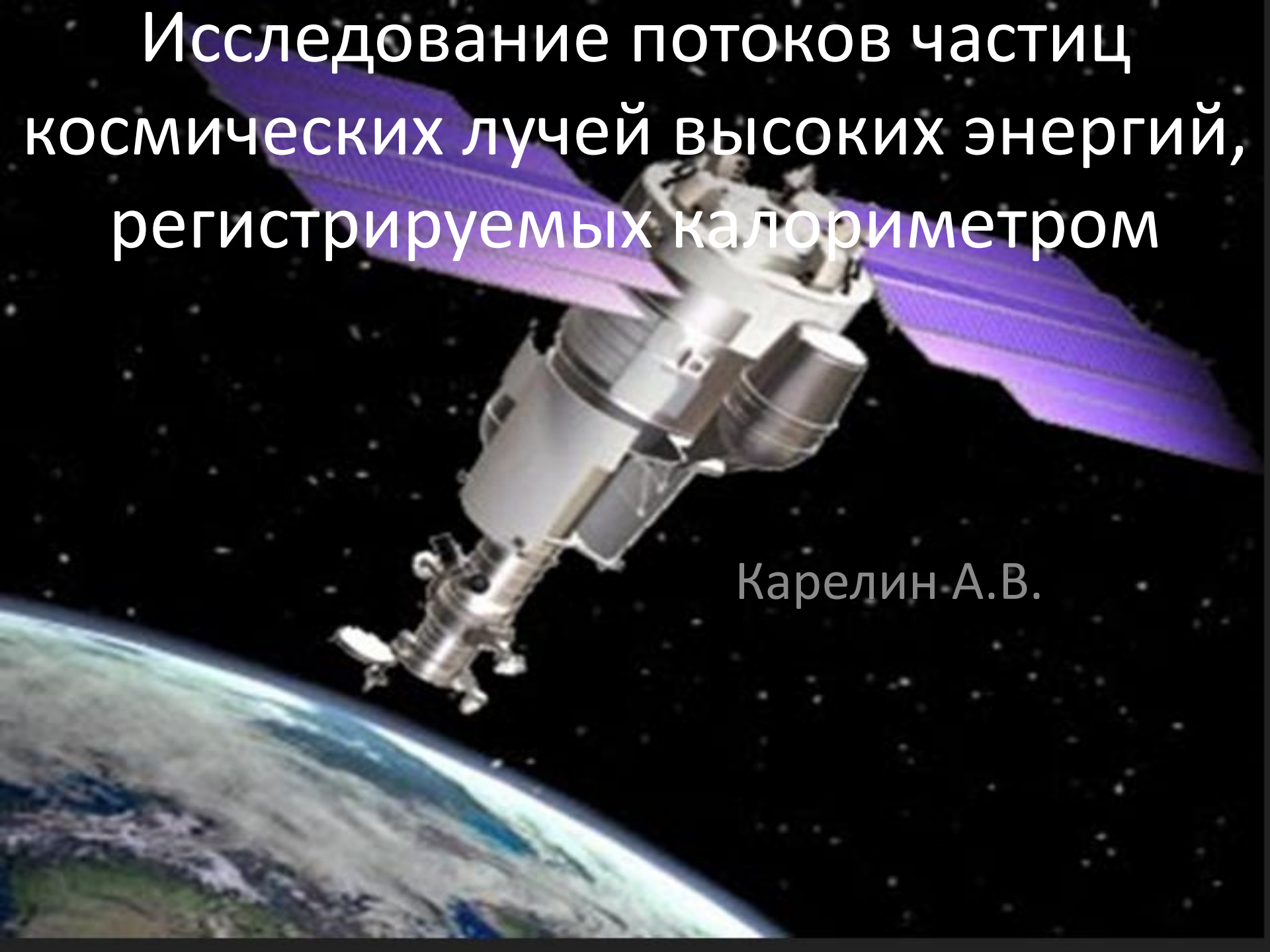


Исследование потоков частиц космических лучей высоких энергий, регистрируемых калориметром

Карелин А.В.



Основные результаты, выносимые на защиту:

- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

Общий вид спектрометра ПАМЕЛА

Сцинтилляционные
детекторы ВПС

Магнитный
спектрометр('трэкер')

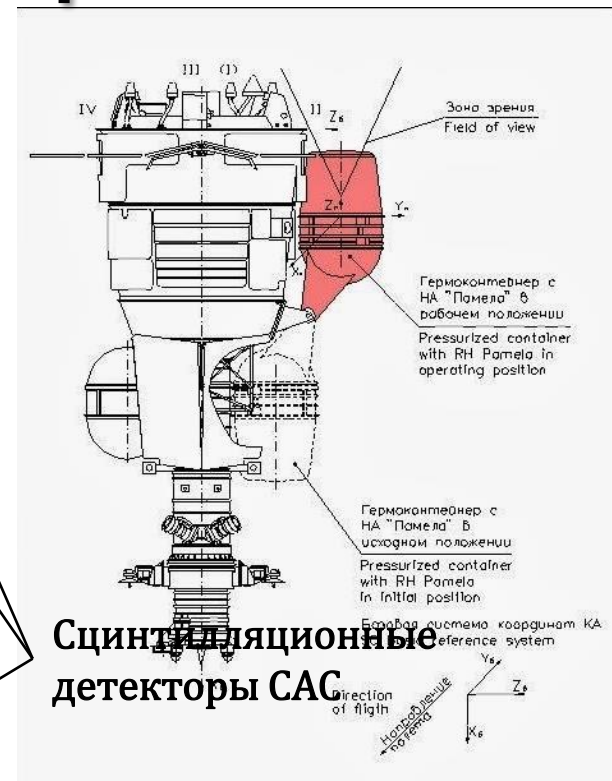
Нижний сцинтилляционный
ливневый детектор

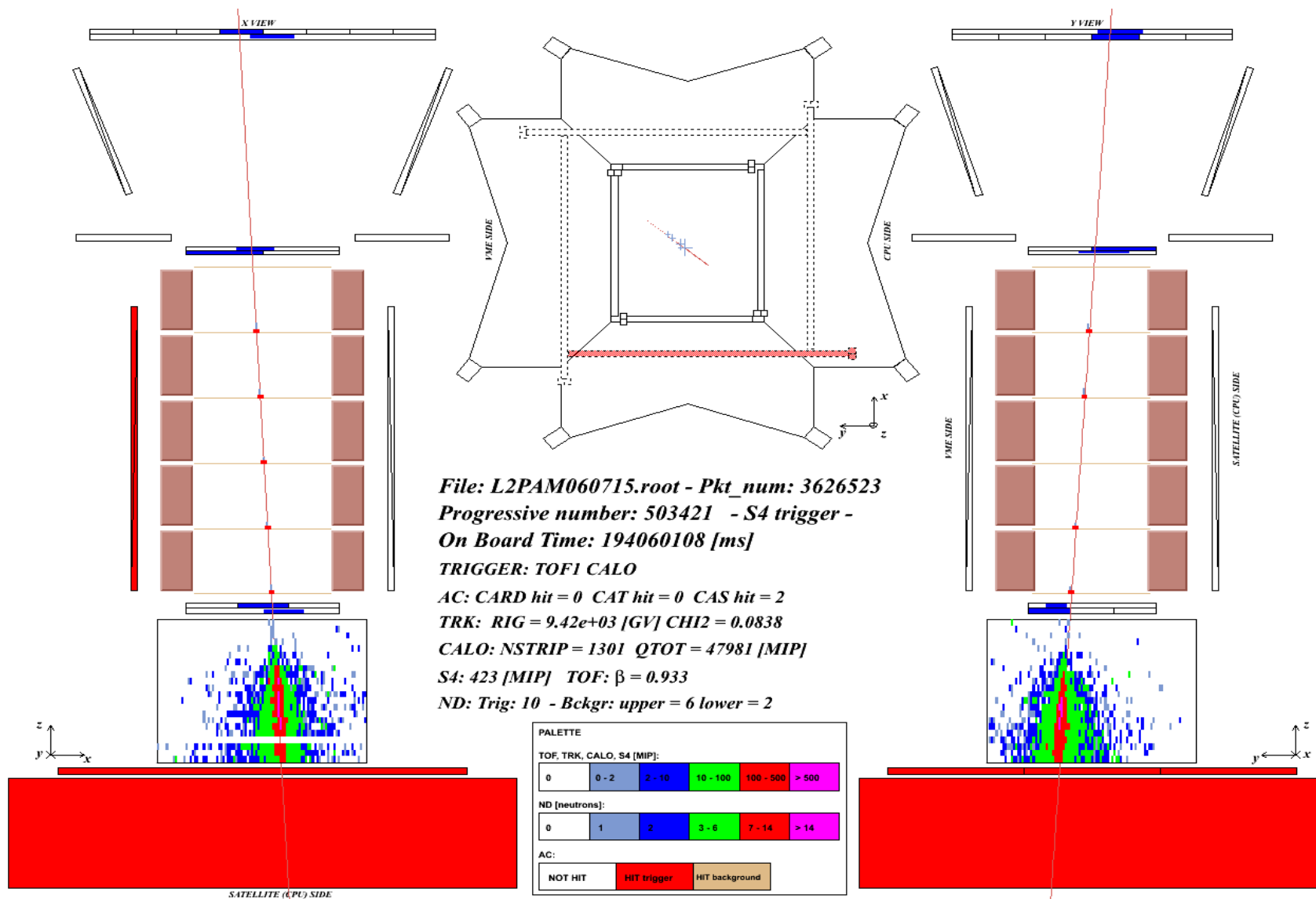
Сцинтилляционные
детекторы САС

Сцинтилляционный
детектор ВПС

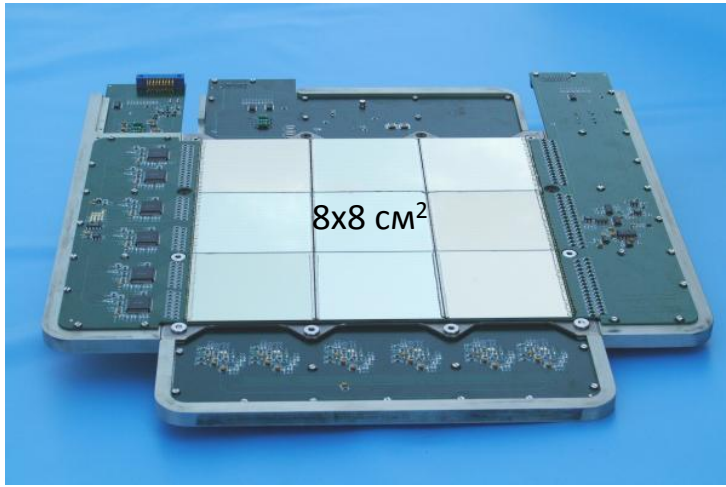
Электромагнитный калориметр

Детектор нейтронов

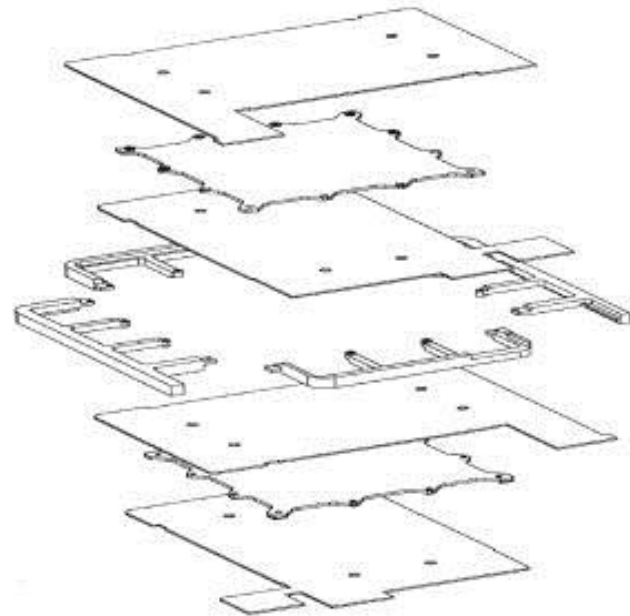
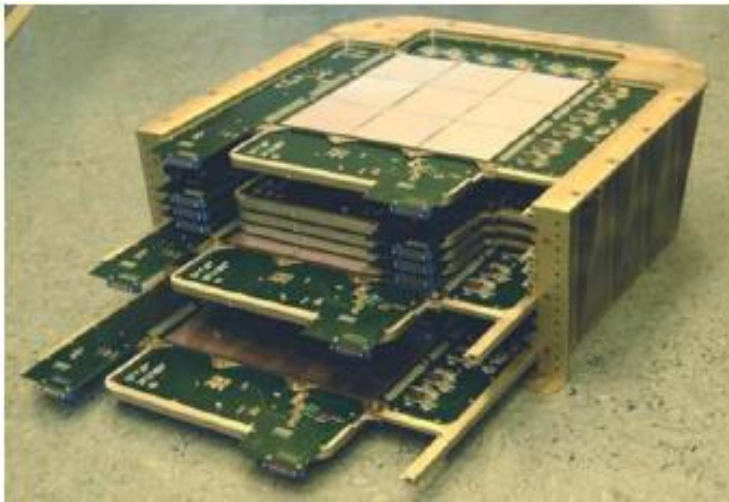




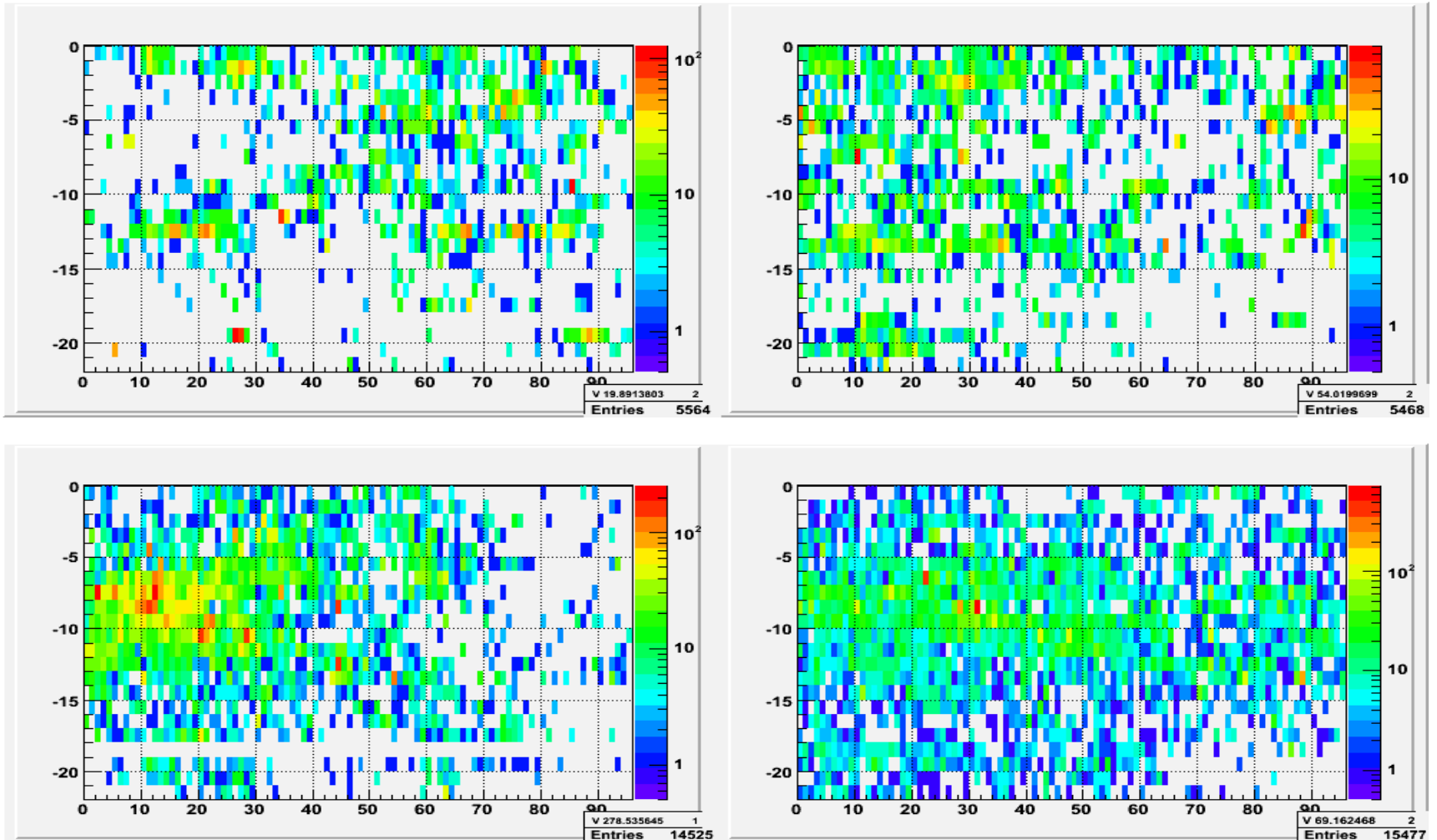
Калориметр ПАМЕЛА



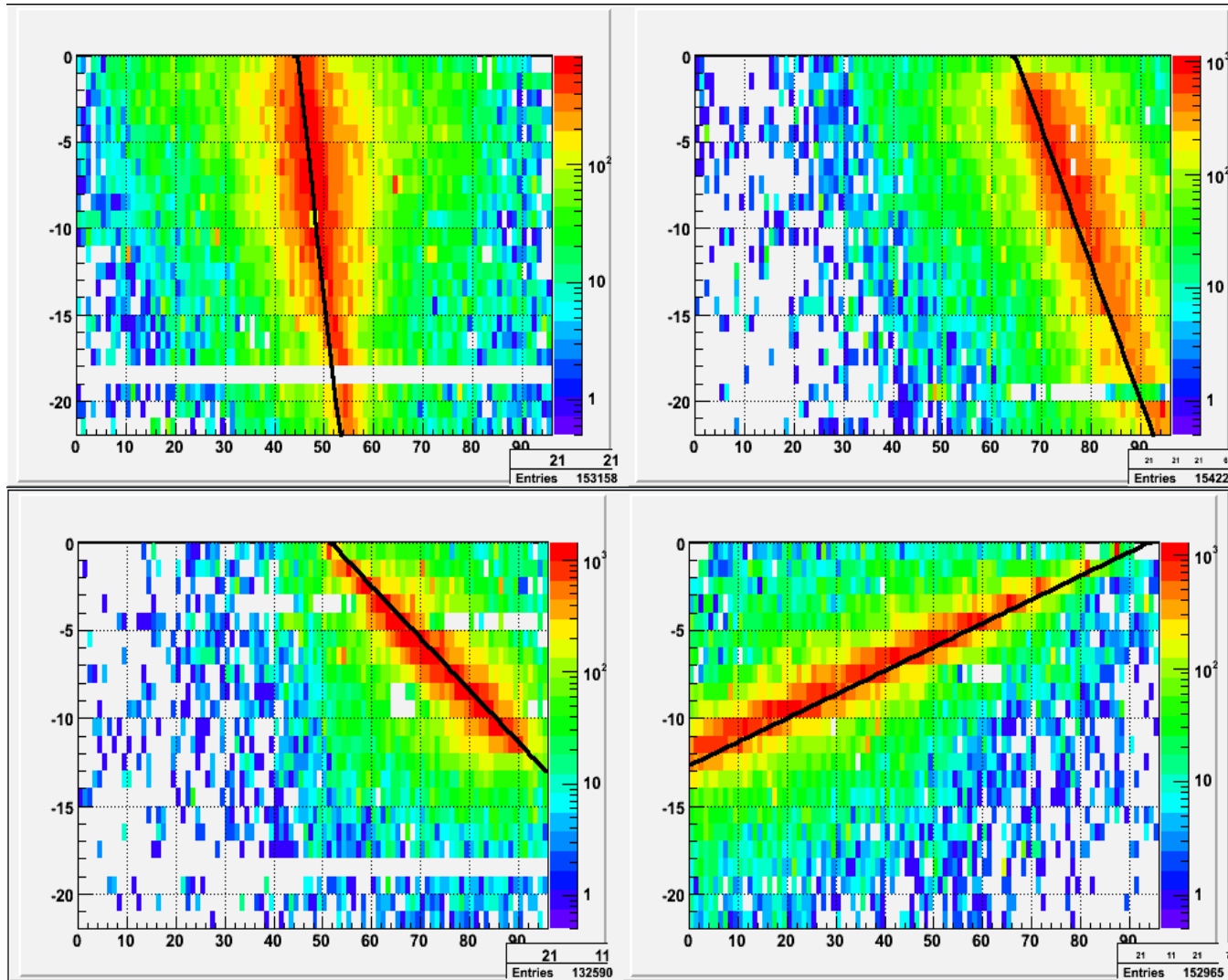
Полная толщина - $16 X_0$
Чувствительная поверхность - $24 \times 24 \text{ см}^2$
22 слоя вольфрама
44 слоя кремниевых детекторов
Количество стриповых детекторов
в слое 96



The events with no axis inside the calorimeter



The examples of reconstructed shower axis inside the calorimeter

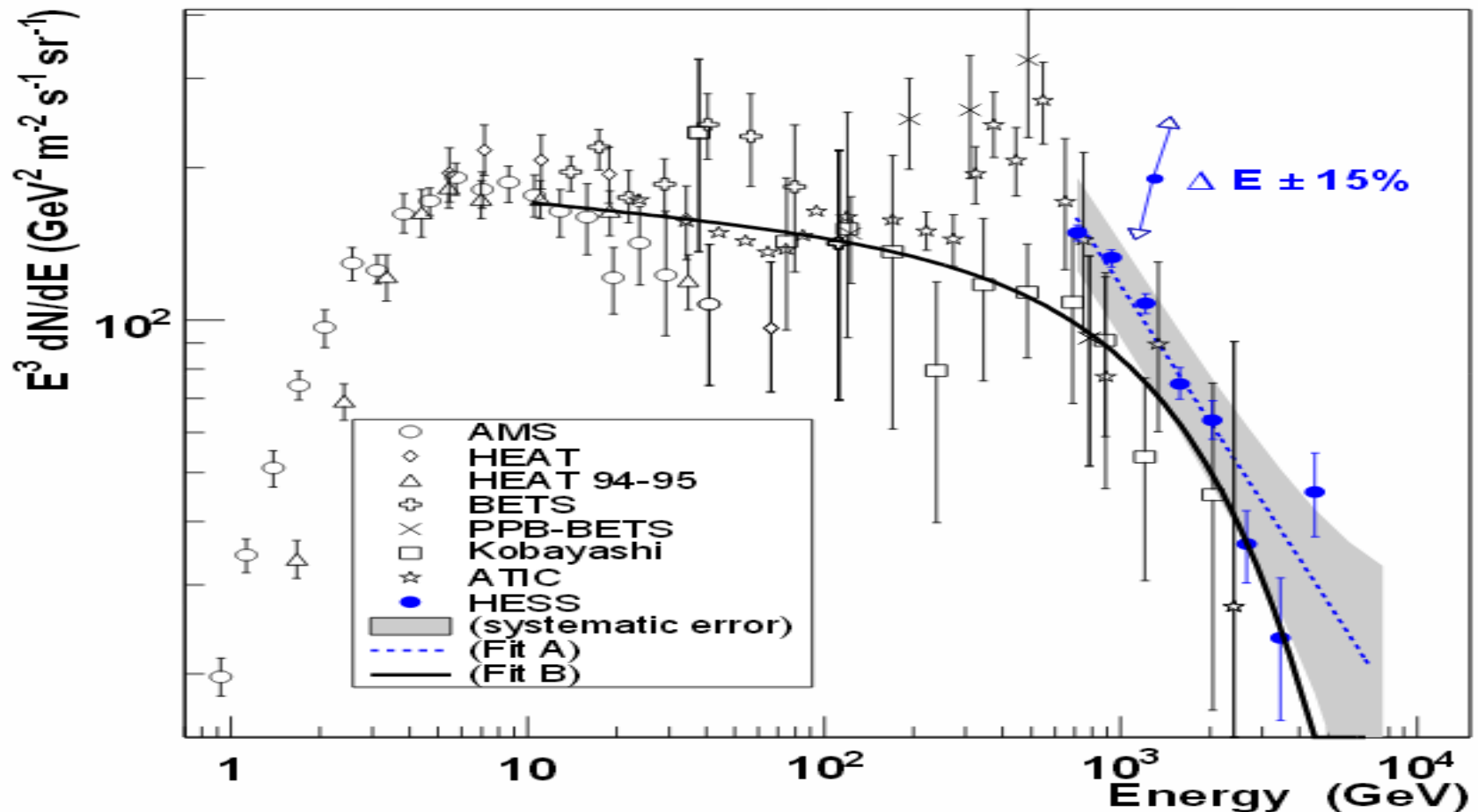


Основные результаты, выносимые на защиту:

- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

2008

<http://arxiv.org/pdf/0811.3894v2.pdf>

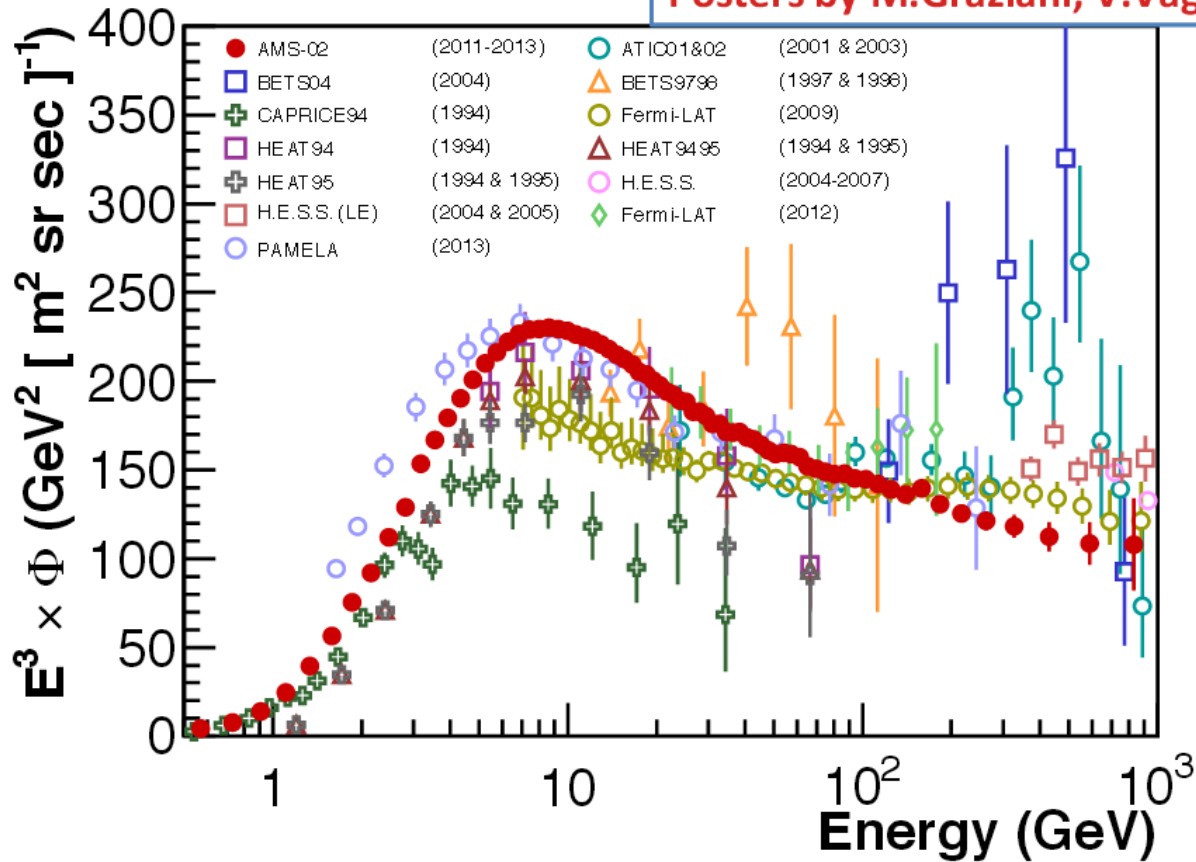


2014

Combined (Electron + Positron) flux

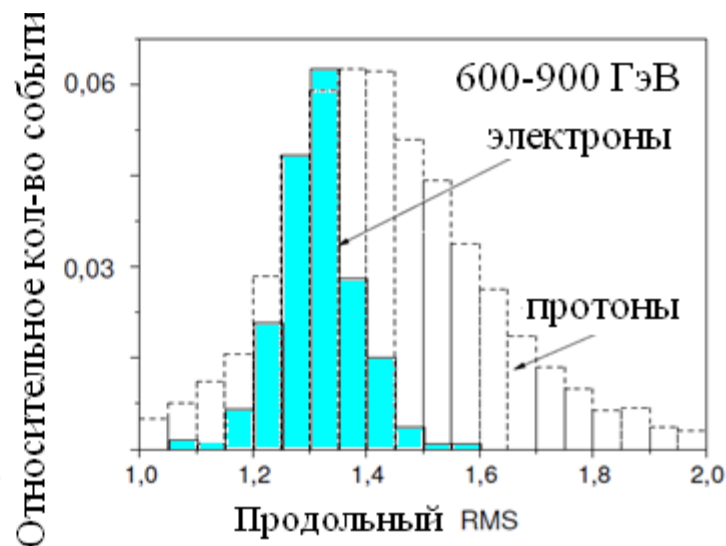
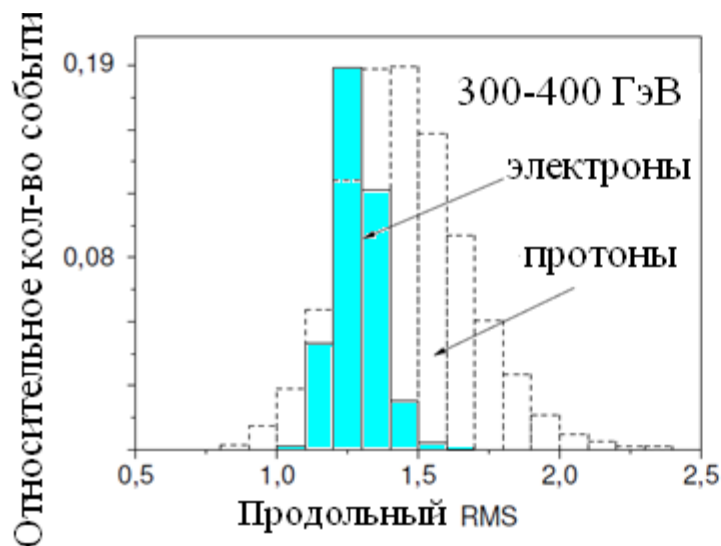
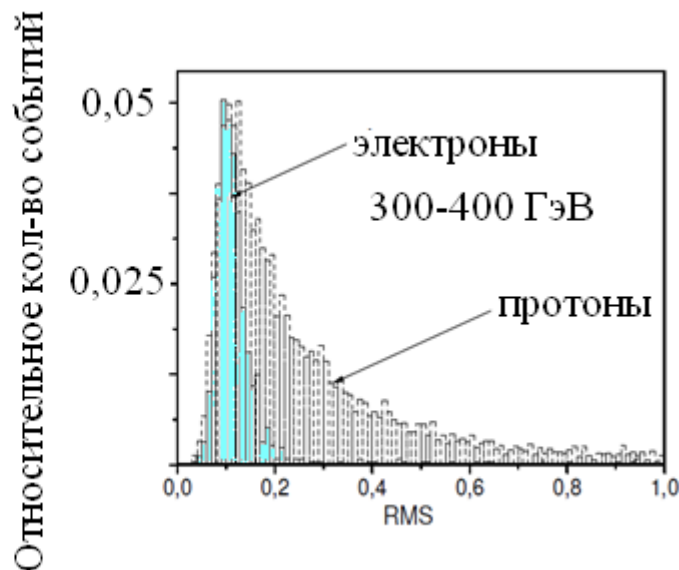
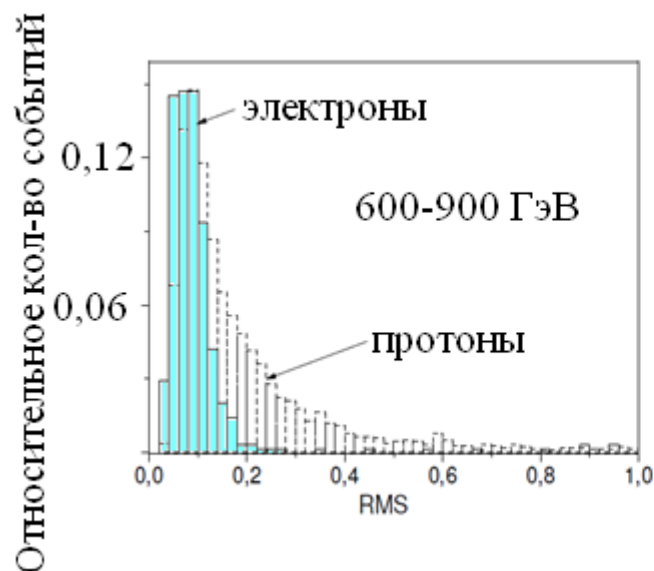


Posters by M.Graziani, V.Vagelli

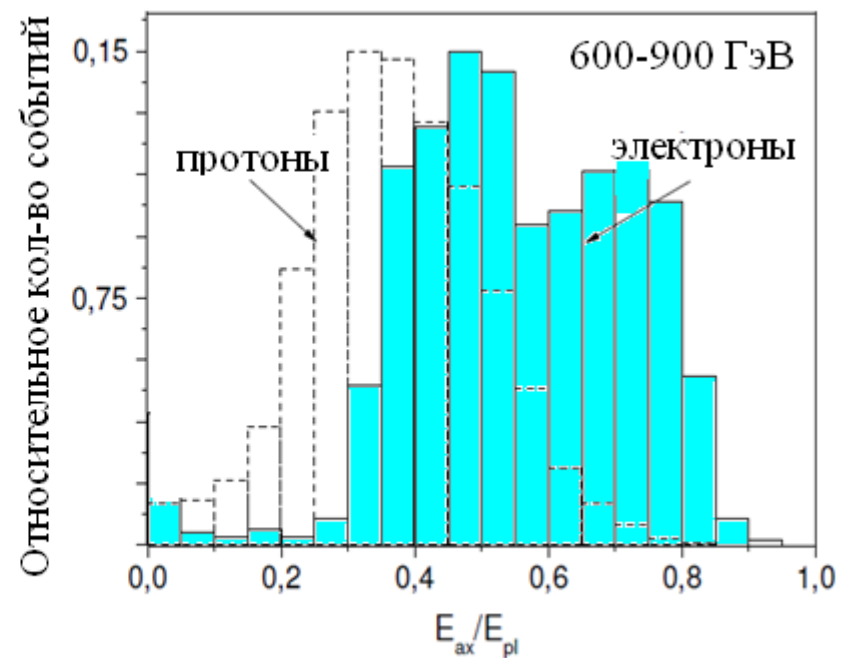
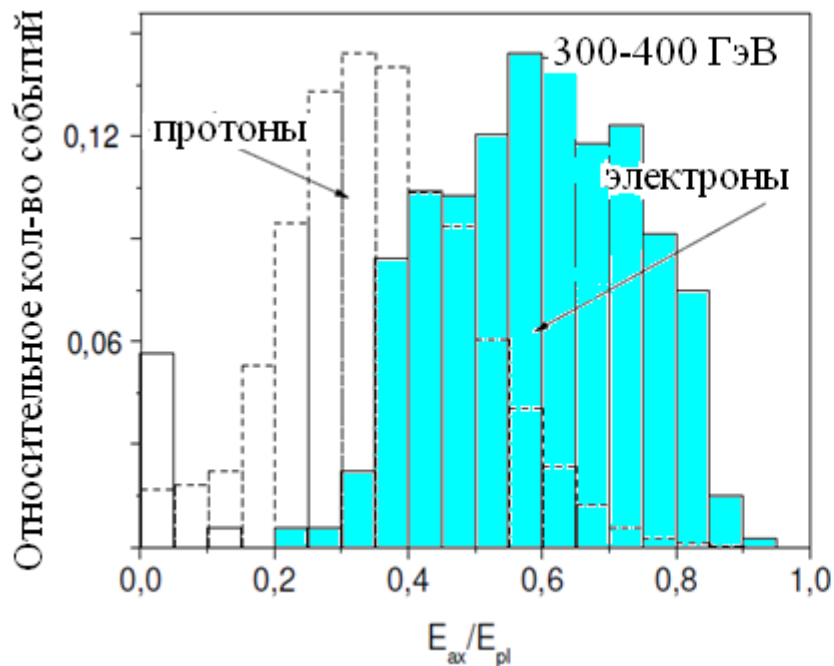


- Independent analysis
- Maximize statistic with reduced normalization uncertainties
- Fully consistent with separate flux results

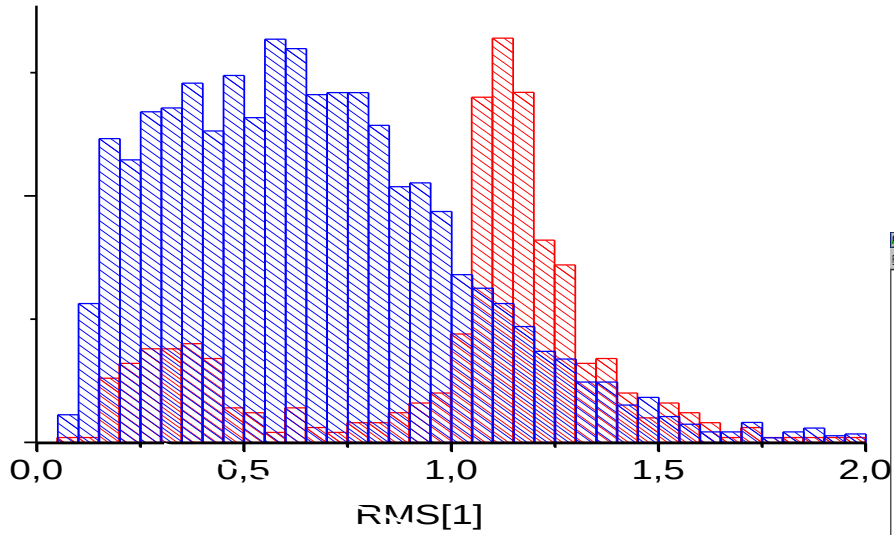
Отбор электронов по RMS



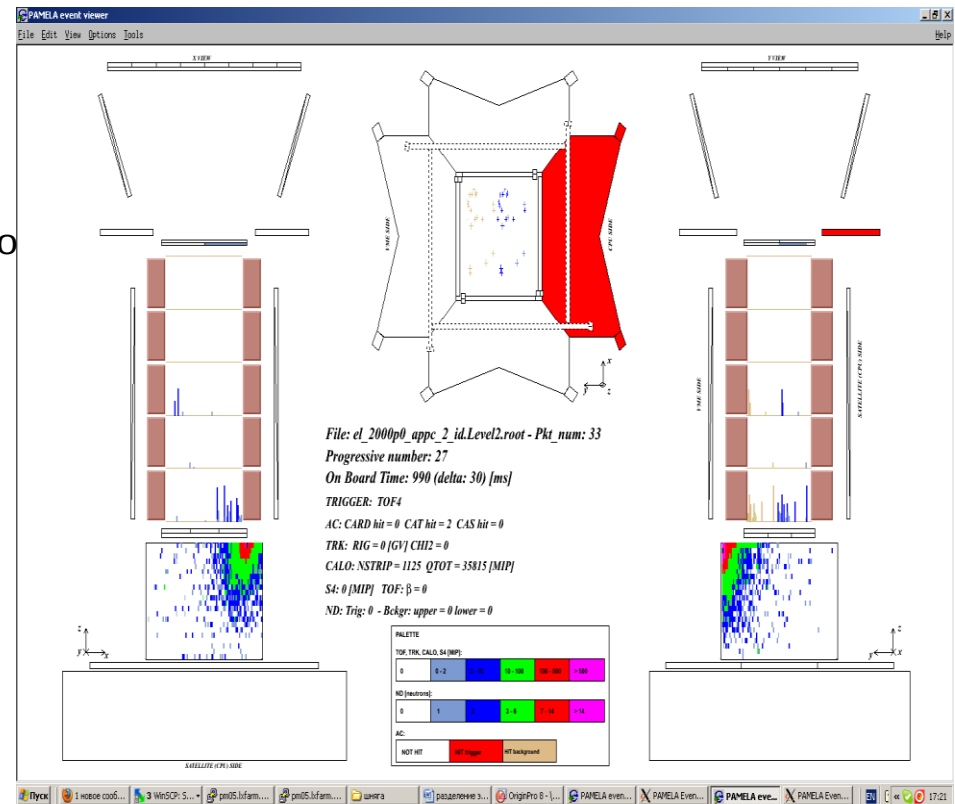
Отбор электронов по энерговыделению вдоль оси ливня



RMS



4000-20000 mip



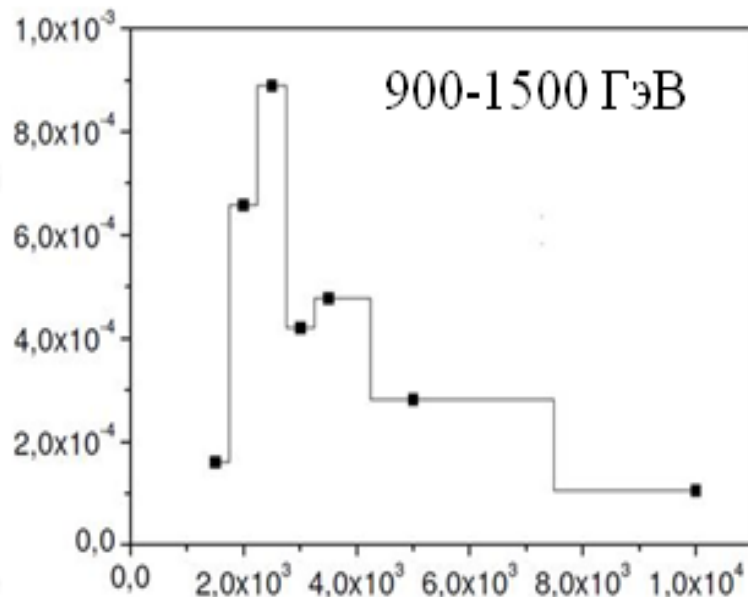
Вычисление фона протонов

$$N_p(E_1 \div E_2) = \int_{E_1}^{E_2} F(E) G \varepsilon(E) \Delta t dE$$

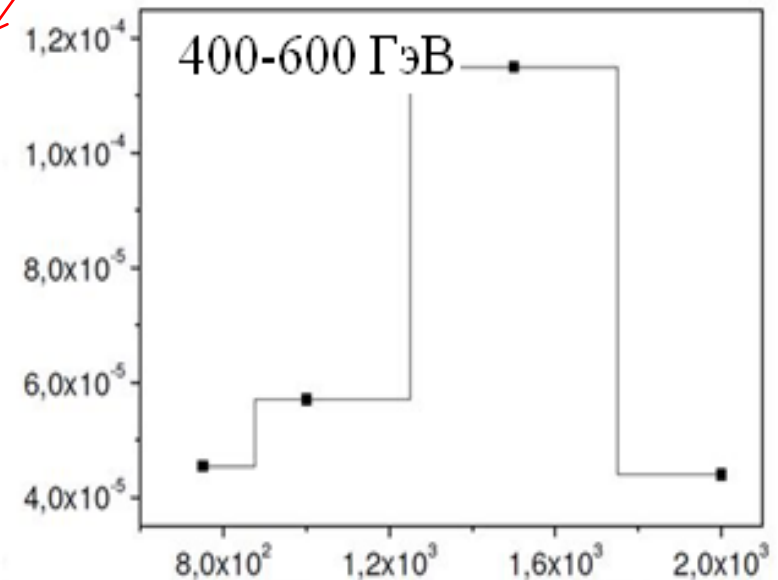
O. Adriani *et al.*, Adv.
Space Res. **51**, 219 (2013).

Геом. фактор

116006101,7 s

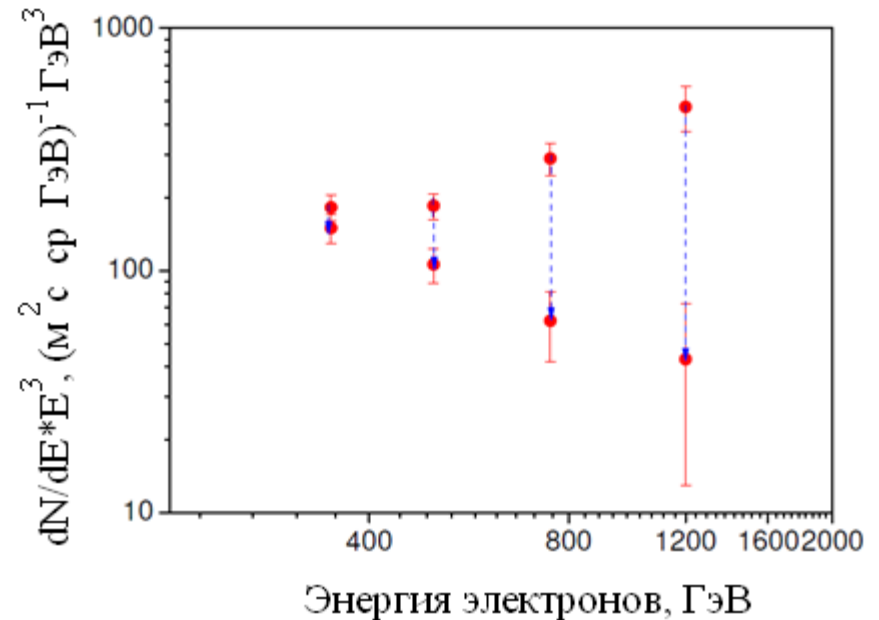
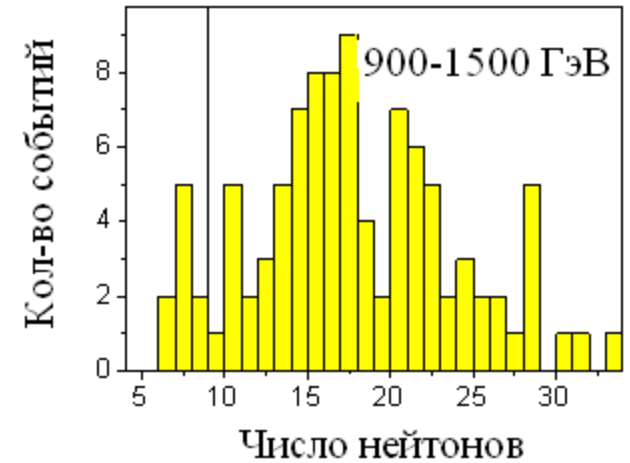
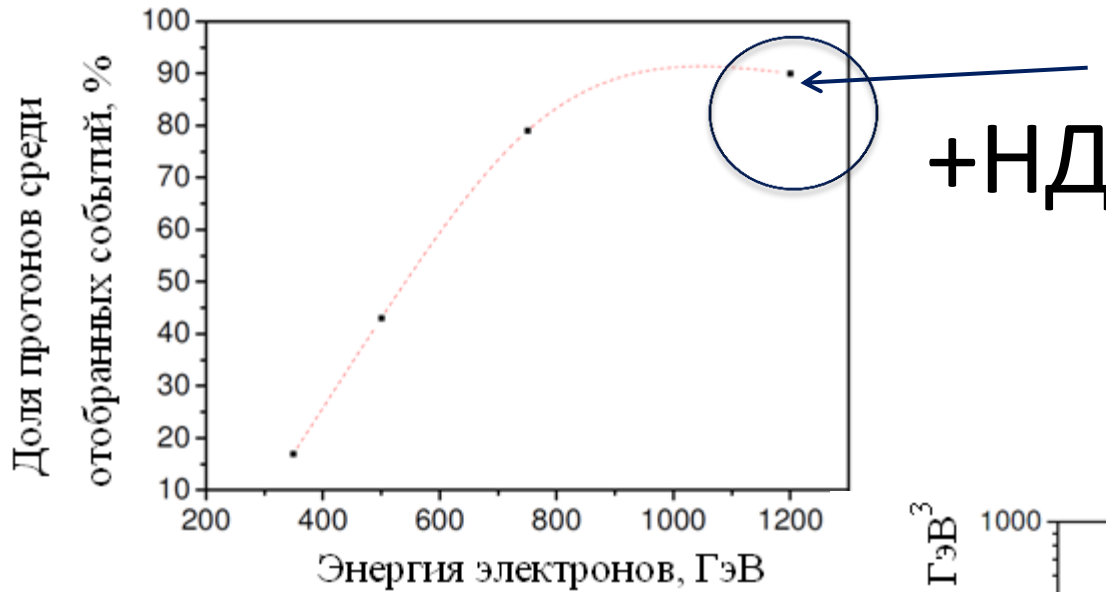


