

Изотопы лития и бериллия в эксперименте PAMELA

Э.А. Богомолов, Г.И. Васильев

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

В. Менн

Университет Зиген

от коллаборации PAMELA



37-я ВККЛ

27.06-01.07 2022, НИИЯФ МГУ

PAMELA Collaboration

E.A. Bogomolov¹, O. Adriani^{2,3}, G.A. Bazilevskaya⁴, G.C. Barbarino^{5,6}, R. Bellotti^{7,8}, M. Boezio¹⁰, V. Bonvicini¹⁰, M. Bongi^{2,3}, S. Bottai³, A. Bruno^{7,8}, A. Vacchi^{10,11}, E. Vannuccini³, G.I. Vasilyev¹, S.A. Voronov⁹, A.M. Galper⁹, C. De Santis^{12,13}, V. Di Felice^{12,14}, G. Zampa¹⁰, N. Zampa¹⁰, M. Casolino¹², D. Campana⁶, A.V. Karelin⁹, P. Carlson¹⁵, G. Castellini¹⁶, F. Cafagna⁸, A.A. Kvashnin⁴, A.N. Kvashnin⁴, S.V. Koldashov⁹, S.A. Koldobskiy⁹, S.Y. Krutkov¹, A.A. Leonov⁹, A.G. Mayorov⁹, V. Malakhov⁹, M. Martucci^{13,17}, L. Marcelli¹³, W. Menn¹⁸, M. Merge^{12,13}, V.V. Mikhailov⁹, E. Mocchiutti¹⁰, A. Monaco^{7,8}, N. Mori³, R. Munini^{10,19}, G. Osteria⁶, B. Panico⁶, P. Papini³, P. Picozza^{12,13}, M. Pearce¹⁵, M. Ricci¹⁷, S.B. Ricciarini³, M.F. Runtso⁹, M. Simon¹⁸, R. Sparvoli^{12,13}, P. Spillantini^{2,3}, Y.I. Stozhkov⁴, Y.T. Yurkin⁹

¹*Ioffe Institute, RU-194021 St. Petersburg, Russia*

²*University of Florence, Department of Physics, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy*

³*INFN, Sezione di Florence, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy*

⁴*Lebedev Physical Institute, RU-119991 Moscow, Russia*

⁵*University of Naples "Federico II", Department of Physics, I-80126 Naples, Italy*

⁶*INFN, Sezione di Naples, I-80126 Naples, Italy*

⁷*University of Bari, Department of Physics, I-70126 Bari, Italy*

⁸*INFN, Sezione di Bari, I-70126 Bari, Italy*

⁹*National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), RU-115409 Moscow, Russia*

¹⁰*INFN, Sezione di Trieste, I-34149 Trieste, Italy*

¹¹*University of Udine, Department of Mathematics and Informatics, I-33100 Udine, Italy*

¹²*INFN, Sezione di Rome "Tor Vergata", I-00133 Rome, Italy*

¹³*University of Rome "Tor Vergata", Department of Physics, I-00133 Rome, Italy*

¹⁴*Agenzia Spaziale Italiana (ASI) Science Data Center, I-00133 Rome, Italy*

¹⁵*KTH Royal Institute of Technology, Department of Physics, and the Oskar Klein Centre for Cosmoparticle Physics, AlbaNova University Centre, SE-10691 Stockholm, Sweden*

¹⁶*IFAC, I-50019 Sesto Fiorentino, Florence, Italy*

¹⁷*INFN, Laboratori Nazionali di Frascati, I-00044 Frascati, Italy*

¹⁸*Universität Siegen, Department of Physics, D-57068 Siegen, Germany*

¹⁹*University of Trieste, Department of Physics, I-34147 Trieste, Italy*

Введение. В космическом эксперименте PAMELA впервые обнаружены [1] Локальные Источники позитронов с энергией свыше десятков ГэВ, вероятно связанные с генерацией e^+ , e^- пар в остатках близких (\sim сотен парсек) сверхновых. Потоки этих позитронов на порядки выше фона от Галактических Космических Лучей (ГКЛ). Подобные источники могут быть также источниками ядер и их поиск возможен, в частности, путем анализа отклонений изотопного состава ядер от ожидаемого в ГКЛ из-за различия истории их распространения. Изотопы ^2H and ^3He на относительно короткой дистанции практически не будут генерироваться, ^7Be не встречается e^- для распада в реакции $^7\text{Be}+e^- > ^7\text{Li}+\dots$, ^{10}Be практически не распадается, ^7Li не возникает при распаде ^7Be ... Эти эффекты можно попробовать обнаружить при анализе полетных данных PAMELA. Возможно наблюдаемые ГКЛ являются смесью ГКЛ и КЛ от Локальных Источников... Возможно мы уходим от «средней температуры по больнице»... В 2018-м консервативные данные для изотопов Li и Be при $R > 1$ ГВ были опубликованы в Ap. J. [2], представлялись на Алтае [3] и работа продолжалась. Данные для изотопов Li и Be при $R \sim 1-5$ ГВ из анализа данных PAMELA 2006-2014 представляются вновь. При анализе использованы новые подходы, которые постоянно совершенствуются...

