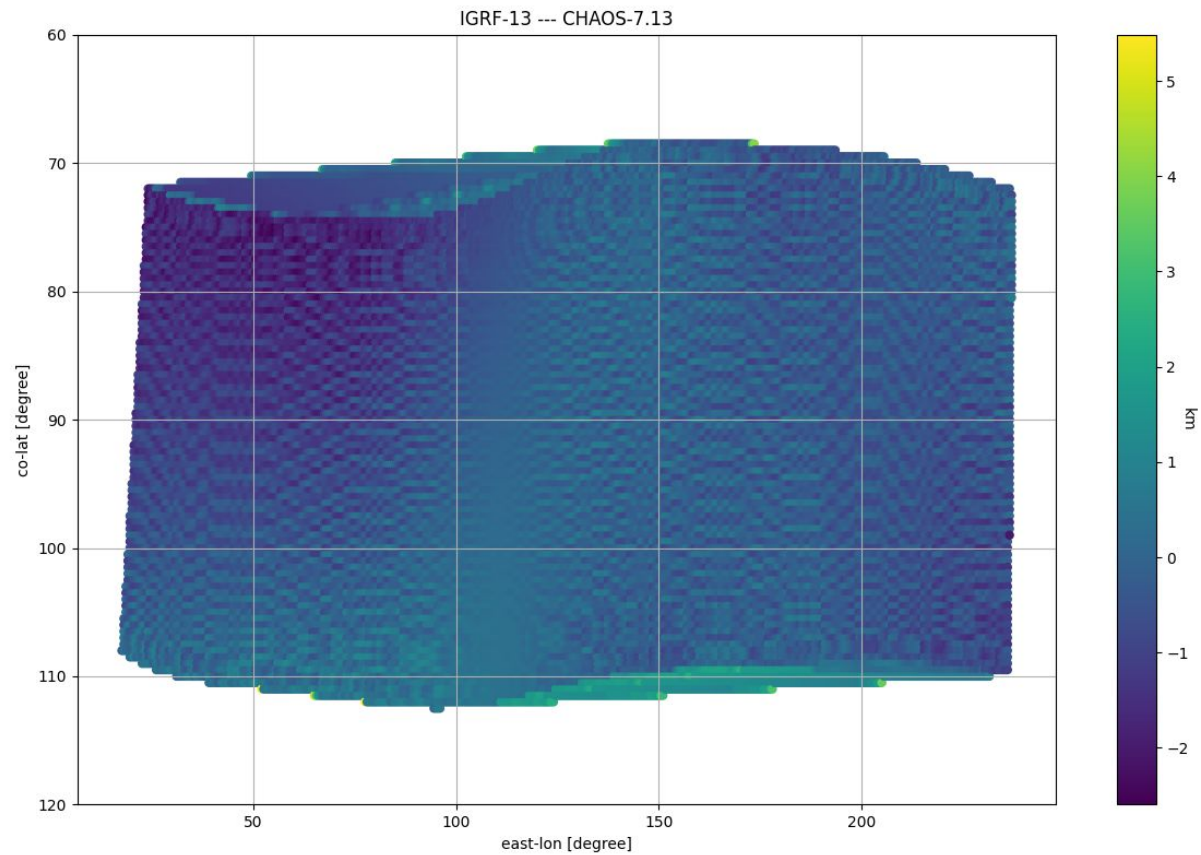
Из этих трех условий следуют 3 интеграла движения.

$$\vec{B} = -\nabla \vec{V}$$

$$V(r, \theta, \phi) = a \sum (g_n^m \cos m\phi + h_n^m \sin m\phi) \left(\frac{a}{r}\right)^{n+1} P_n^m(\cos \theta)$$

где  $\theta, \phi, r$  — сферические координаты,  $a$  — характеристическое расстояние, за которое в данном случае принят радиус Земли,  $P_n^m$  — присоединённые полиномы Лежандра степени  $m$  и порядка  $n$ ,  $g_n^m$  и  $h_n^m$  — коэффициенты Гаусса.