Энергия протонов, ГэВ

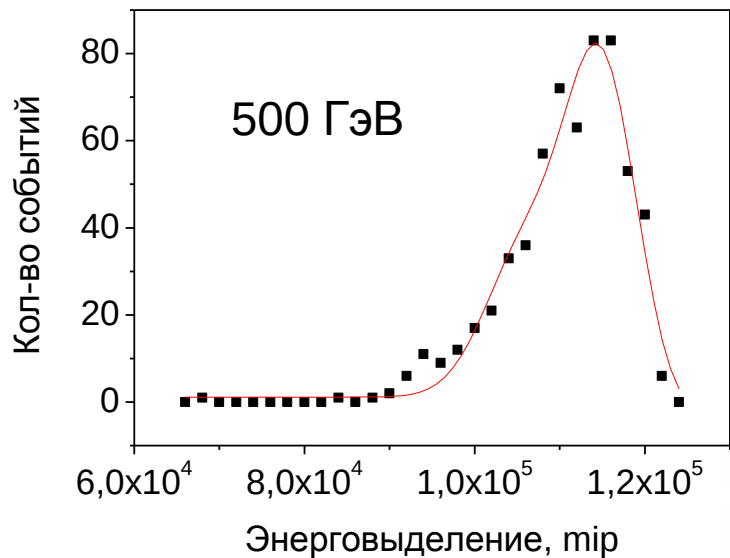


Энергия протонов, ГэВ

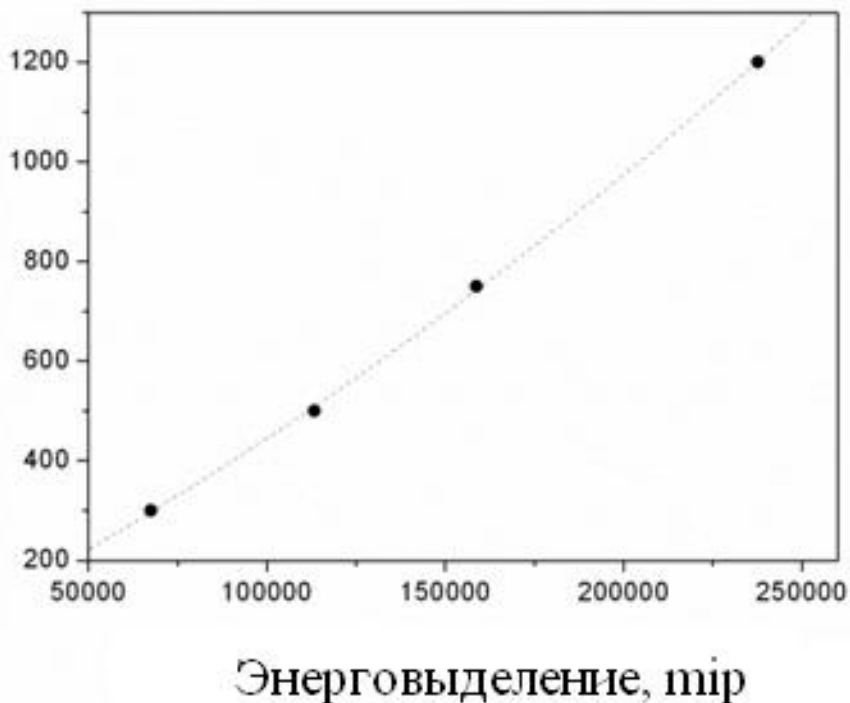
Остаточная доля протонов



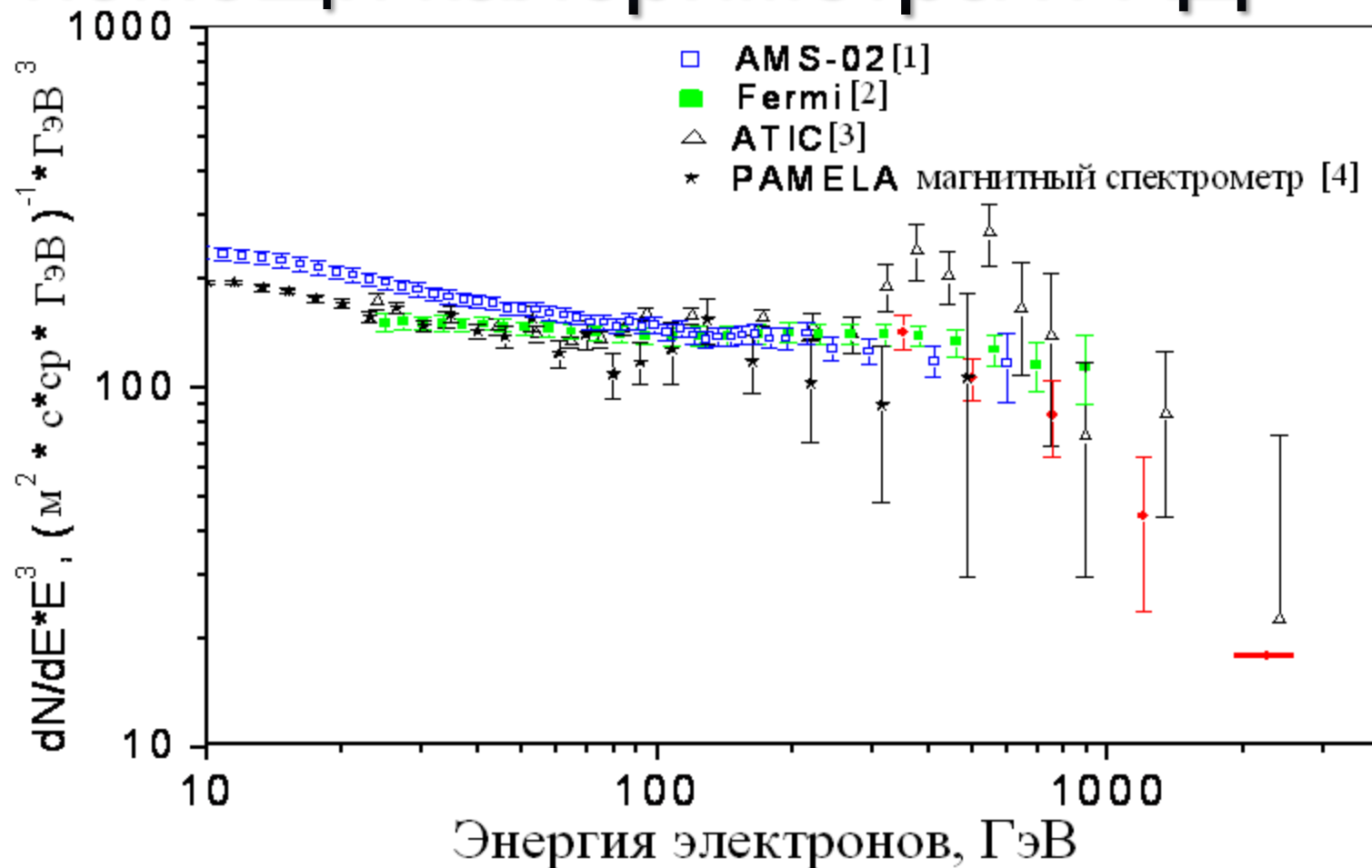
Измерение энергии электронов



Энергия электронов, ГэВ



Суммарный e⁺e⁻ спектр полученный при помощи калориметра и НД



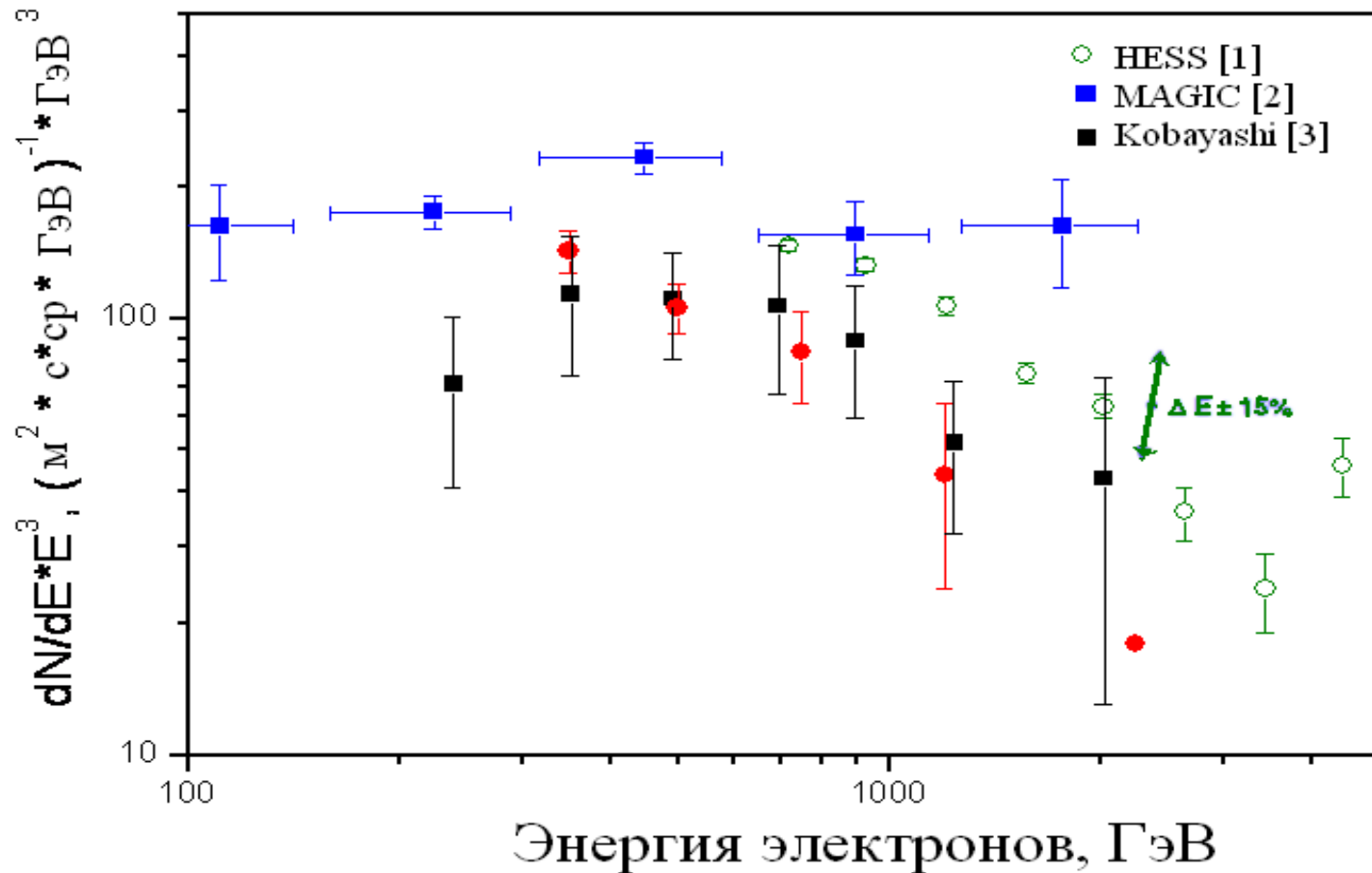
[1] B. Bertucci, Precision measurement of the electron plus positron spectrum with AMS, 33rd ICRC, 2013.

[2] M. Ackermann *et al.*, Phys. Rev. D. **82**, 092004-01-20 (2010)

[3] Chang *et al.*, Nature. **456**, 362 (2008)

[4] O. Adriani *et al.*, Physical Review Letters. **106**, 201101 (2011)

Суммарный e⁺e⁻ спектр полученный при помощи калориметра и НД

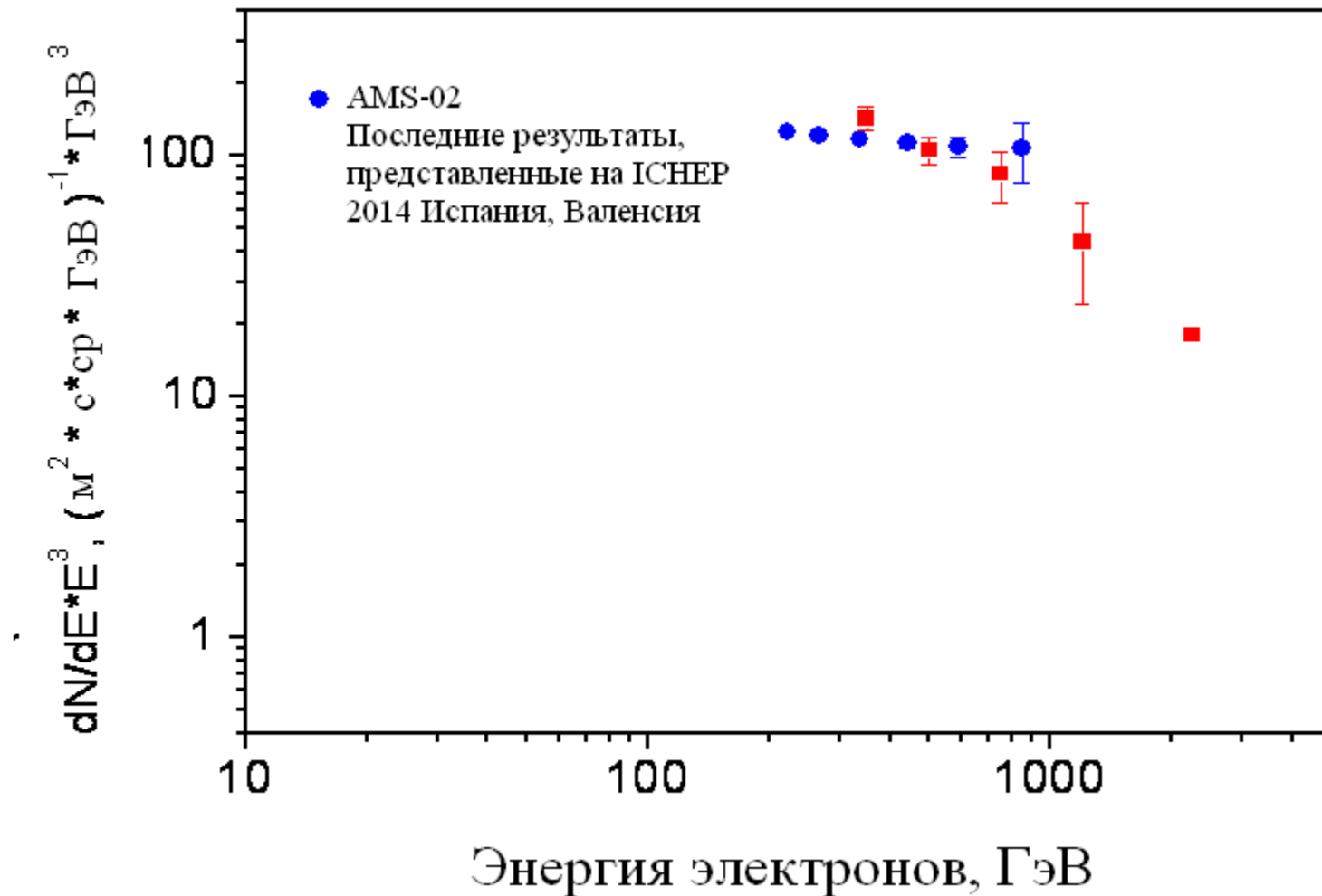


[1] F. Aharonian *et al.*, PRL **101**, 261104, 2008.

[2] Daniela Borla Tridon, A Study of Cosmic Electrons between 100 GeV and 2 TeV with the MAGIC Telescopes, phd Dissertation (2011)

[3] T. Kobayashi *et al.*, The Astrophysical Journal. **601**, 340 (2004)

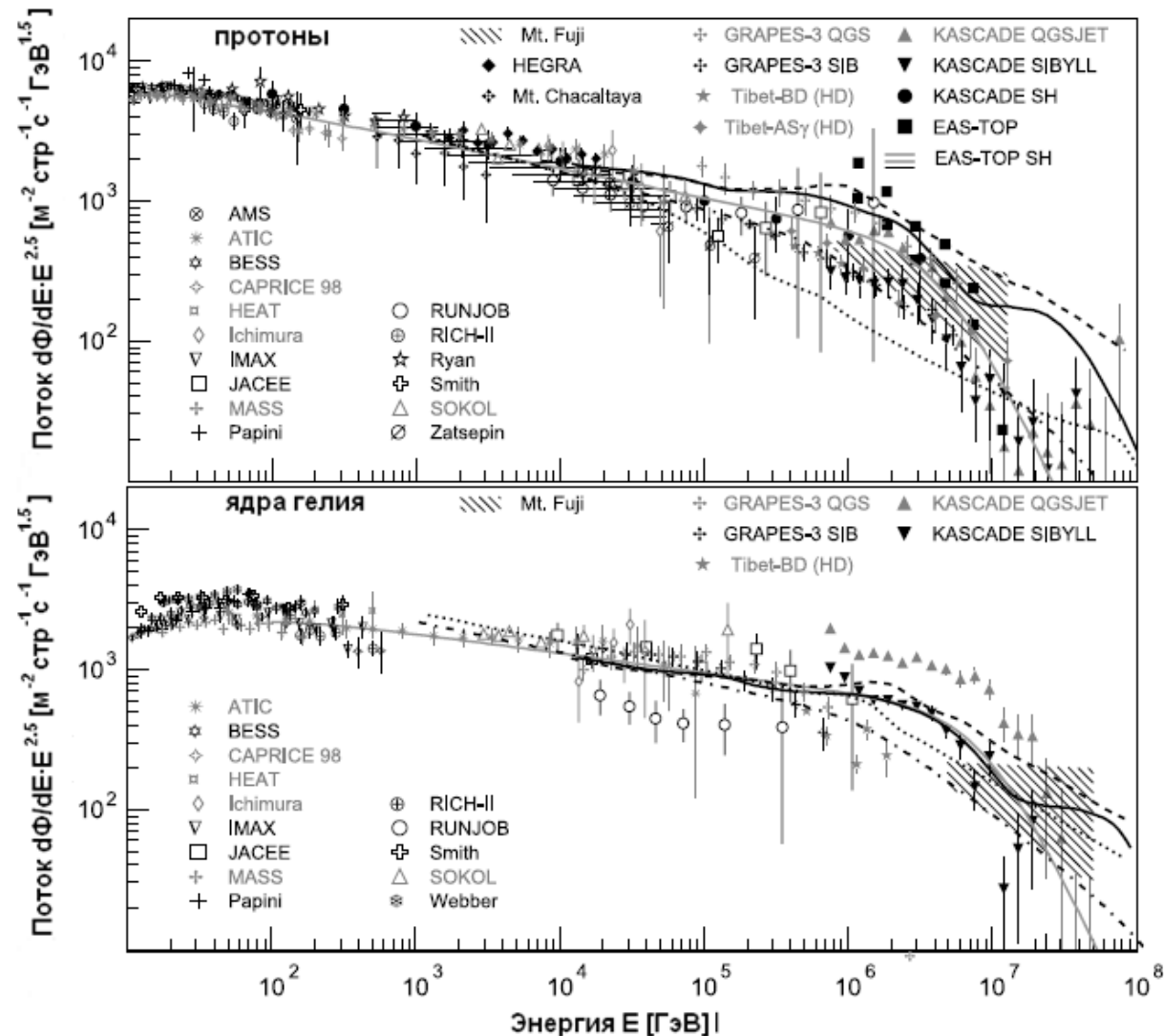
Суммарный e^+e^- спектр полученный при помощи калориметра и НД

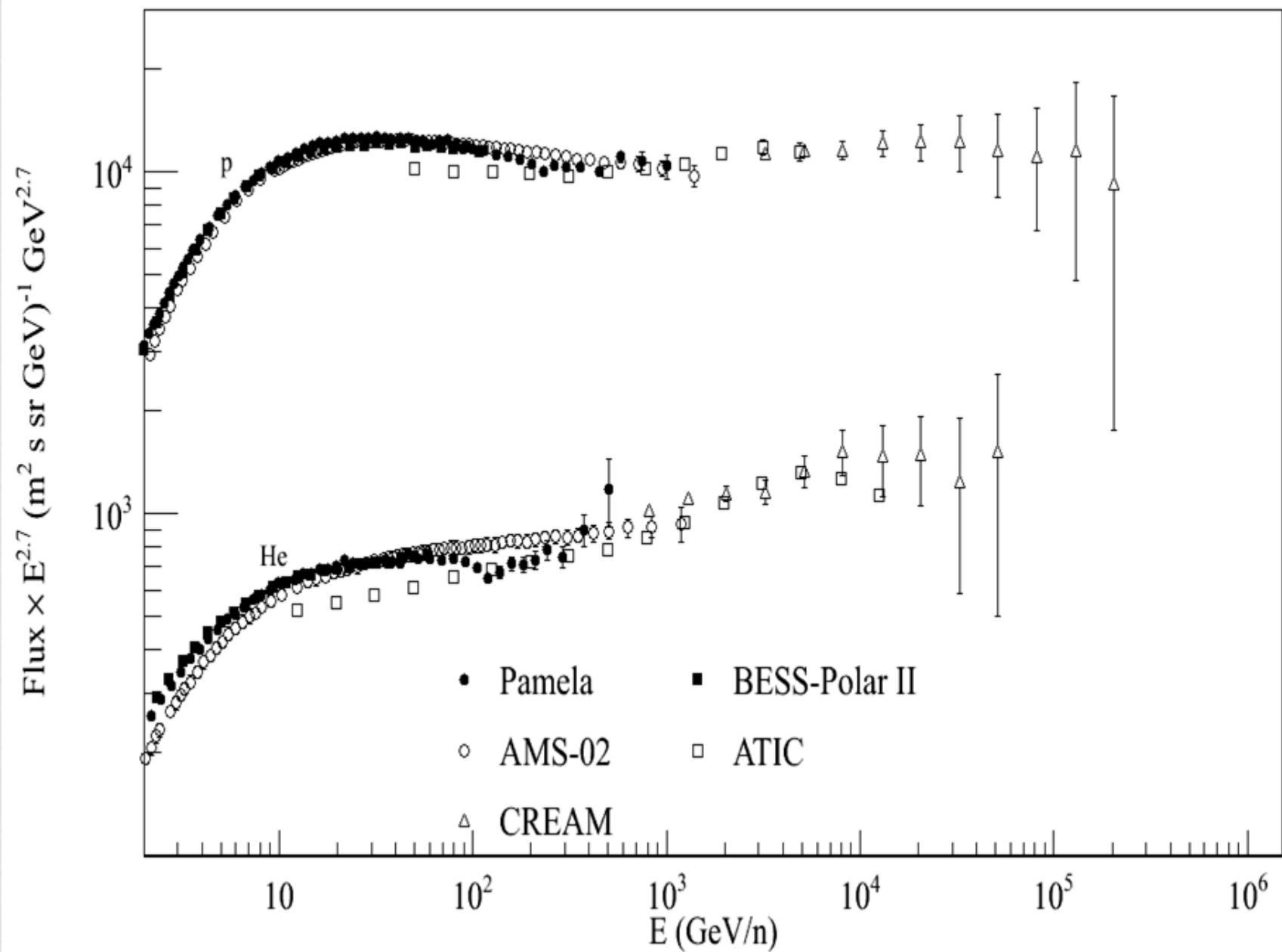


Основные результаты, выносимые на защиту:

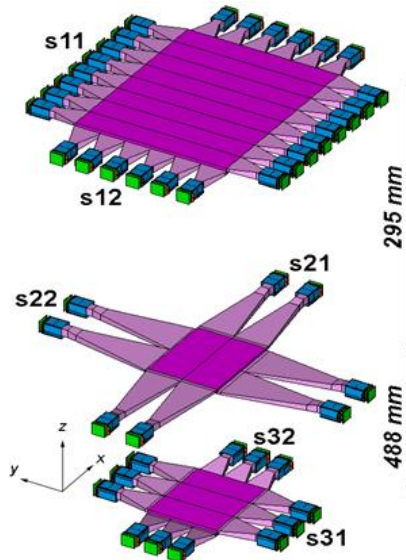
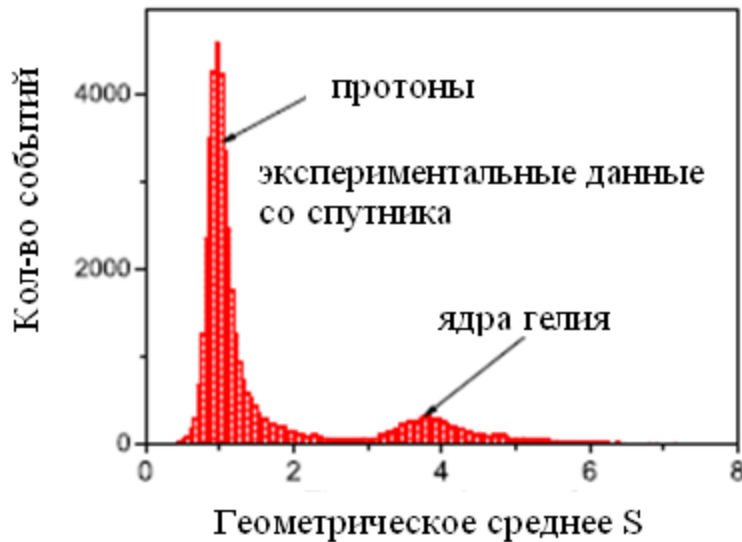
- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

Сводка результатов измерений энергетических спектров протонов и ядер гелия космических лучей





Разделение протонов и ядер гелия



$$E_e \sim 1/3 E_p$$

$\sim 1/3$ от общего
числа

пересекающих

калориметр

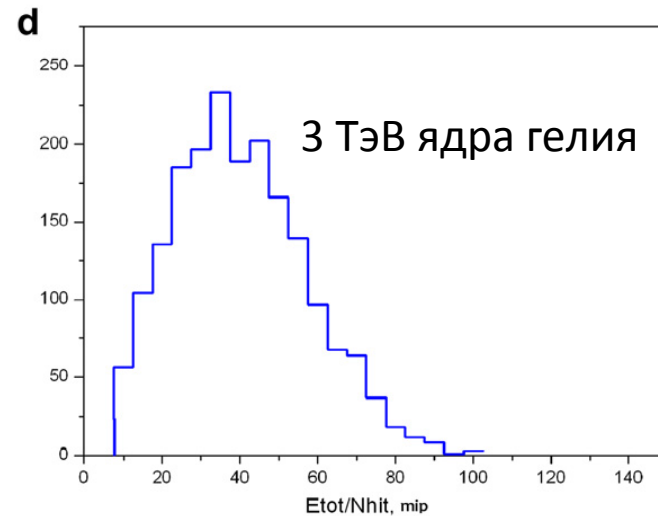
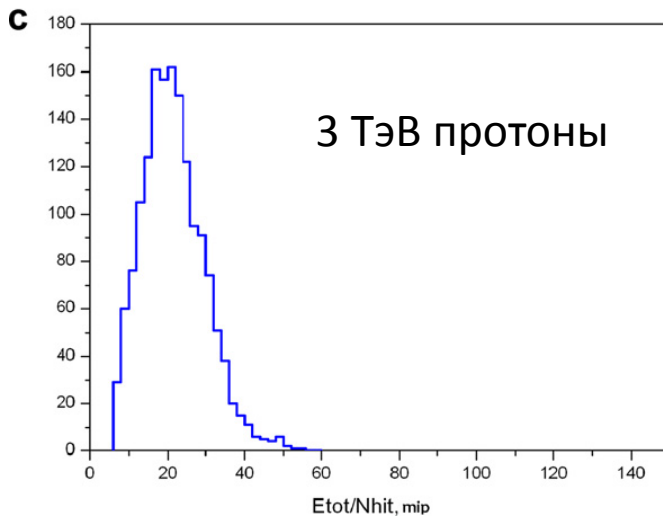
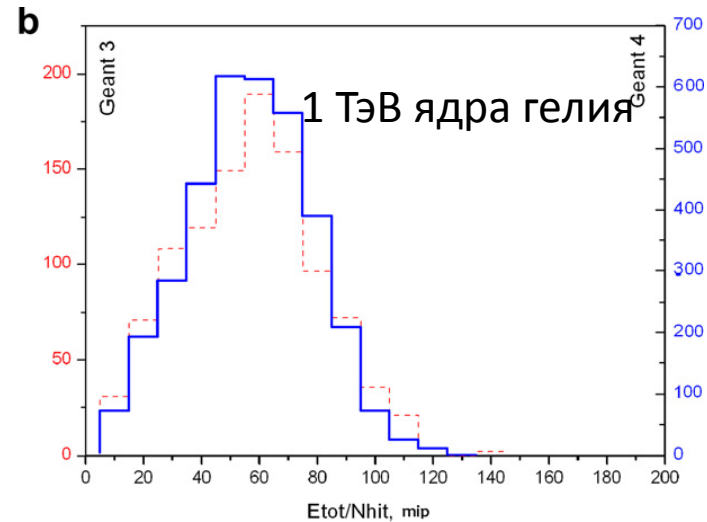
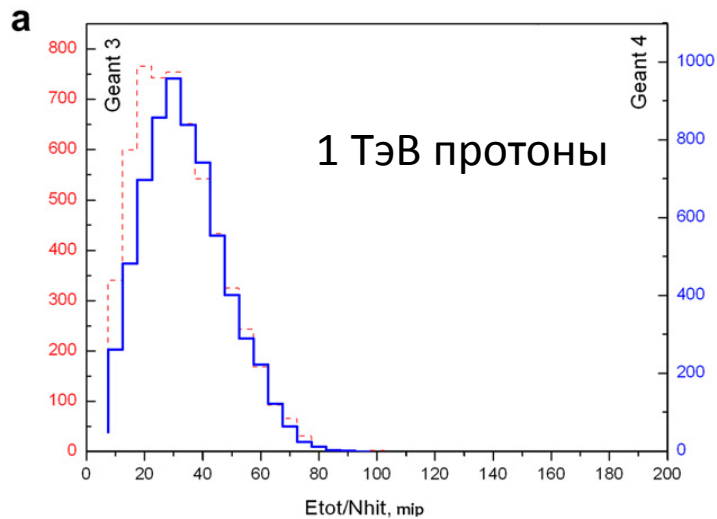
протонов

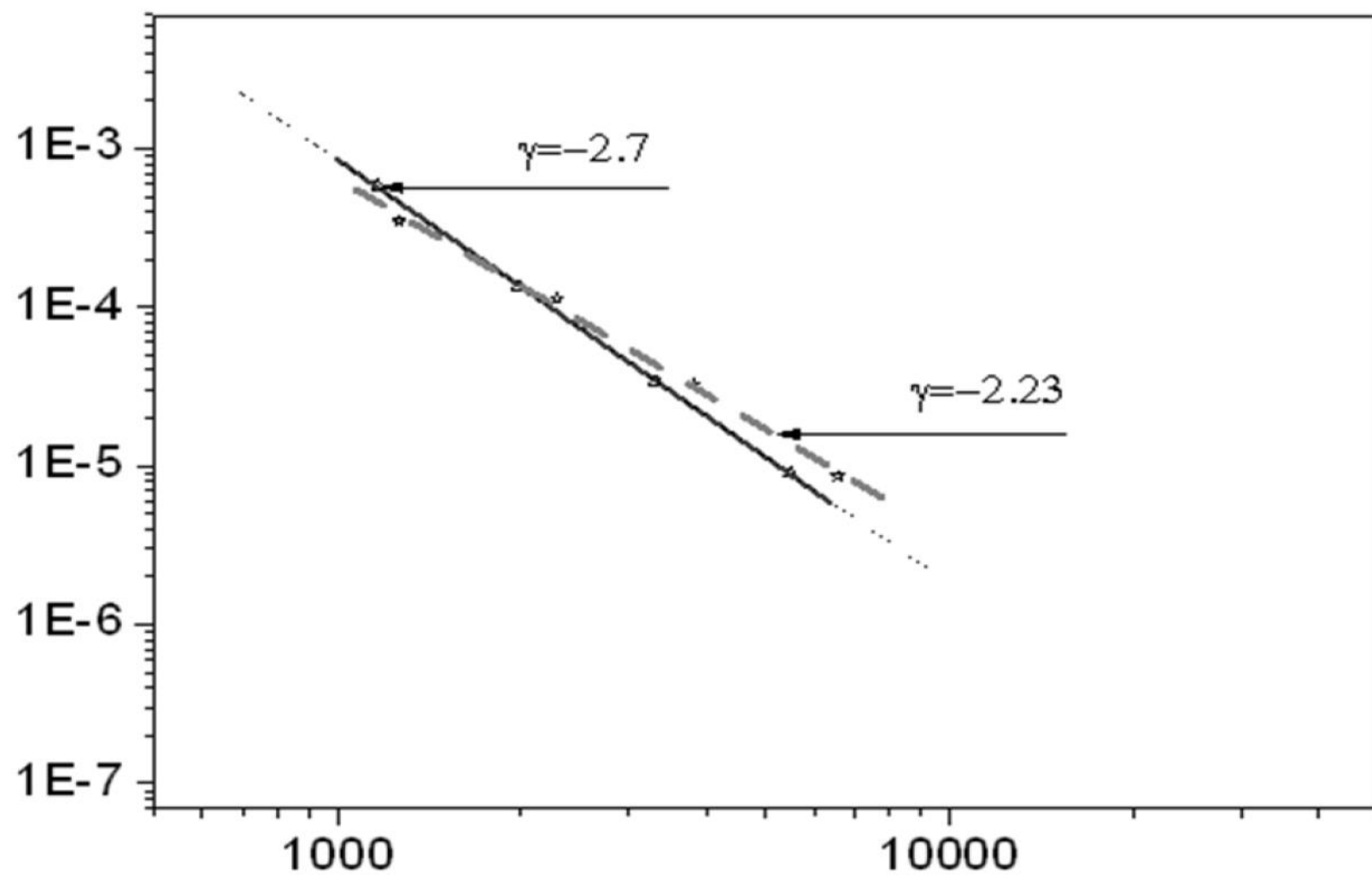
генерирует каскад

вторичных частиц

внутри калориметра

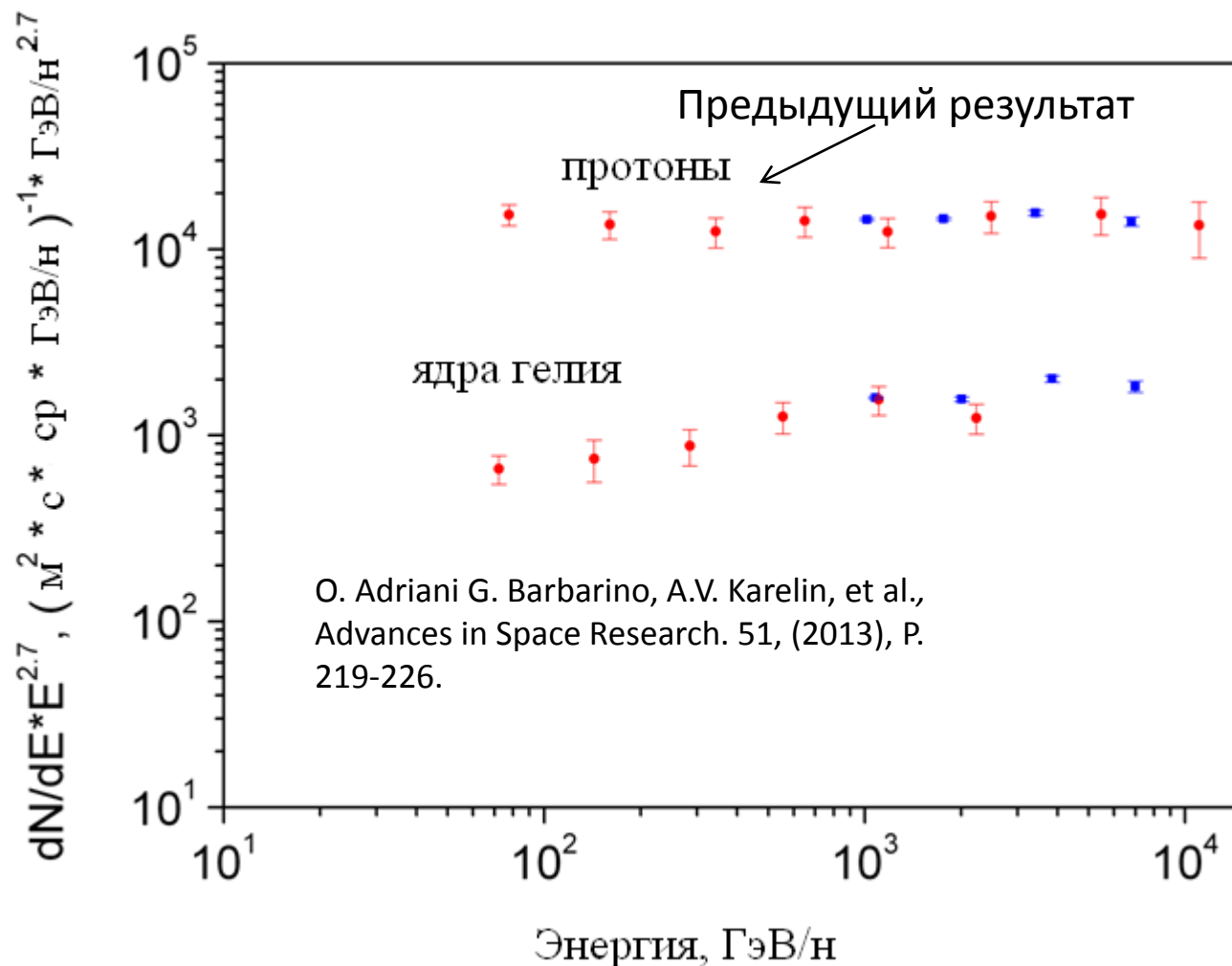
Распределение величины E_{tot}/N_{hit} для протонов и ядер гелия



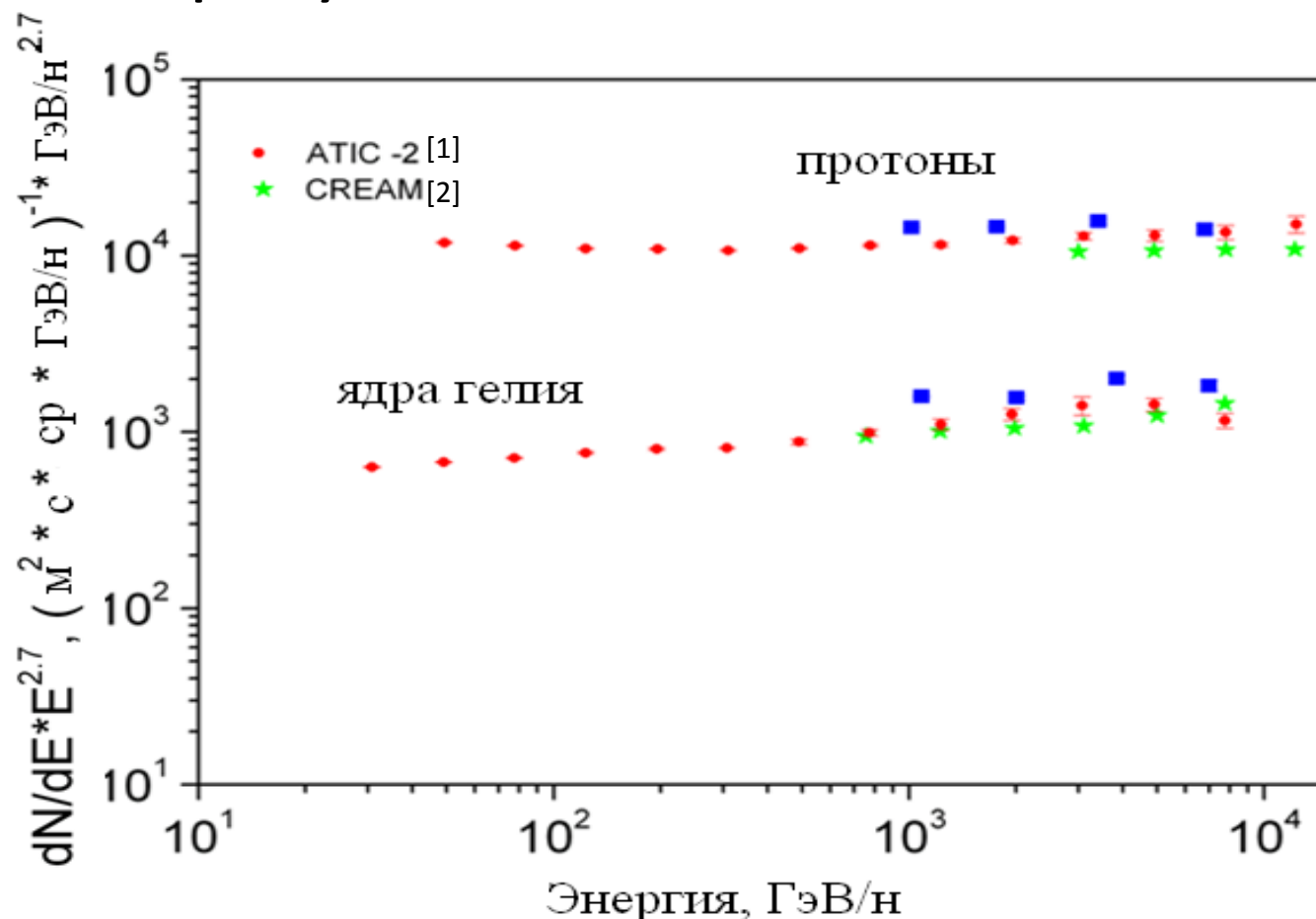


Энергия, ГэВ

Полученные спектры протонов и ядер гелия в сравнении с предыдущим результатом

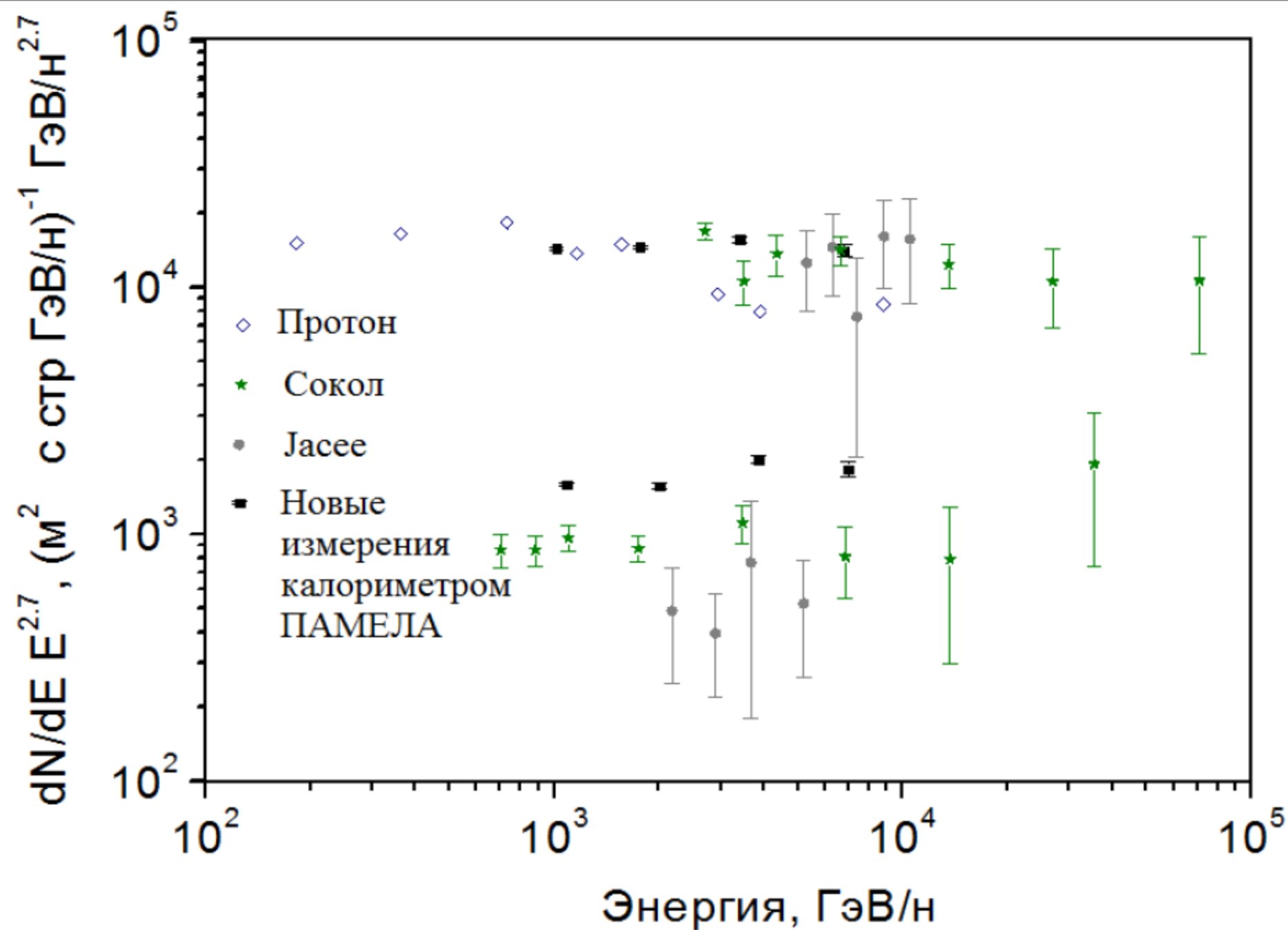


Полученные спектры протонов и ядер гелия в сравнении с результатами ATIC-2 и CREAM results



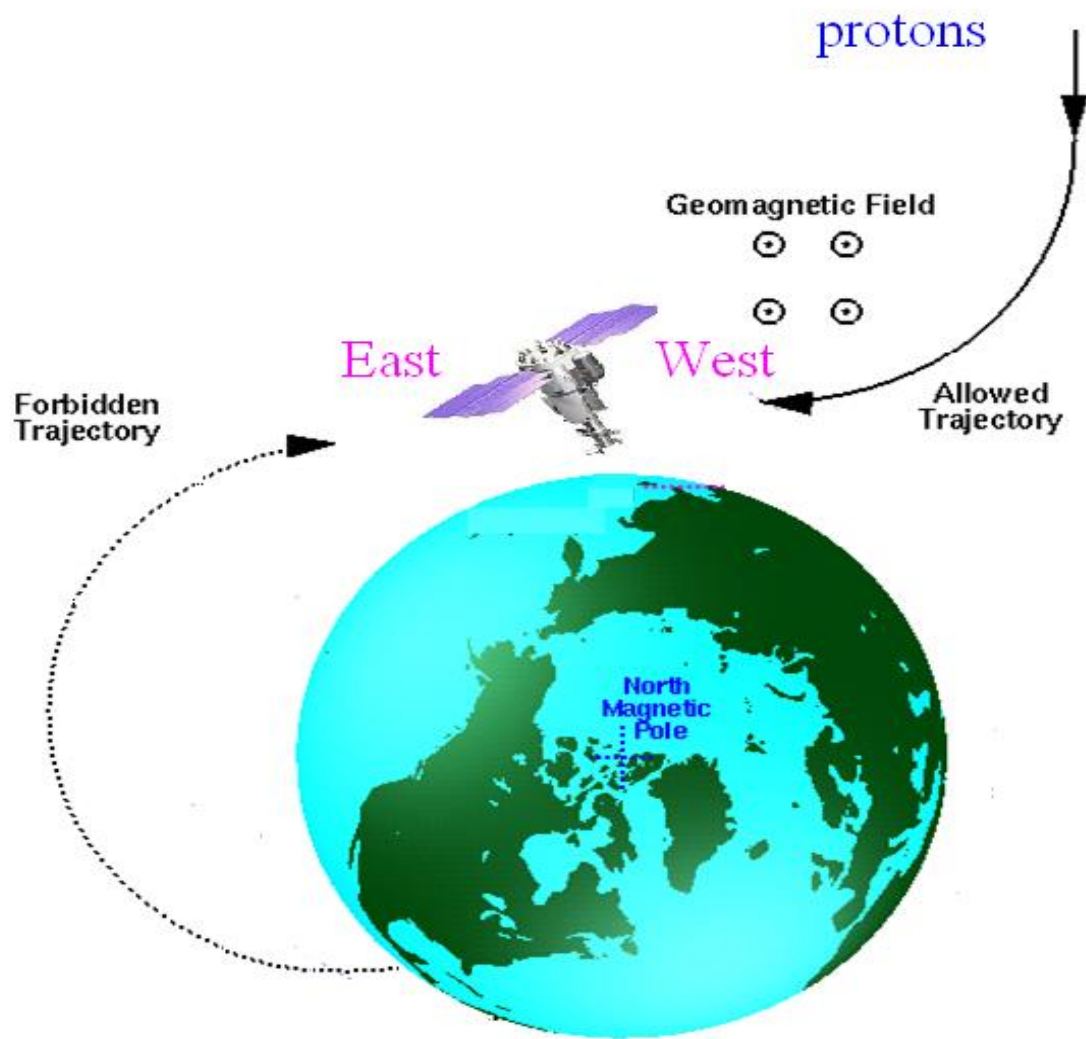
[1] A.D. Panov et al., Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics 73, 5, (2009), P.564-567.