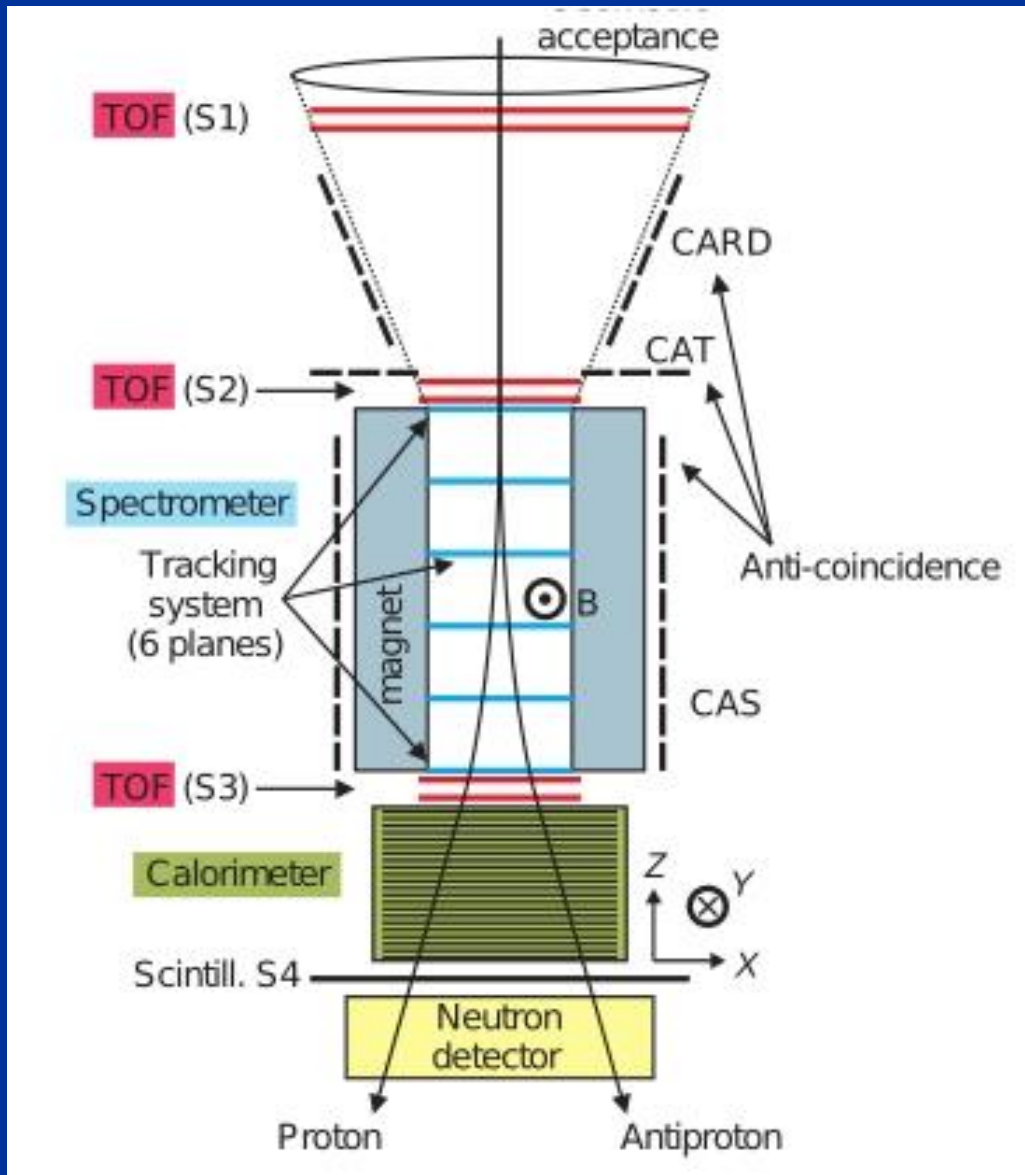
1. Nature, 458(2009)607.