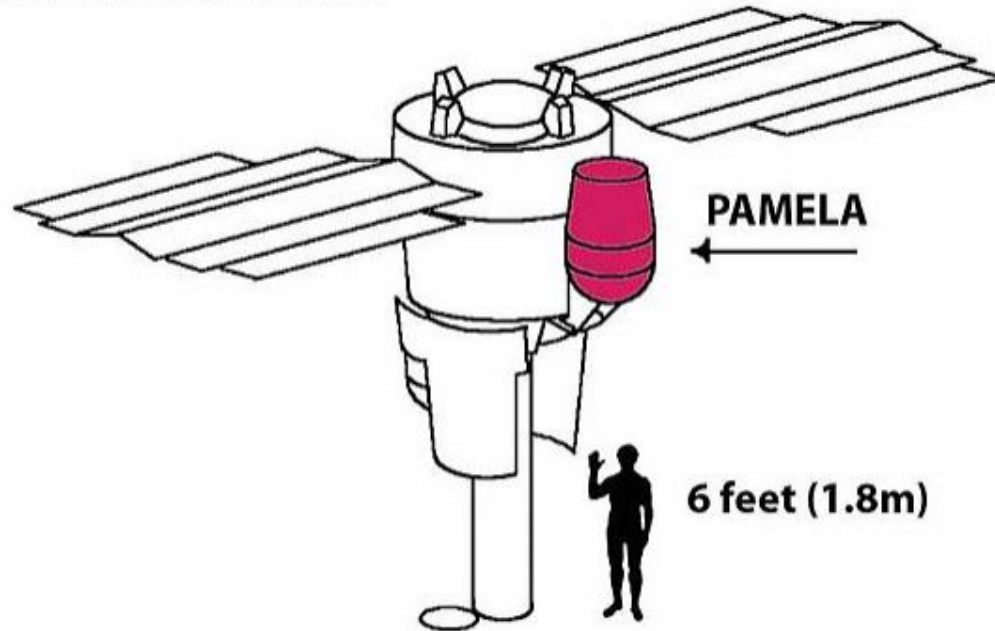






# Экспериментальные данные

**Resurs-DK  
Reconnaissance Satellite**





SAMPEX (20 – 1000 МэВ)

**Hydrogen and helium isotope inner radiation belts in the Earth’s magnetosphere**

G. I. Pugacheva<sup>1</sup>, W. N. Spjeldvik<sup>2</sup>, A. A. Gusev<sup>1</sup>, I. M. Martin<sup>1</sup>, and N. M. Sobolevsky<sup>3</sup>

<sup>1</sup> University of Campinas, Instituto de Fisica/DRCC, 13083-970, Campinas, SP, Brazil

<sup>2</sup> Department of Physics, Weber State University, Ogden, Utah, 84408-2508, USA

<sup>3</sup> Institute of Nuclear Research of Russian Academy of Science, 117312, Moscow, Russia

Received: 24 July 1997 / Revised: 6 February 1998 / Accepted: 16 March 1998

POLAR (~ 1 МэВ)

**POLAR spacecraft observations of helium ion angular anisotropy in the Earth’s radiation belts**

W. N. Spjeldvik<sup>1</sup>, T. A. Fritz<sup>2</sup>, J. Chen<sup>2</sup>, R. B. Sheldon<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Physics Department, Weber State University, 2508 University Circle, Ogden, Utah 84408-2508, USA

E-mail: WSpjeldvik@CC.Weber.edu

<sup>2</sup> Center for Space Physics, Boston University, 745 Commonwealth Avenue, Boston, MA 02215, USA

Received: 19 June 1998 / Revised: 30 October 1998 / Accepted: 16 November 1998

Molnija 2 , ISEE, Akebono, ETS-VI (100 - 200 МэВ)

**Earth’s radiation belts’ ions: patterns of the spatial-energy structure and its solar-cyclic variations**

Alexander S. Kovtyukh

Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119234, Russia

**Correspondence:** Alexander S. Kovtyukh (kovtyukhas@mail.ru)

Received: 3 November 2019 – Discussion started: 7 November 2019

Accepted: 30 December 2019 – Published: 29 January 2020

Ресурс-ДК1 [спектрометр PAMELA] (легкие ядра ( $Z < 6$ ) =>  $E < 200$  ГэВ;)  
(легкие изотопы (D, 3He) =>  $E < 1$  ГэВ. )

# Эмпирические модели

Протоны:

Модель	Данные	Диапазон L	Диапазон E, МэВ
AP8 (MIN/MAX)	Табл. 1 в [149]	1.14 — 6.6	0.1 — 400
INP/MSU (MIN/MAX)	AP8 + в [14]	1.2 — 6.6	0.1 — 400
PSB97 (MIN)	SAMPEX/PET	1.1 — 2.0	18 — 500
CRRESPRO (MAX)	CRRES/PROTEL	1.15 — 5.5	1.1 — 90.4
NOAAPRO (MIN-MAX)	NOAA/MEPED	1.14 — 1.20	>16, >36, >80
TPM (MIN-MAX)	NOAA, CRRES	1.1 — 5.5	1 — 100
Japanese (MIN)	AKEBONO	1.2 — 3.0	6 — 60
Van Allen Probes	Van Allen Probes	1.15 — 3.5	18 — 600

MIN, MAX означает фазу солнечного цикла, в течение которой собирались данные.

Гелий:

## An Empirical Model of the Radiation Belt of Helium Nuclei

I. V. Getslev, E. N. Sosnovets<sup>†</sup>, A. S. Kovtyukh, A. V. Dmitriev, M. V. Podzolko,  
N. A. Vlasova, and S. Ya. Reizman

*Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow State University, Vorob'evy gory, Moscow, 119899 Russia*

Received March 15, 2004

# Численное моделирование

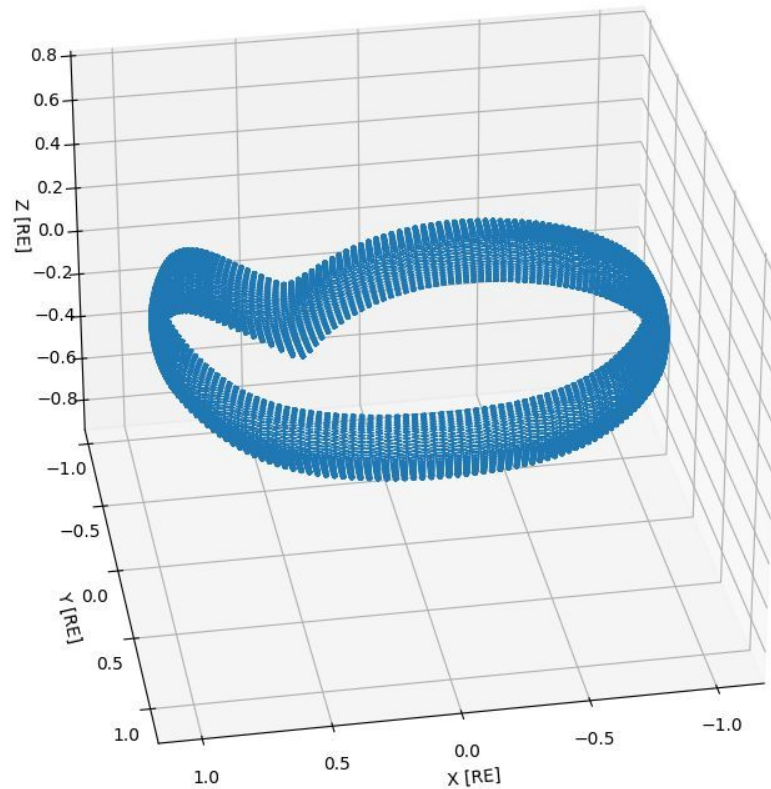
Решение уравнения переноса

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{\gamma p} \frac{\partial \left( \gamma p \frac{dE}{dt} f \right)_{L,K}}{\partial E} = \frac{S}{p} - \frac{f}{\tau} + L^2 \frac{\partial \left( \frac{D_{LL}}{L^2} \frac{\partial f}{\partial L} \right)_{M,K}}{\partial L}$$