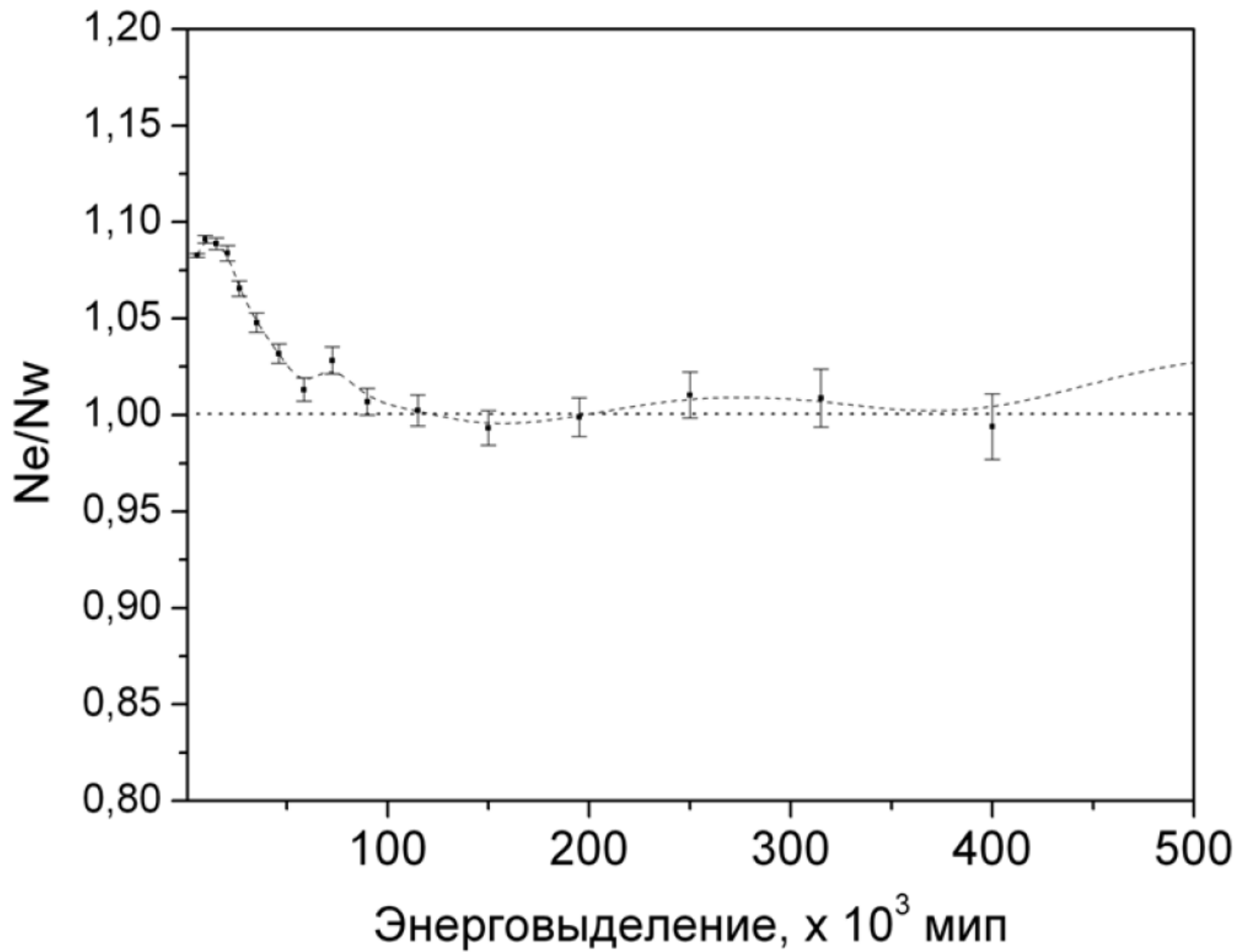
[2] H.S. Ahn et al., ApJ Lett., 714, (2010), P 89-93.



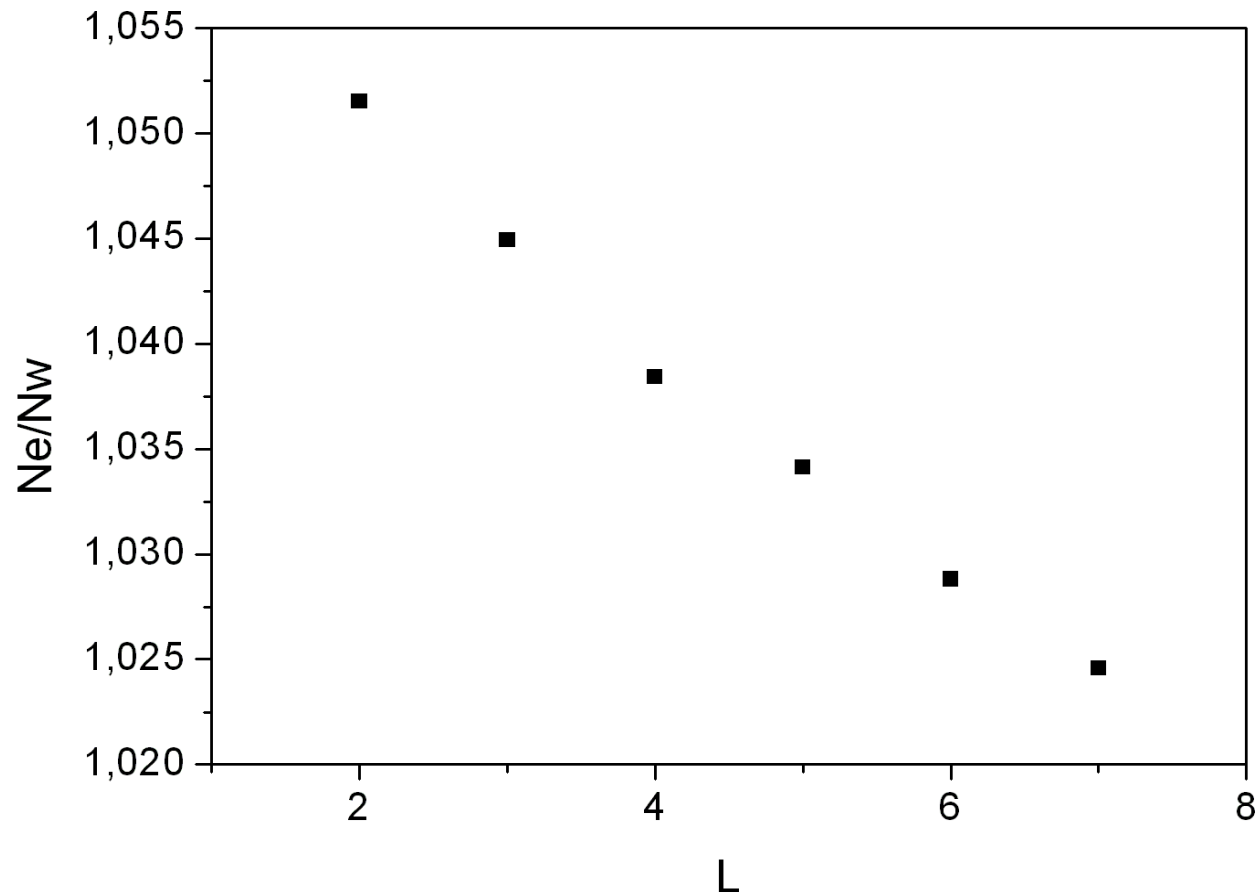
Основные результаты, выносимые на защиту:

- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -**Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.**
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

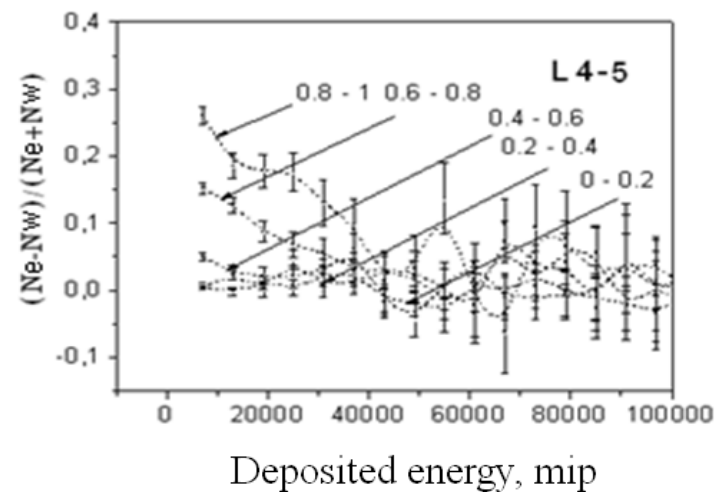
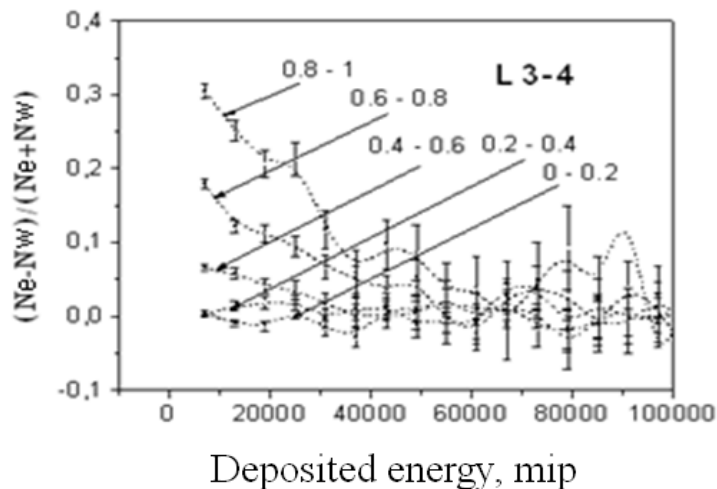
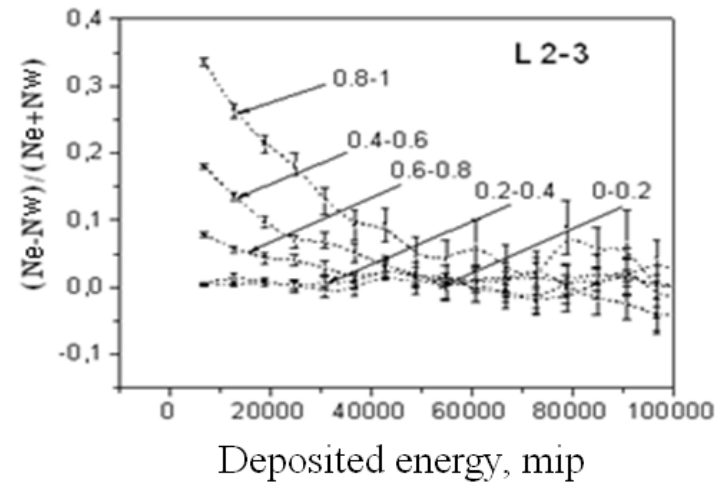
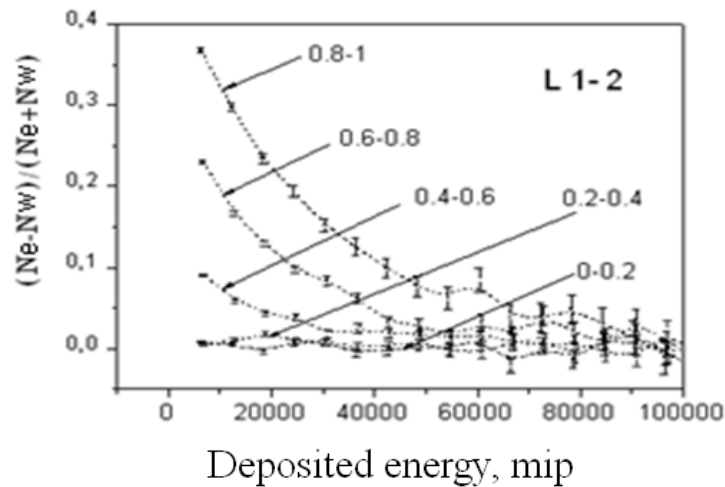


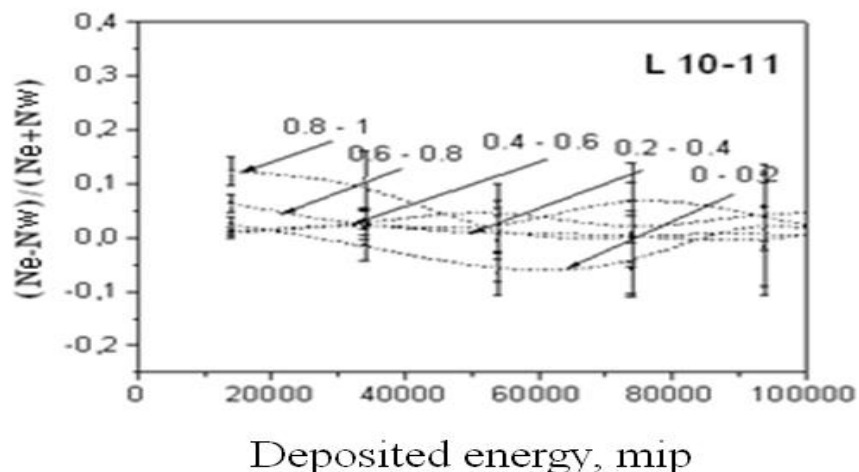
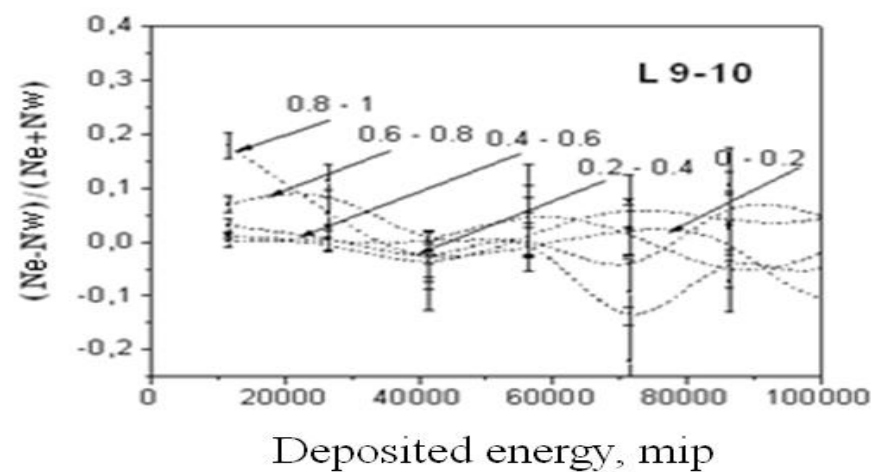
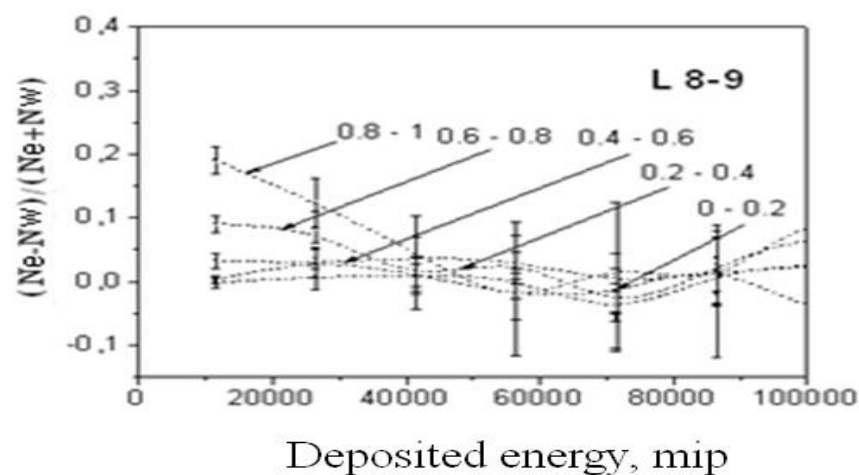
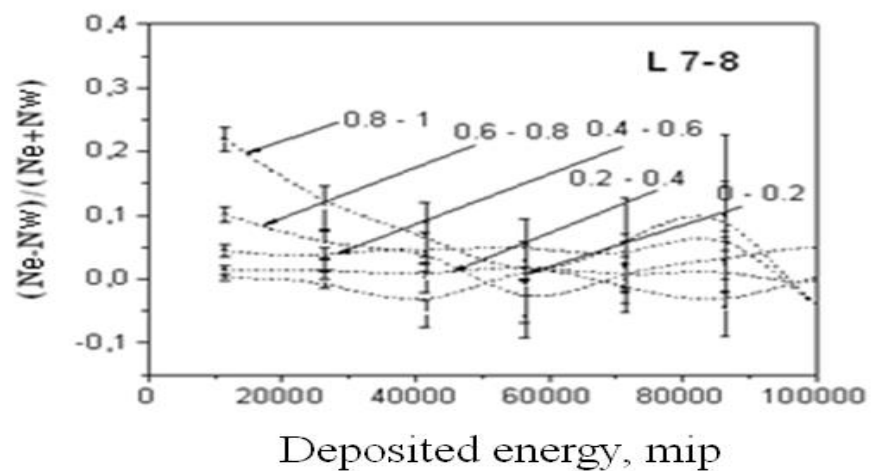
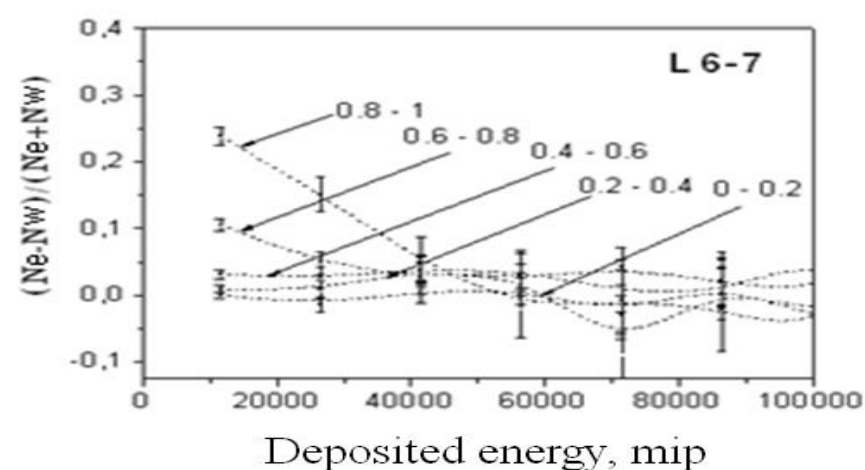
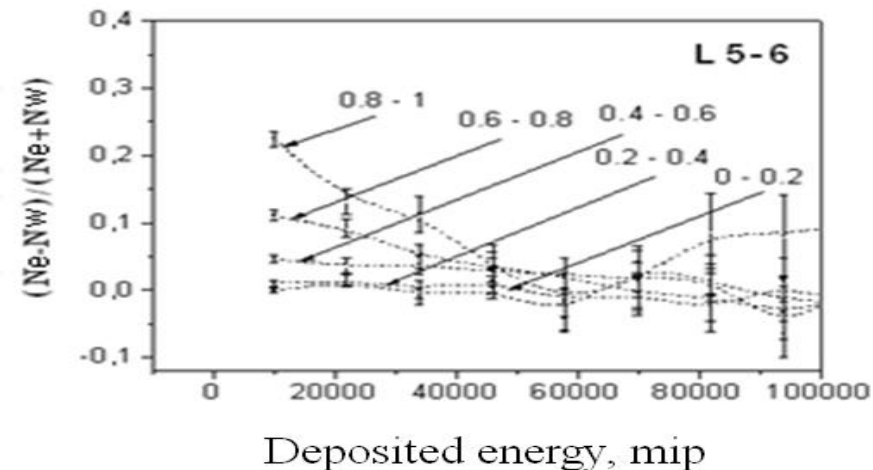