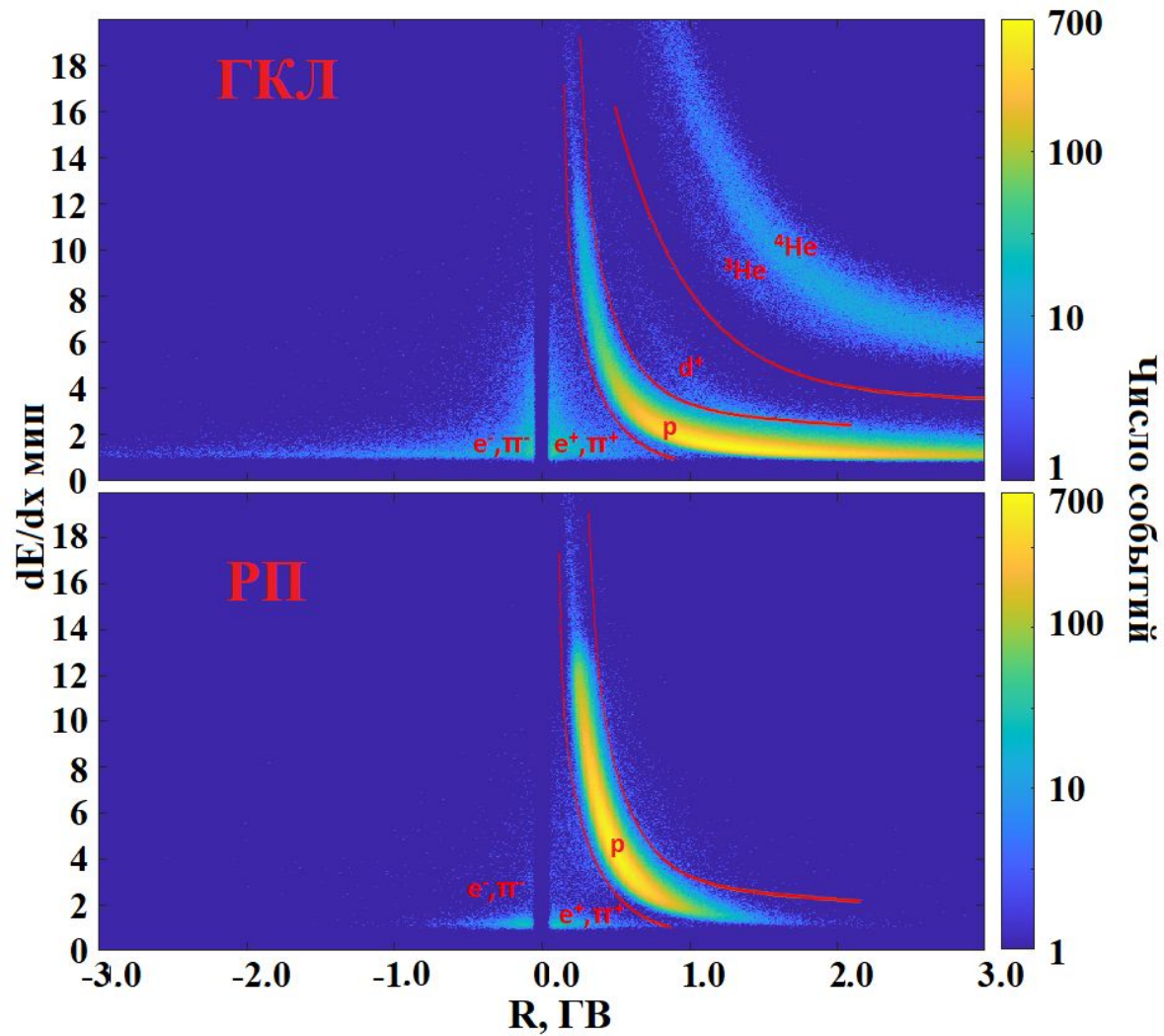
модель Селезника

где  $f$  — функция плотности, связанная с потоком как  $f = \frac{j}{p^2}$ ,  $p$  — импульс частицы,  $\gamma$  — её Лоренц-фактор,  $\frac{dE}{dt}$  — энергетические потери частицы в веществе остаточной атмосферы или плазмосферы,  $M, K, L$  — инварианты движения,  $S$  — функция источника,  $\tau$  — среднее время жизни,  $D_{LL}$  — коэффициент диффузии.