The east-west ratio and L shells

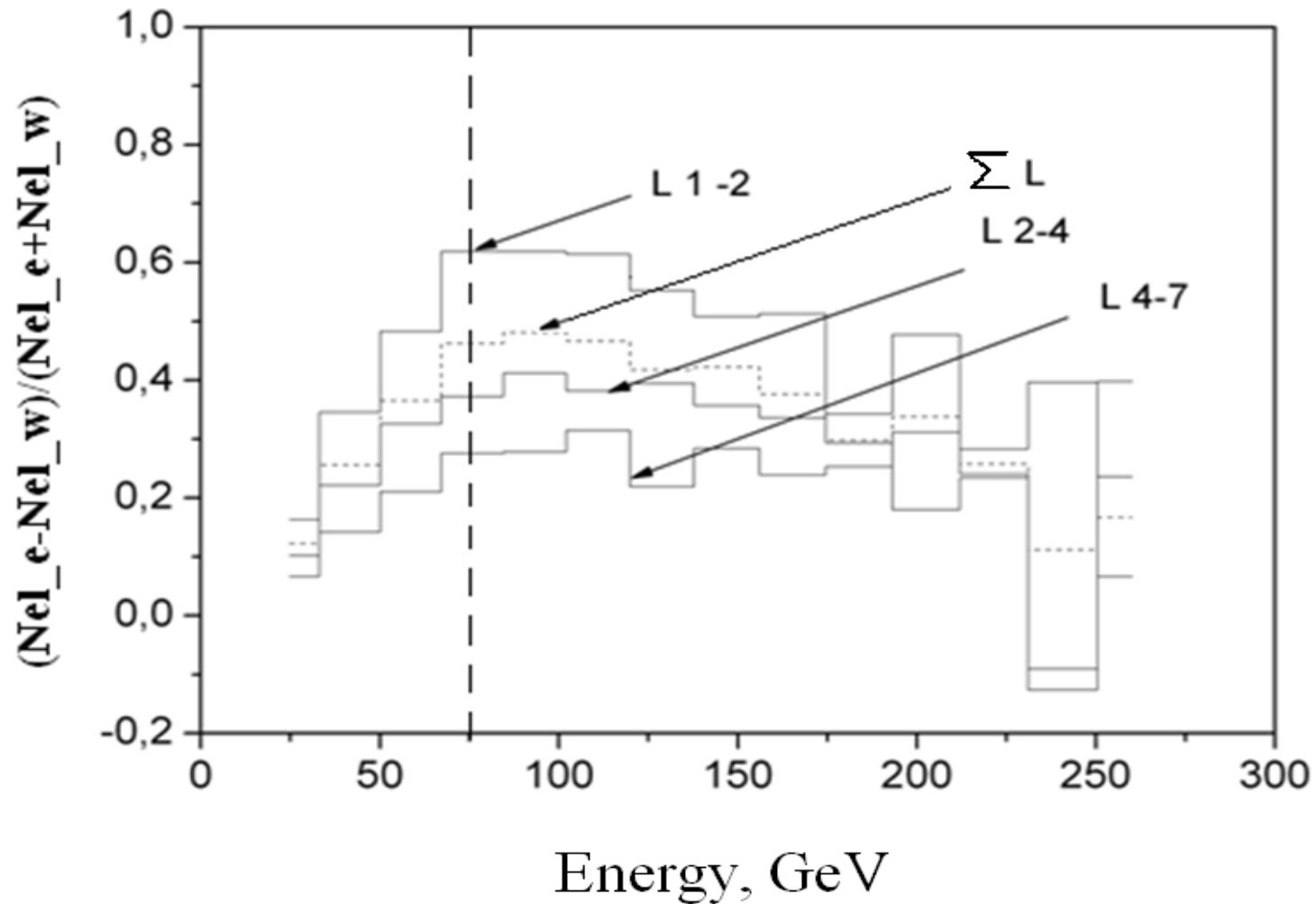


The east-west ratio depends on deposited energy



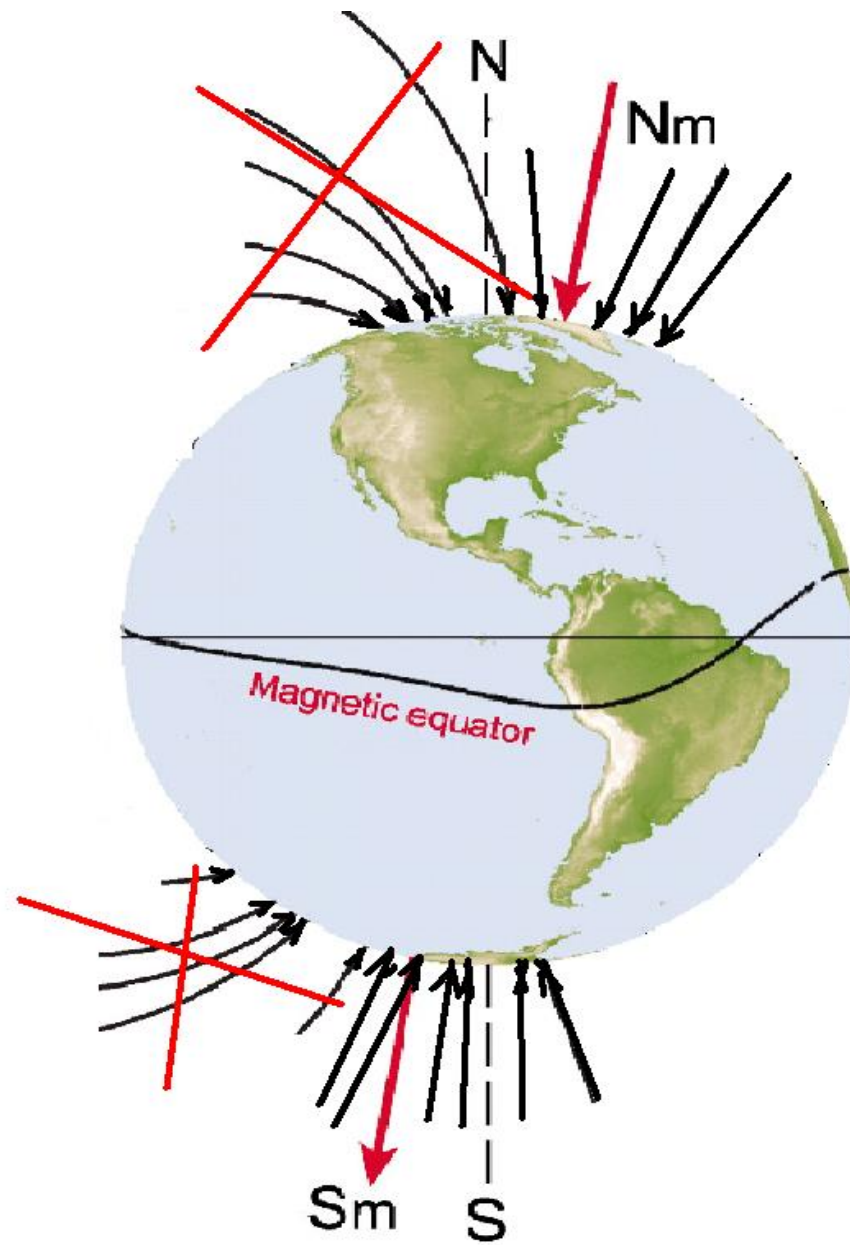


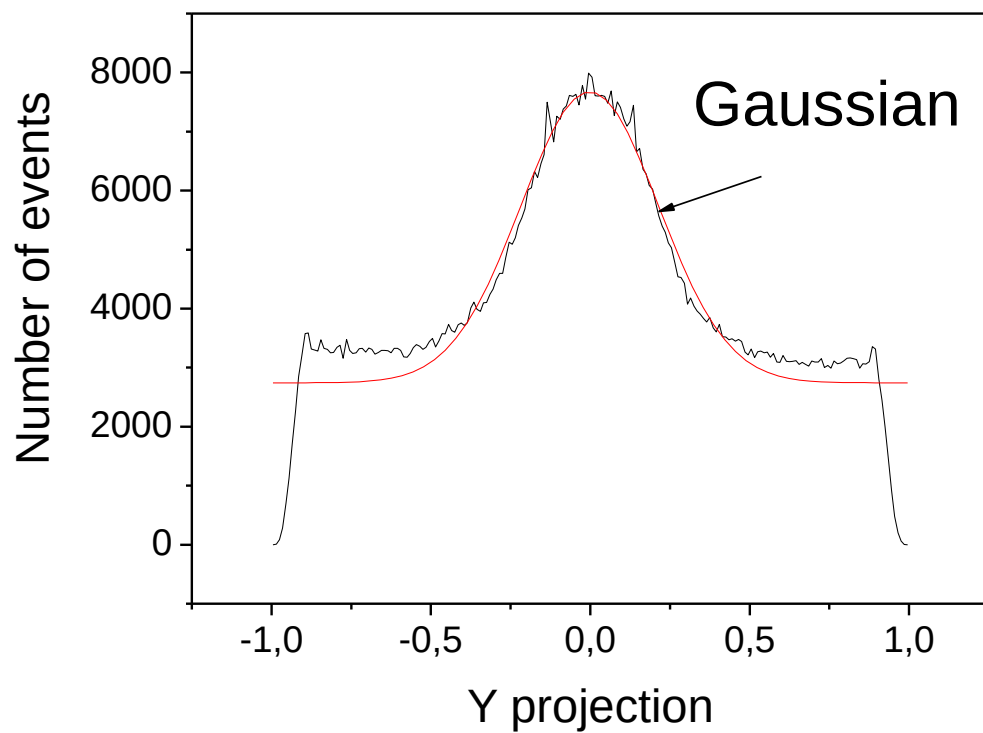
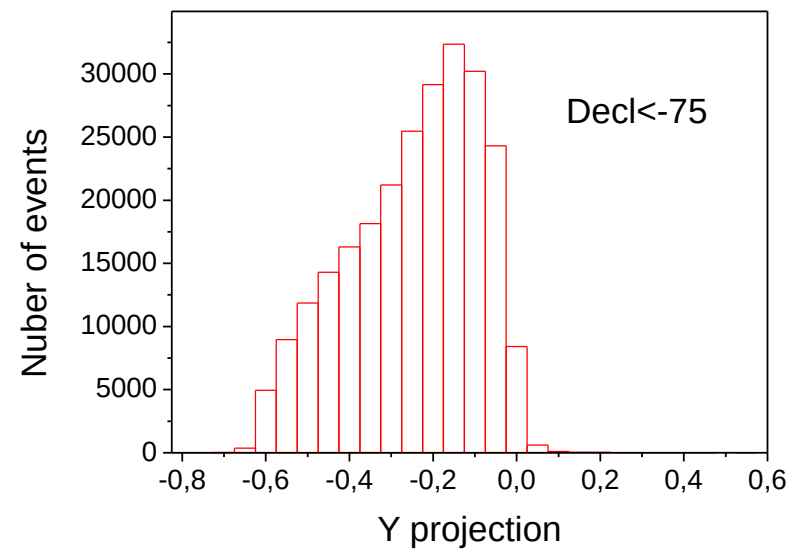
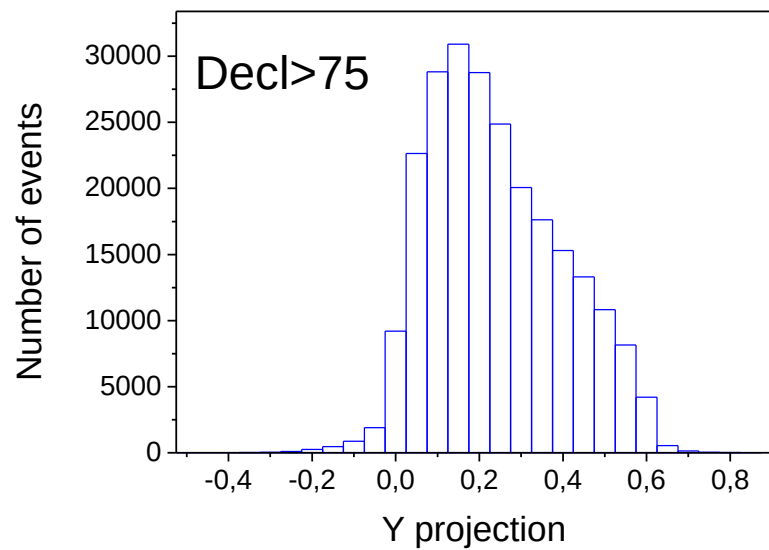
The east-west ratio calculations for electrons

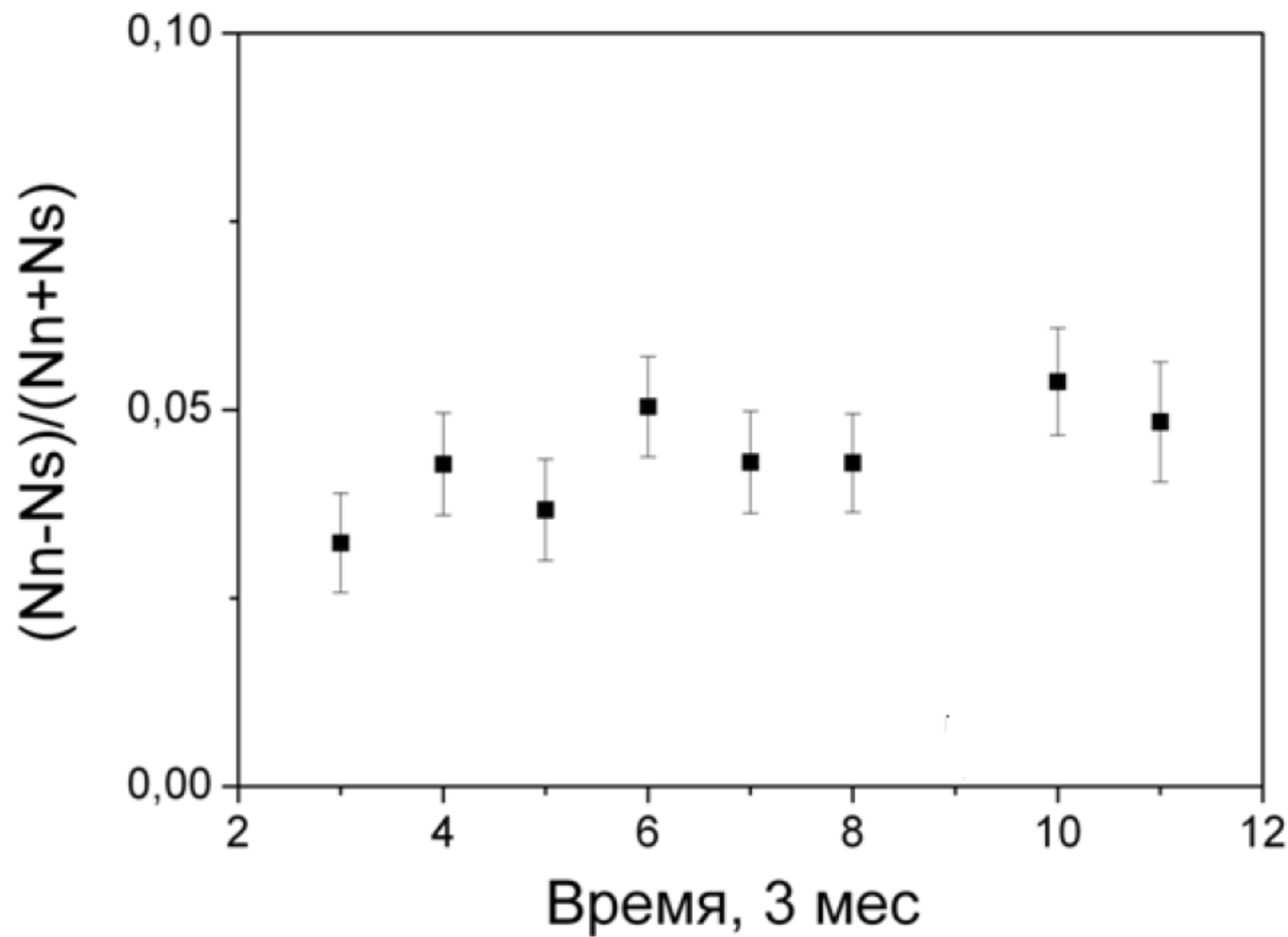


Основные результаты, выносимые на защиту:

- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -**Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.**
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

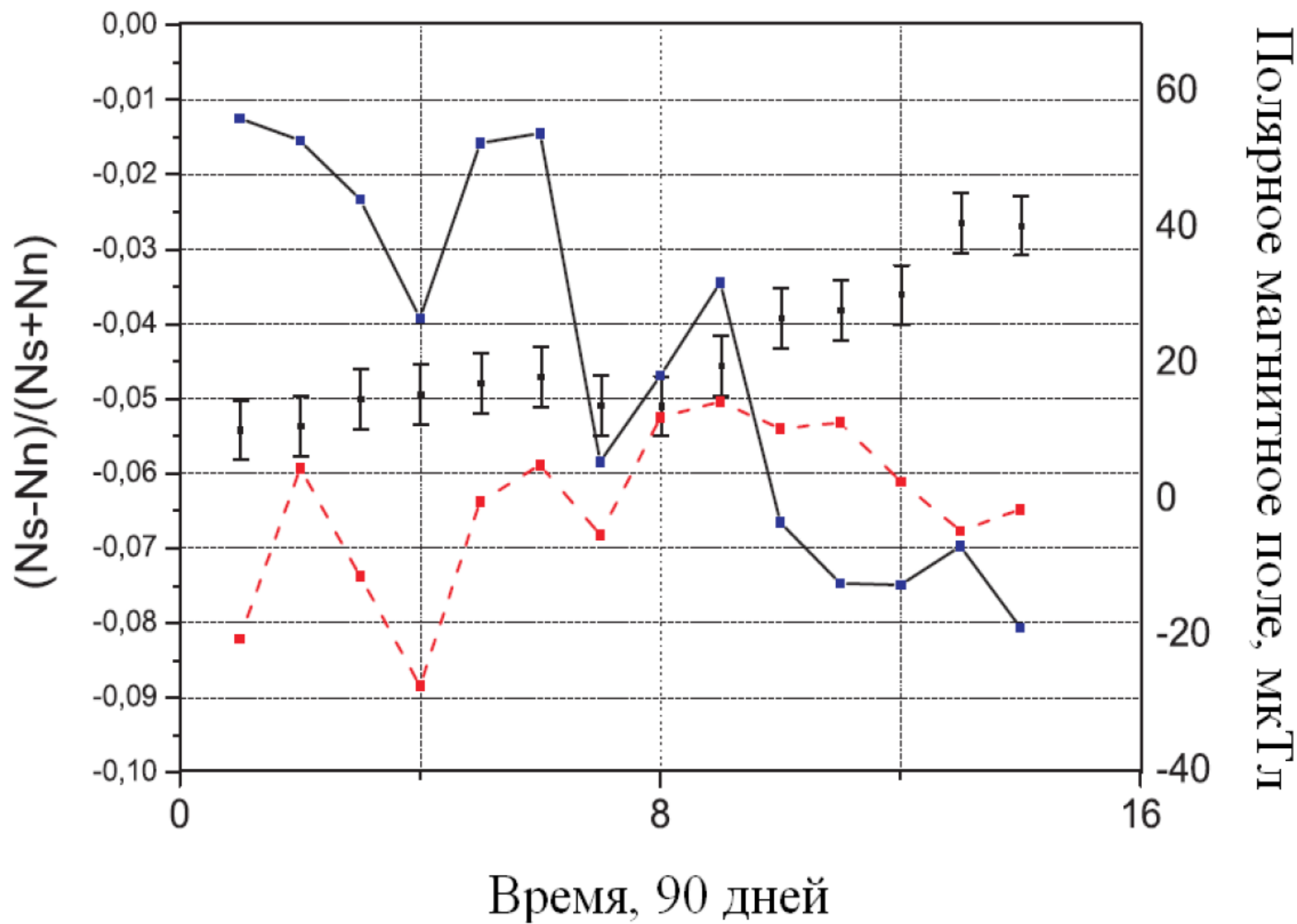






Основные результаты, выносимые на защиту:

- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -**Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.**
- -Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.

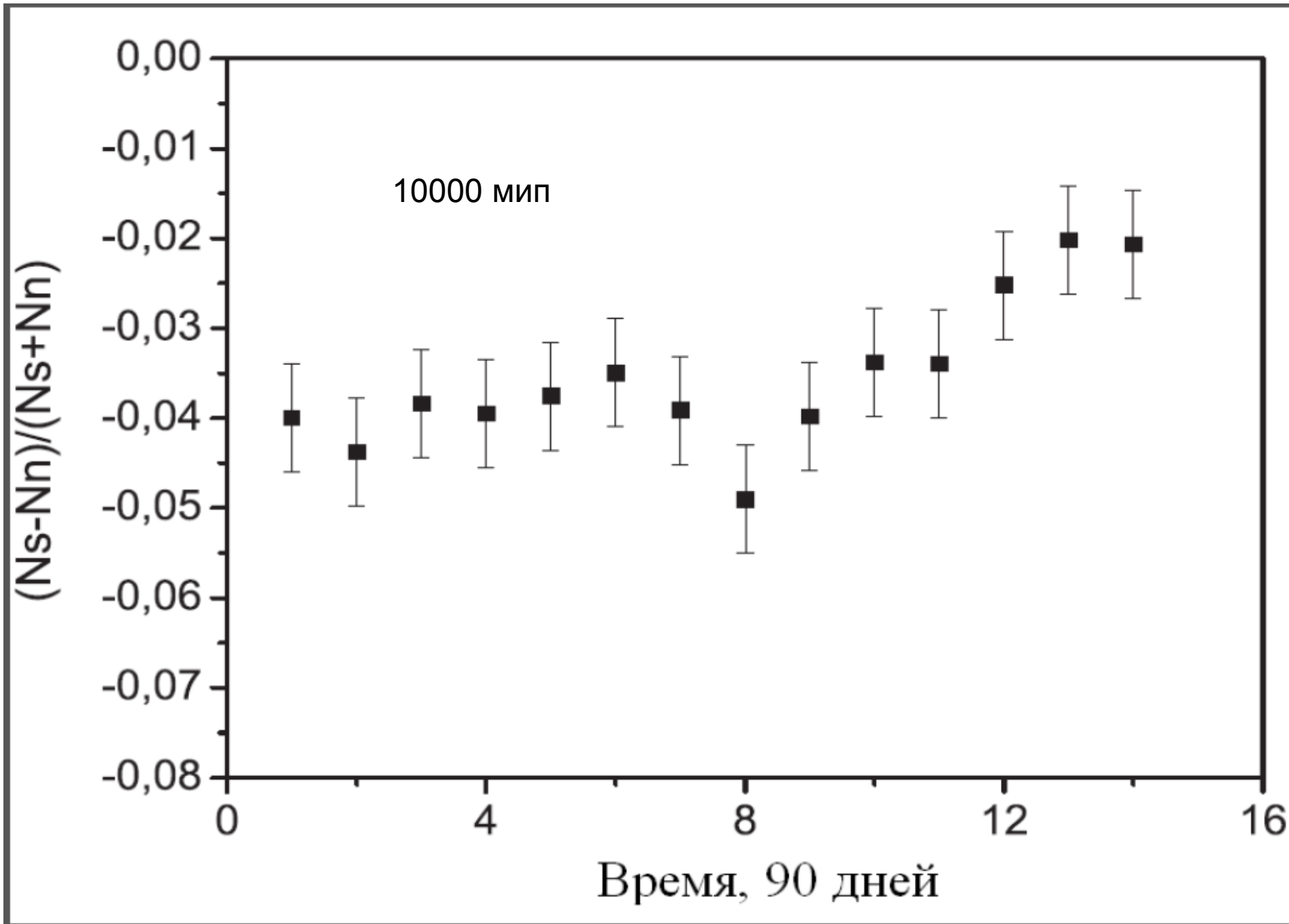


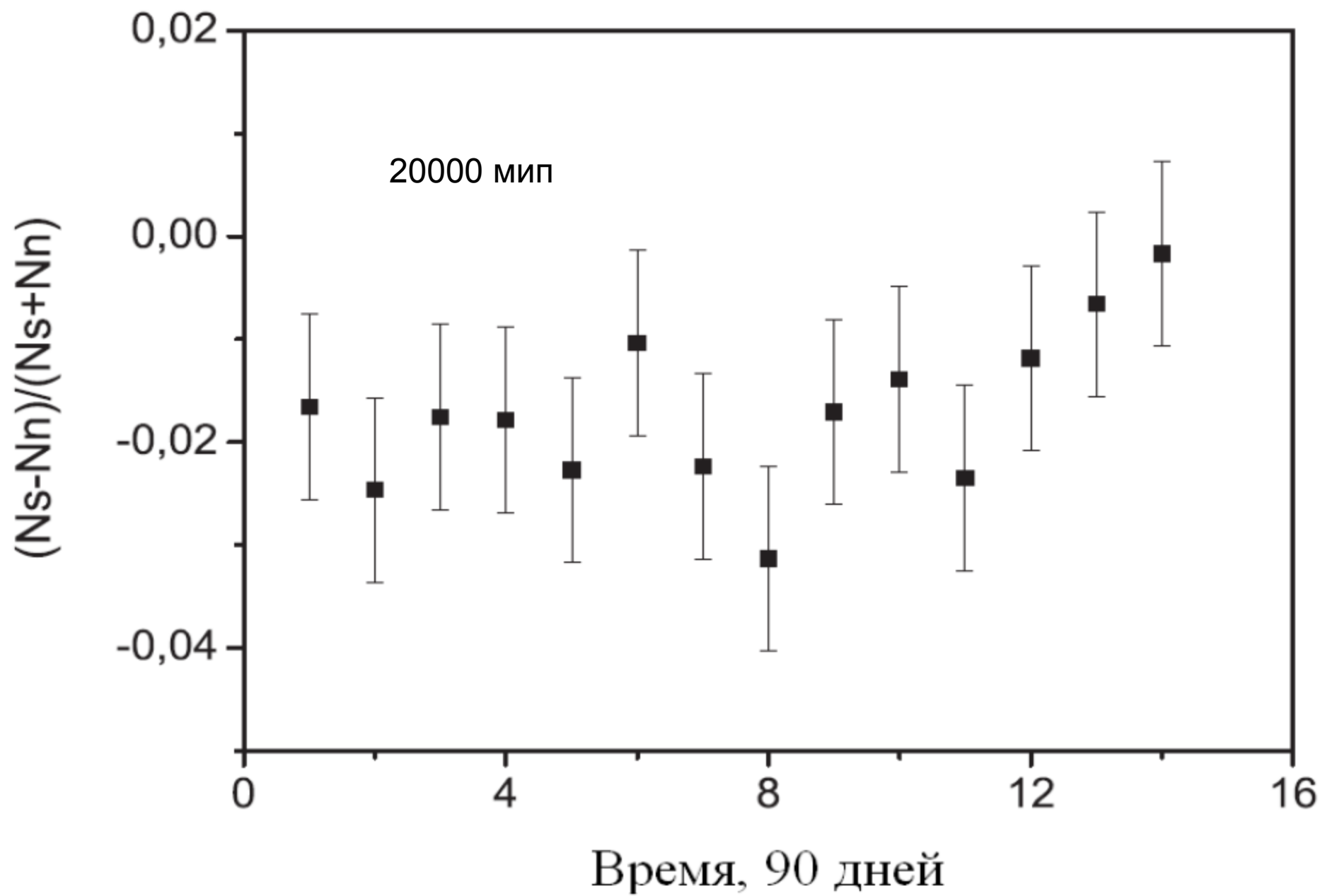
The time period of measurements from 24/02/10-31/07/14 was divided on 14 intervals with 90 days each one