## Трассировка заряженной частицы







$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{Z^2}{\beta^2}$$

$$\frac{dE}{dx} \propto \frac{m}{R^2}$$

$$\rho(L, E, M, Q) \ll R_c$$

теория стохастического движения частиц


$$E(\text{MeV}) < 2000 \times (Q^2/M) L^{-4}$$

Для  $L \sim 1.05$  (высота полета ПАМЕЛЫ)  $\Rightarrow E < 1.6$  ГэВ для протона и гелия



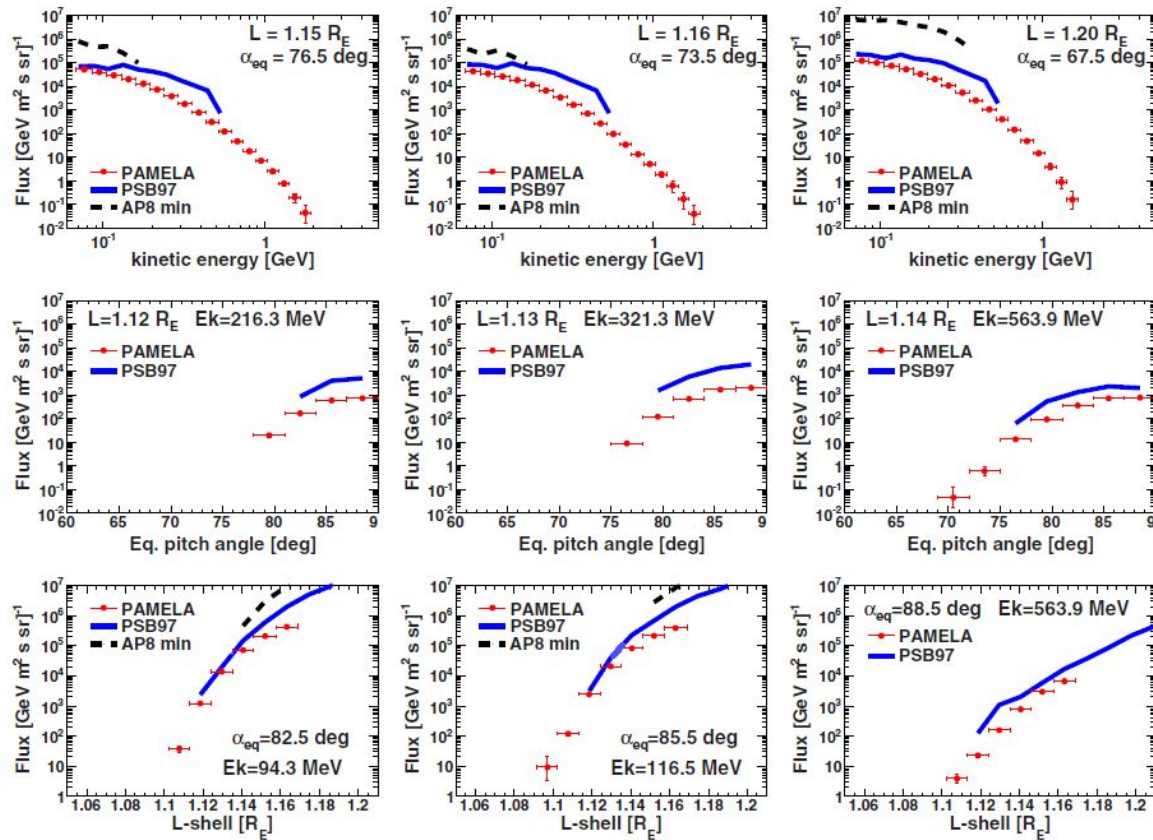


Рис. 6.3: Верхний ряд: Энергетические спектры захваченных протонов для разных дрейфовых оболочек и экваториальных питч-углов. Средний ряд: питч-угловое распределение потоков захваченных протонов для разных дрейфовых оболочек и энергий. Нижний ряд: Радиальная зависимость захваченных потоков протонов для разных экваториальных питч-углов и энергий. Чёрной пунктирной линией обозначены расчёты моделью AP8min [118], синей — моделью PSB97 [3], [142]

# Новизна и актуальность

- Будут впервые измерены анизотропные потоки захваченных и квази захваченных ядер с  $Z > 1$  и  $E > 1$  ГэВ
- Будут впервые получены пространственные и угловые распределения потоков захваченных ядер с  $Z > 1$  на высотах 350-600 км при энергиях свыше 1 ГэВ

Спасибо за внимание!