- 1 24.02.10.-02.04.10; 10.05.28; 17.06.17-20.06.10; 16.11.10;
19.11.00-05.01.11
- 2 06.01.11-07.04.11
- 3 08.04.11-06.07.11
- 4 08.07.11-02.08.11; 05.09.11-20.09.11; 17.10.11-
02.12.11
- 5 03.12.11-01.03.12
- 6 02.03.12-11.04.12; 10.05.12-27.06.12;
- 7 28.06.12-24.07.12; 16.08.12-19.10.12;
- 8 20.10.12-27.01.13
- 9 28.01.13-27.04.13
- 10 28.04.13-26.07.13
- 11 27.07.13-28.10.13
- 12 29.10.13-29.01.14
- 13 30.01.14-30.04.14
- 14 01.05.01-31.07.14

События при пороге 4000 мип:

- 5% тяжелые ядра низких энергий,
- 55% протонов с энергией > 20 ГэВ,
- 15% ядер гелия с энергией > 10 ГэВ,
- 25% электронов с энергией > 7 ГэВ.



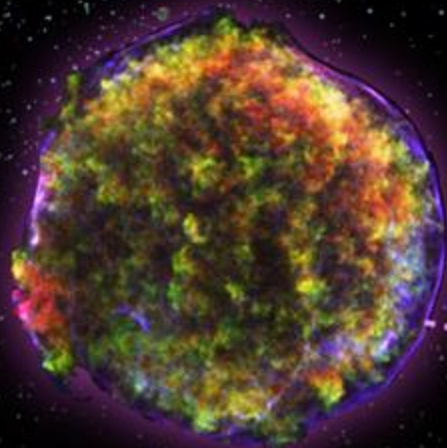


Основные результаты, выносимые на защиту:

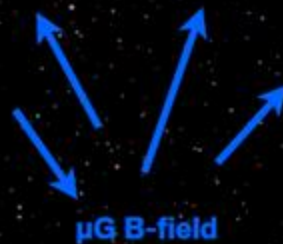
- -Измеренный дифференциальный энергетический суммарный спектр первичных электронов и позитронов космических лучей в диапазоне энергий 300-3000 ГэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных протонов космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ.
- -Измеренный дифференциальный энергетический спектр первичных ядер гелия космических лучей в диапазоне энергий 0.8-9 ТэВ/нуклон.
- -Измеренные величины отклонения электронов магнитным полем Земли.
- -Регистрация северо-южной асимметрии в потоках первичных космических лучей при энергии около 10 ГэВ и уменьшение ее абсолютной величины с ростом энергии.
- -Регистрация изменения абсолютной величины северо-южной асимметрии в потоках космических лучей с энергией около 10 ГэВ и выше во время переполюсовки магнитного поля Солнца.
- **-Измеренные характеристики крупномасштабной анизотропии потоков первичных космических лучей в диапазоне энергий 1-20/нуклон ТэВ.**



Cosmic-ray propagation



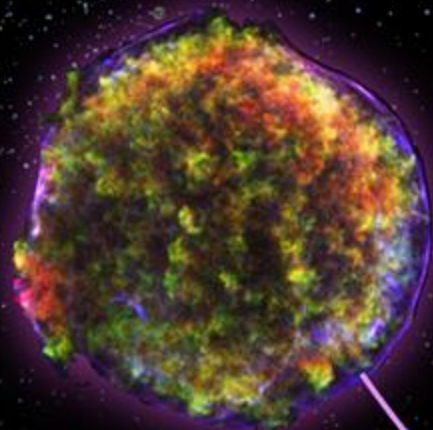
p^+ ?



$\mu\text{G B-field}$



Cosmic-ray propagation

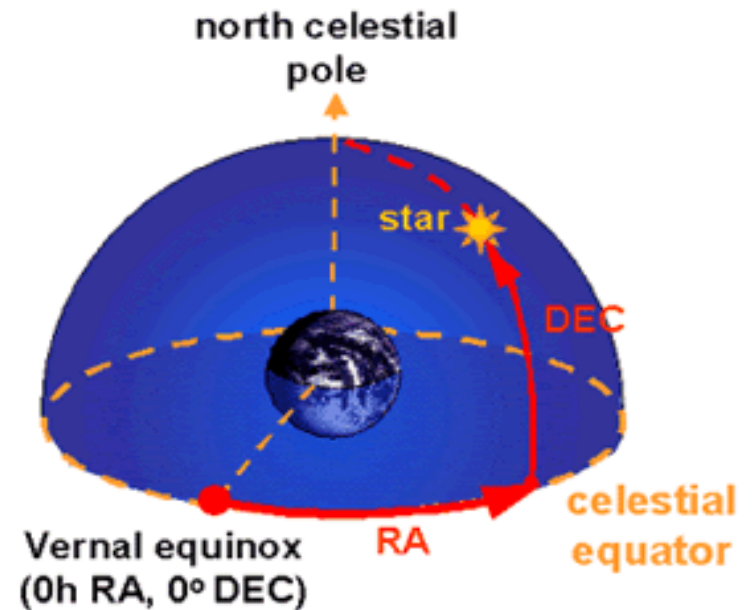
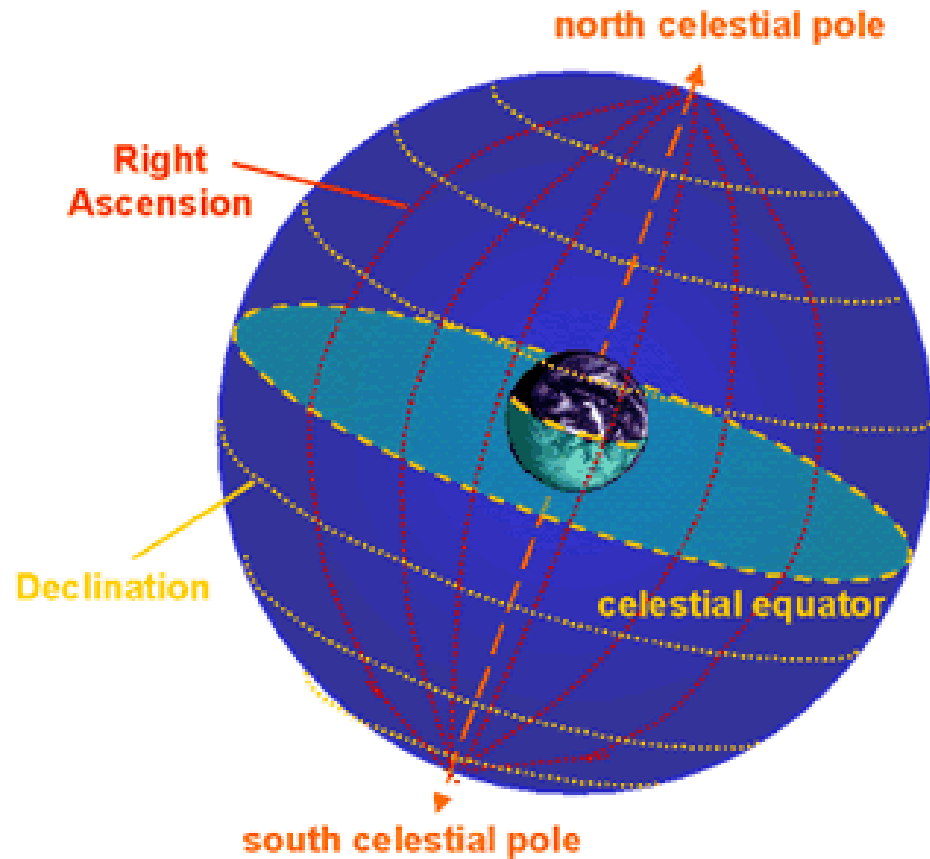


p^+

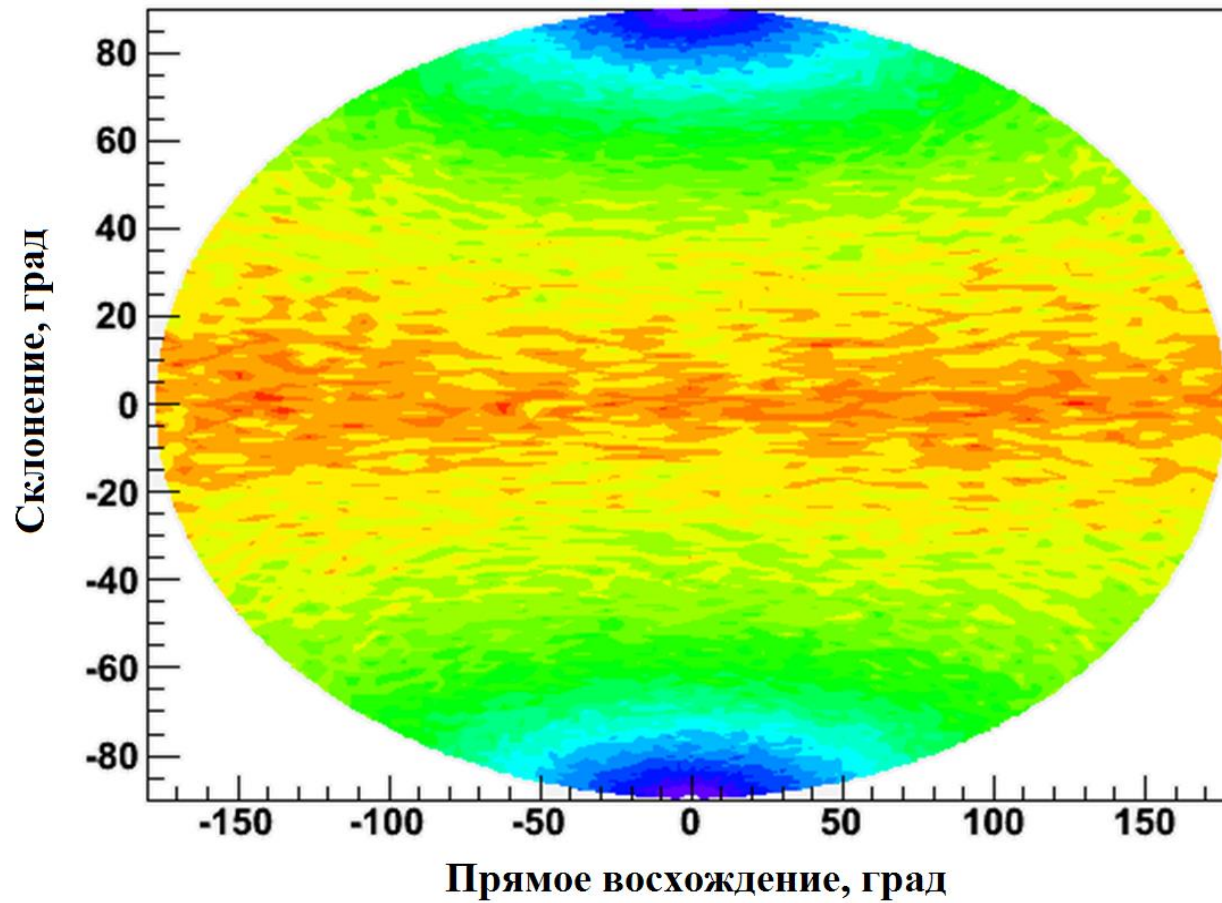
$\mu\text{G B-field}$



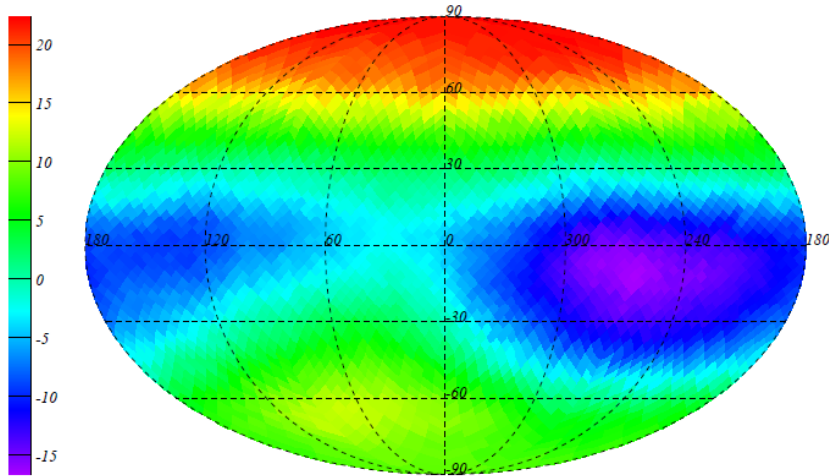
Экваториальная система координат



Фоновая карта

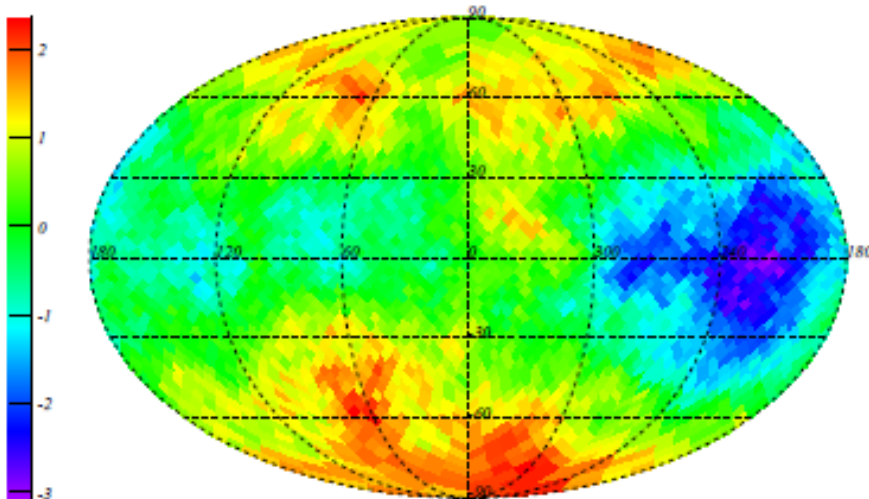


Исследование анизотропии с помощью HEALpix



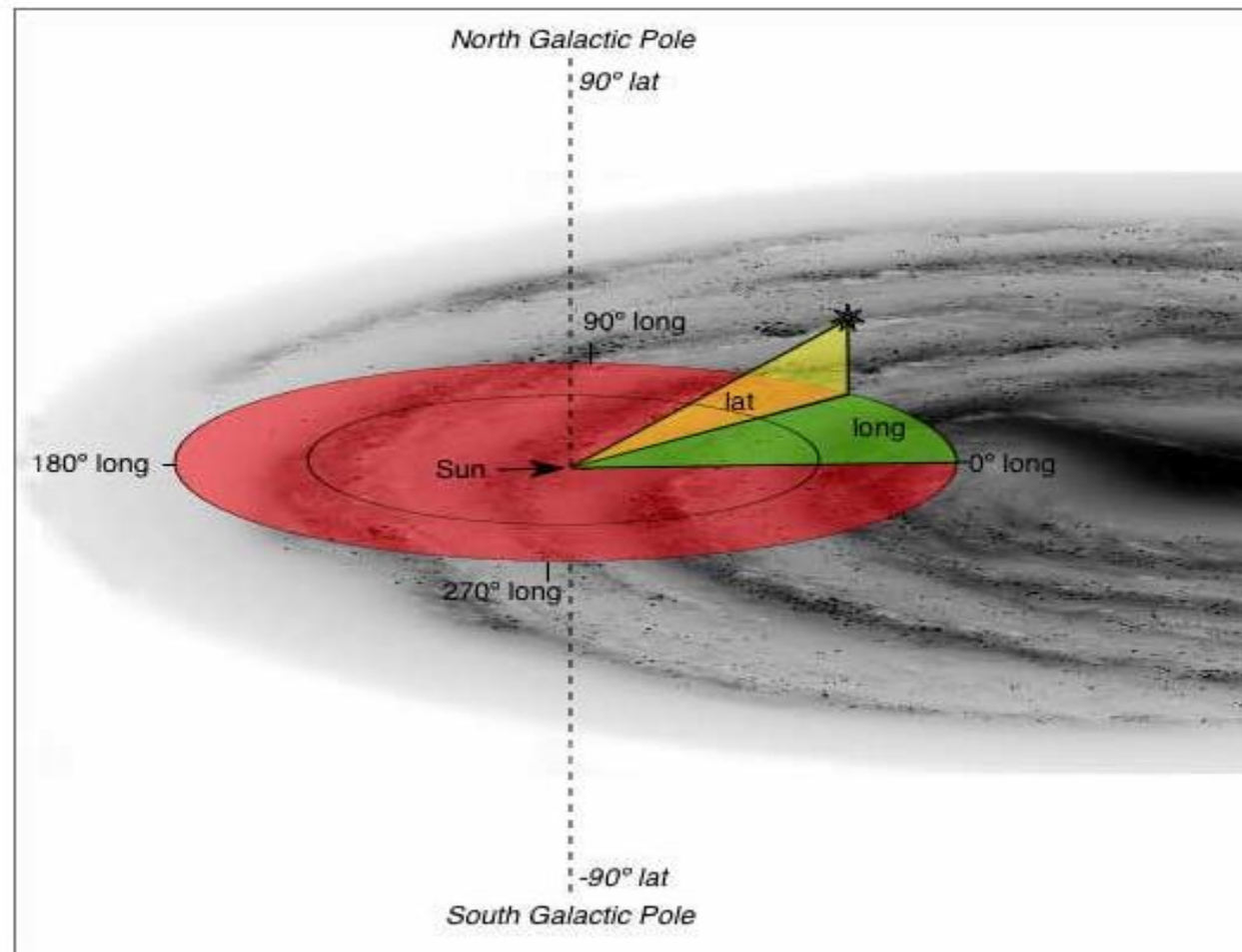
60000 мип

R 60

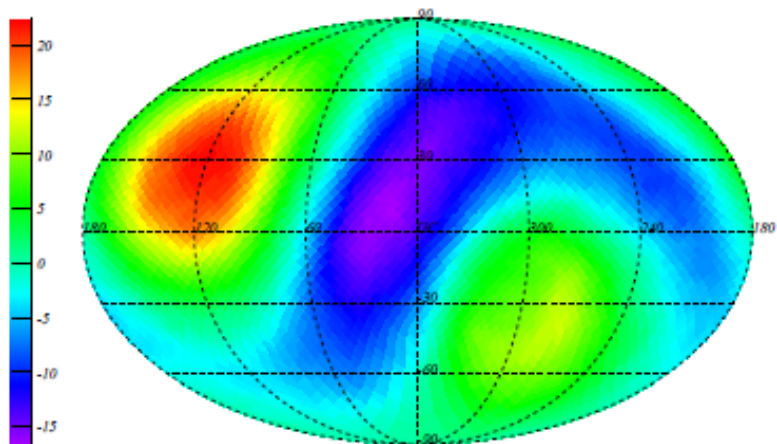


120000 мип

Галактическая система координат

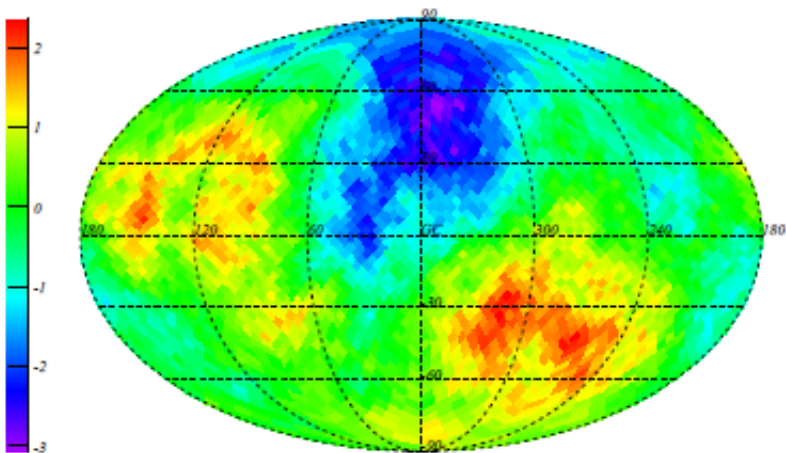


Исследование анизотропии с помощью HEALpix



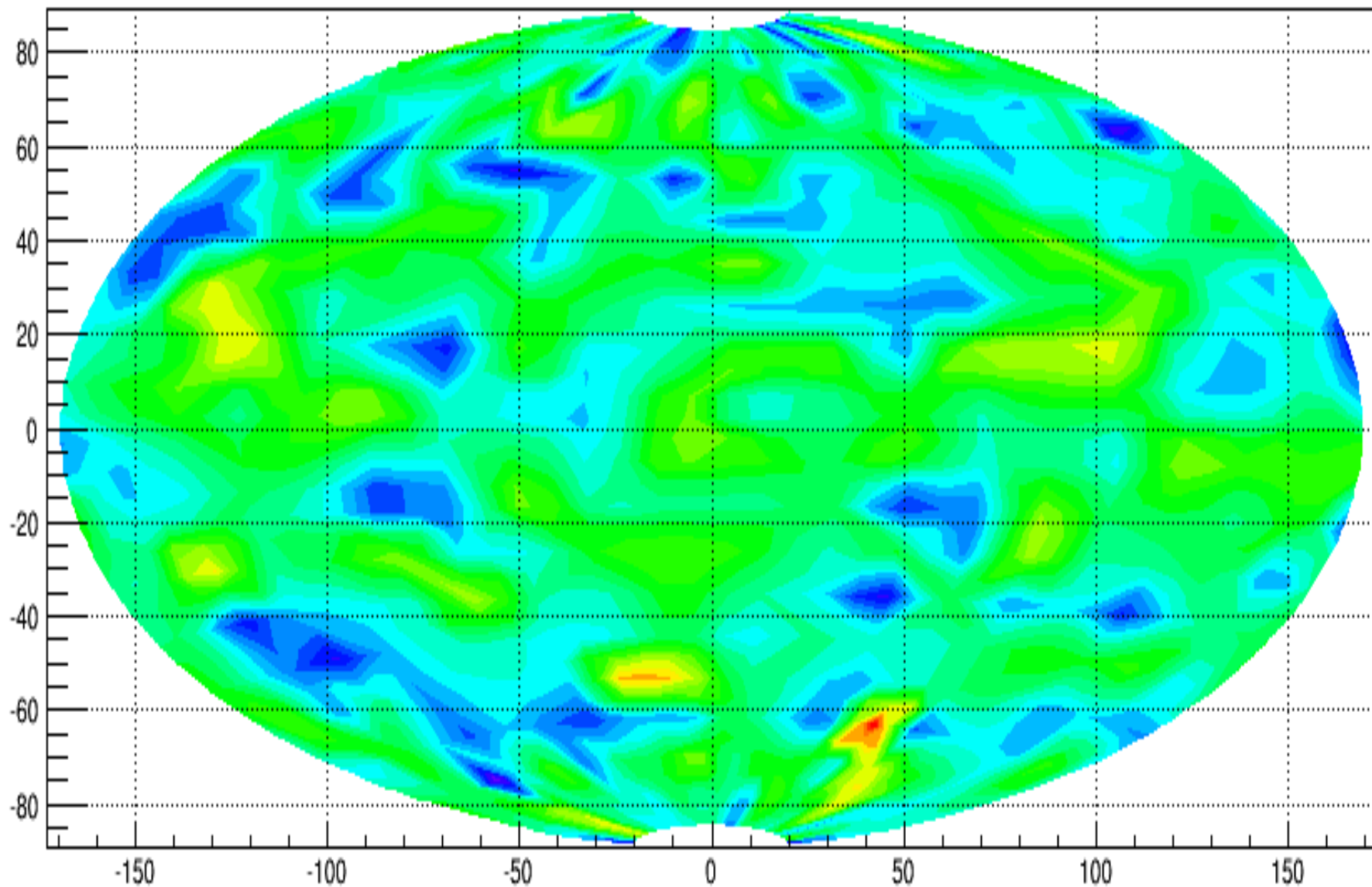
60000 мип

R 60

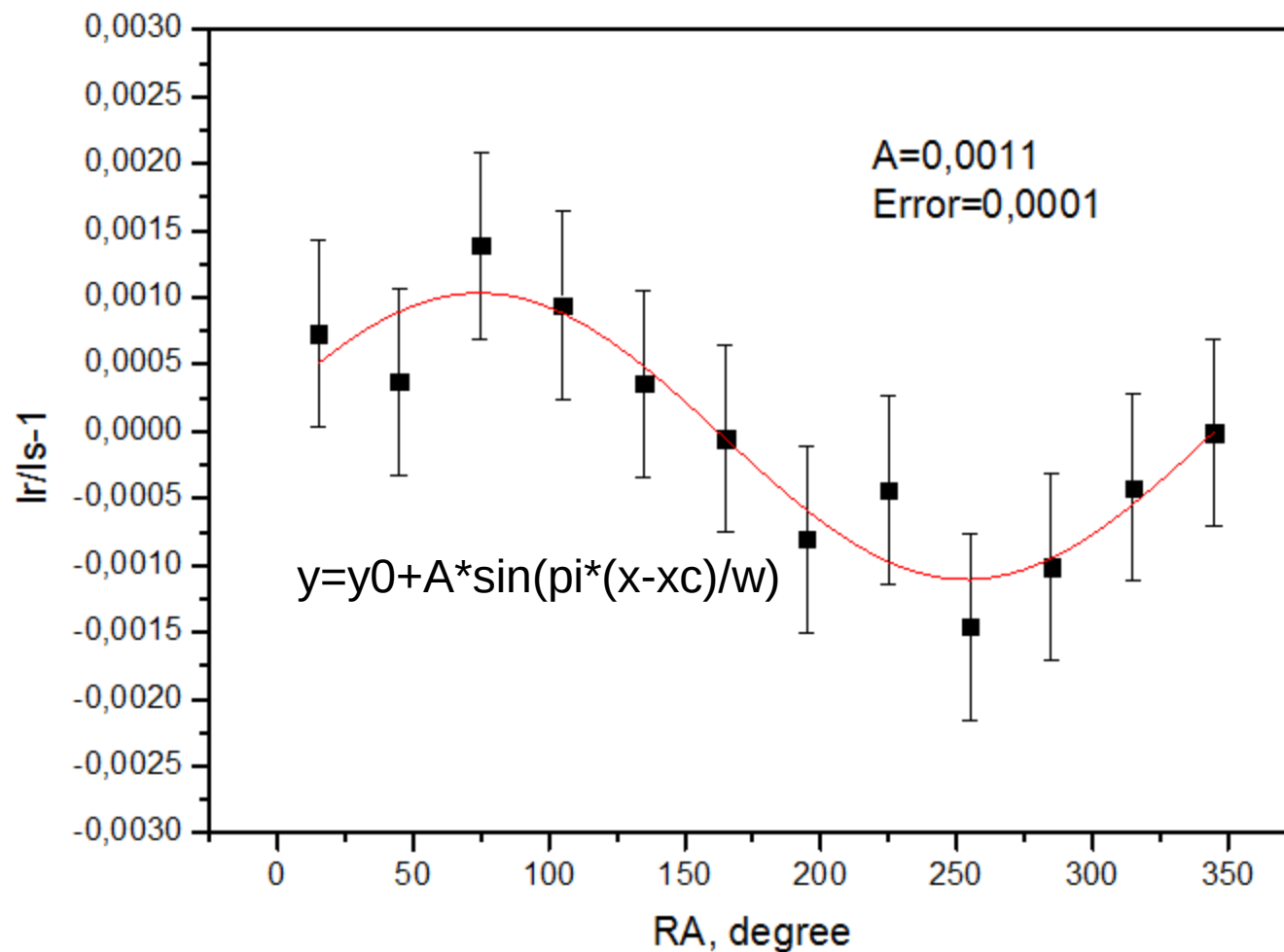


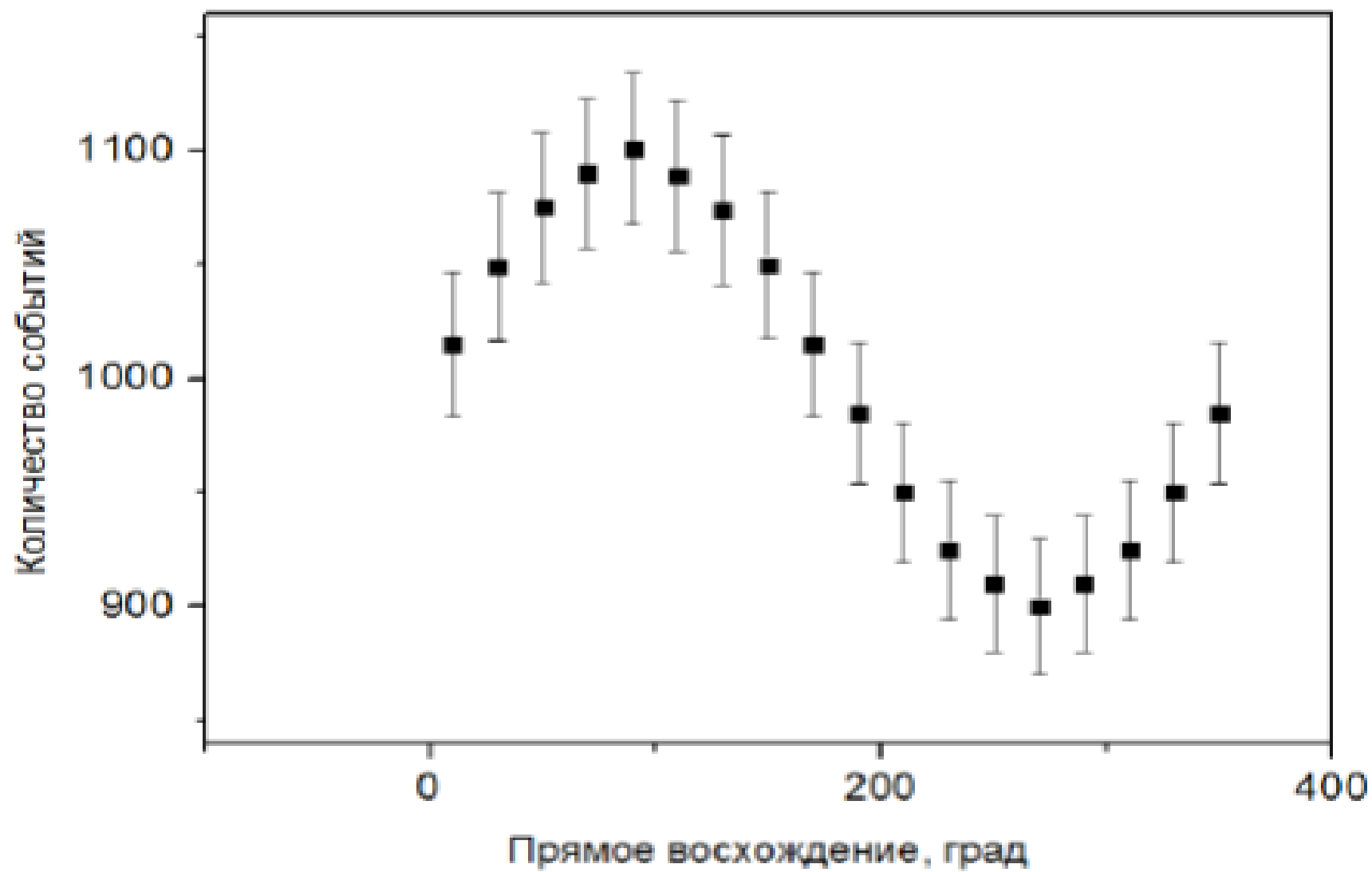
120000 мип

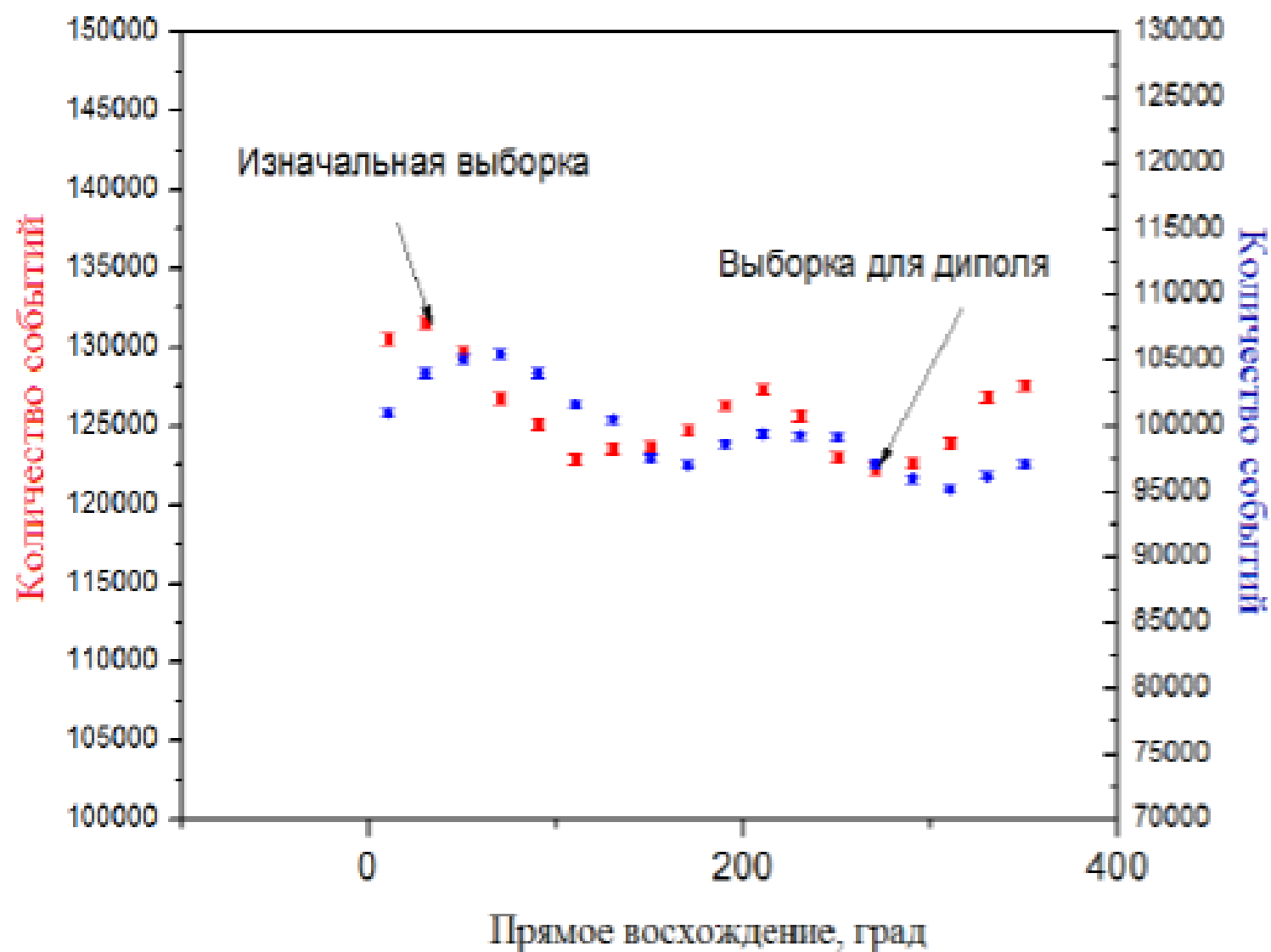
Карта при пороге 180000 мп



Отношение интенсивностей при пороге 180000 мип – 1-20 ТэВ/нуклон

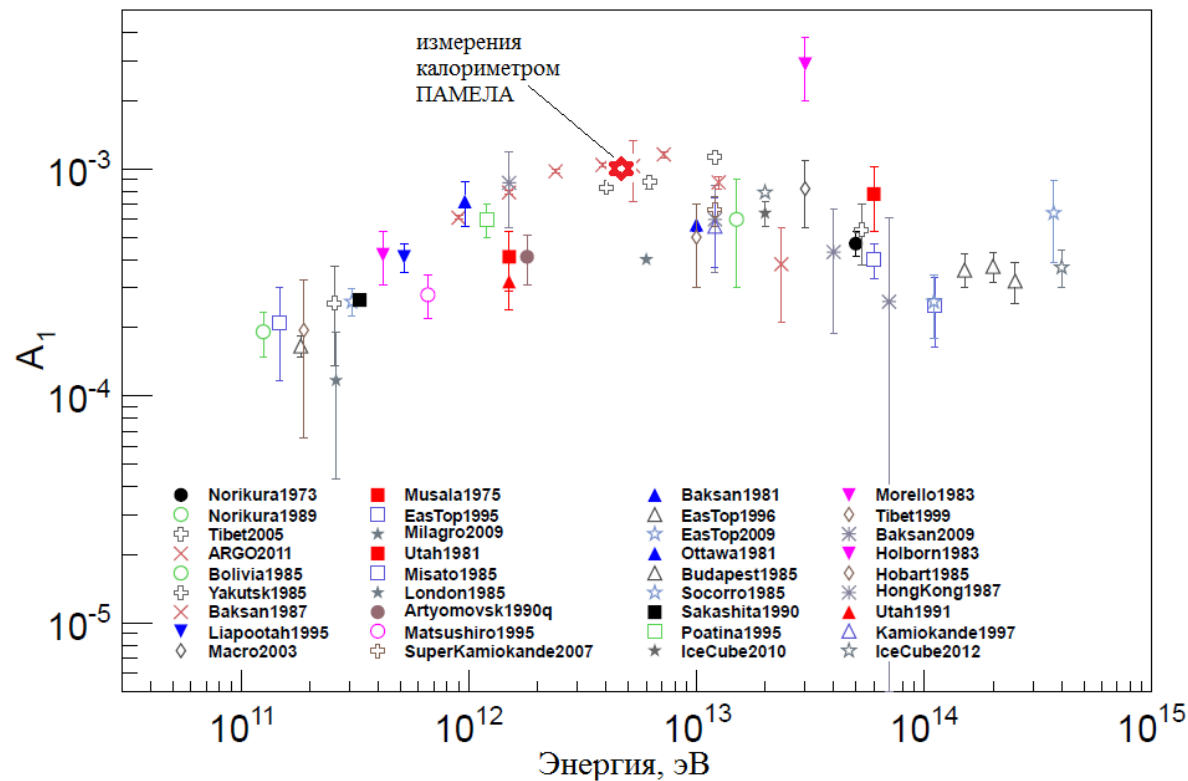




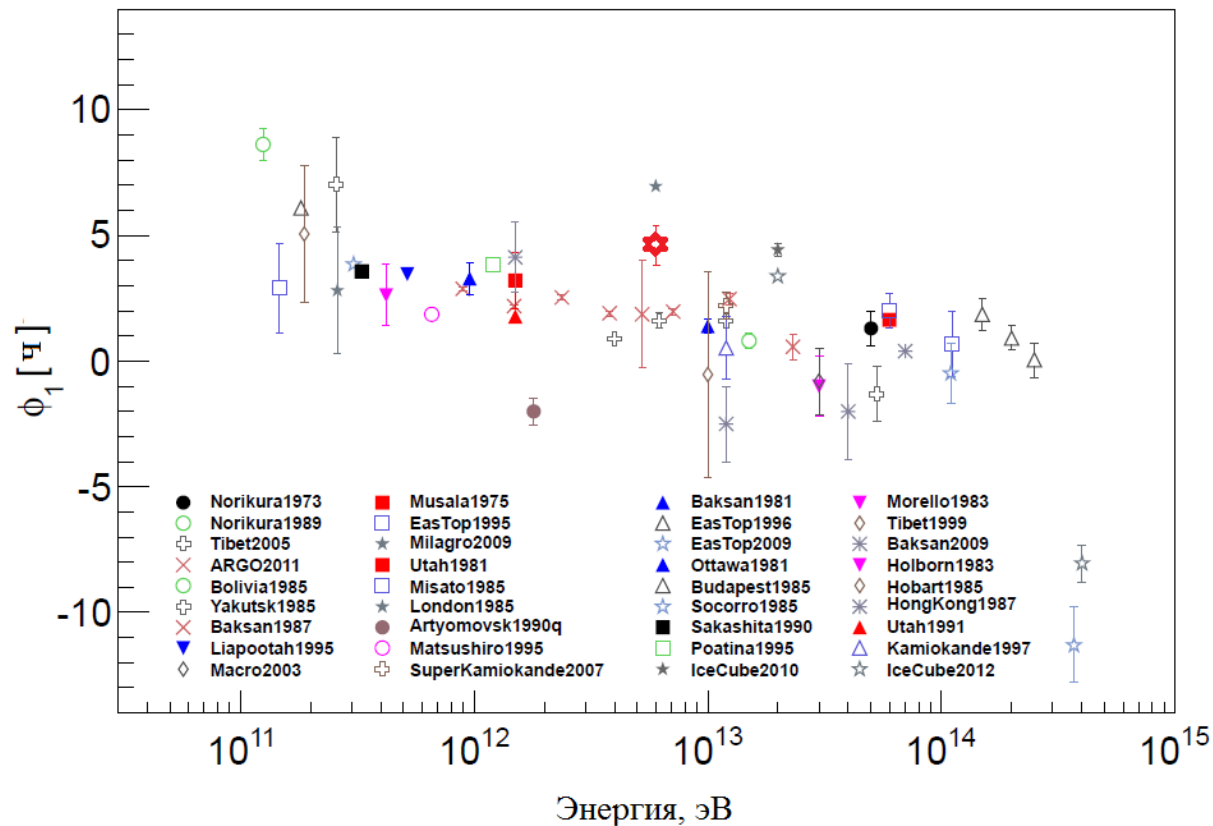


Название эксперимента	Период измерения, гг	Расположение, полусфера	Средняя энергия, ТэВ	Амплитуда, 10^{-3}	Фаза, град
Тибет [148]	1997-2005	Север	4-12	0,4	65
БПСД [143]	1982-1998	Север	$> 2,5$	$1,1 \pm 0,07$	$27,6 \pm 4,2$
Супер-Камиоканде [147]	1996-2001	Север	10	0.7	35
АРГО [151]	2007-2009	Север	6	$0,68 \pm 0,05$	$39,1 \pm 0,5$
МИЛАРГО [12]	2000-2007	Север	6	0.400 ± 0.007	104.3 ± 0.5
Ice-Cube [155]	2007-2008	Юг	12,6	$0,73 \pm 0.03$	63,4
Ice-Cube [156]	2007-2012	Юг	20	~ 1	~ 100
HAWC [160]	2012	Север	2	~ 1	
МИНОС	2010	Север	1	$0,82 \pm 0,17$	$8,9 \pm 12,1$
МИНОС	2010	Север	11	$0,38 \pm 0,05$	$27,2 \pm 7,2$
Калориметр ПАМЕЛА	2006-2014	Север+Юг	5	$1,1 \pm 0,1$	74 ± 7

Сравнение амплитуды диполя



Сравнение фазы диполя





Peter L. Biermann

Doctor honoris causa University of Bucharest

Member of the graduate faculty of the Department of Physics & Astronomy, College of Arts & Sciences, University of Alabama, Tuscaloosa, AL, USA

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 768:124 (8pp), 2013 May 10

© 2013. The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in the U.S.A.

doi:10.1088/0004-637X/768/2/124

[My Theory Group at the MPIfR](#) [My Institute](#)

Peter L. Biermann
Professor for Astronomy and Astrophysics
Max-Planck-Institut für Radioastronomie
Auf dem Hügel 69
D-53121 Bonn

COSMIC-RAY TRANSPORT AND ANISOTROPIES

PETER L. BIERMANN^{1,2,3,4,5}, JULIA BECKER TJUS⁶, EUN-SUK SEO⁷, AND MATTHIAS MANDELARTZ⁶

¹ MPI for Radioastronomy, Auf dem Hügel 69, D-53121 Bonn, Germany

² Department of Physics & Astronomy, University of Alabama, Tuscaloosa, AL 35487, USA

³ Institute of Experimental Nuclear Physics, Campus North, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), D-76021 Karlsruhe, Germany

⁴ Department of Physics, University of Alabama at Huntsville, AL 35899, USA

⁵ Department of Physics & Astronomy, University of Bonn, D-53115 Bonn, Germany

⁶ Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Physik & Astronomie, Theoretische Physik I, D-44780 Bochum, Germany

⁷ Department of Physics, University of Maryland, College Park, MD 20742, USA

Received 2012 June 1; accepted 2013 March 21; published 2013 April 22

ABSTRACT

We show that the large-scale cosmic-ray anisotropy at ~ 10 TeV can be explained by a modified Compton–Getting effect in the magnetized flow field of old supernova remnants. Cosmic rays arrive isotropically to the flow field and are then carried along with the flow to produce a large-scale anisotropy in the arrival direction. This approach suggests an optimum energy scale for detecting the anisotropy. Two key assumptions are that propagation is based on turbulence following a Kolmogorov law and that cosmic-ray interactions are dominated by transport via cosmic-ray-excited magnetic irregularities through the stellar wind of an exploding star and its shock shell. A prediction is that the amplitude is smaller at lower energies due to incomplete sampling of the velocity field and also smaller at larger energies due to smearing.

Key words: astroparticle physics – cosmic rays – ISM: structure – ISM: supernova remnants

Спасибо за
внимание!!