2. Astrophys. J., 862(2018)141, 3. Bull. Russ.Acad. Sci.:Phys.83(2019)967

Методы анализа изотопов.

Стандартные методы и подход ФТИ.

PAMELA Magnetic Spectrometer



$$\text{Mass: } Mc^2 = RZ / (\beta^2 - 1)^{1/2}$$

1. Z from S1, S2, S3

2. $\beta = v/c$ from TOF

Time resolution:

Z=1 ~ 250 ps

Z=2 ~ 100 ps

Z=3 ~ 85 ps

Z=4 ~ 80 ps

3. R from Tracker

MDR ~ 1 TV

4. Up to S3 - X ~ 5 g/cm²

NB. Orbit inclination 70°

Multilayer Calorimeter.

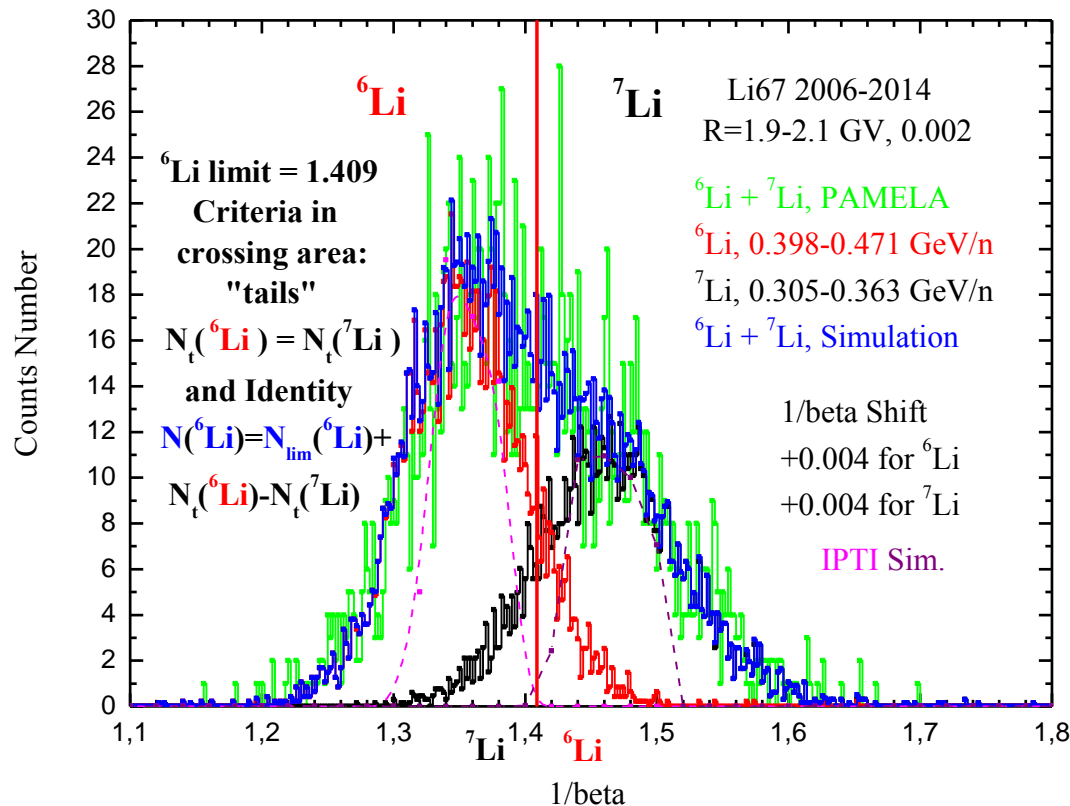
dE/dx ~ f(R, β) data we use for isotope analysis.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе. Метод пределов для селекции изотопов (пример).

Преимущества:

1. Простота
2. Устойчивость результата к соотношению изотопов и моделированию распределений
3. Хорошее согласие с результатами применения стандартных методов при хорошей статистике анализа H и He .

NB. События в области перекрытия распределений включены в ошибки отношений изотопов



Принцип: равенство числа событий в «хвостах» модельных распределений в области перекрытия соседних распределений.

Для изотопного анализа отбираются события, прошедшие без ядерных взаимодействий через времяпролетную систему сцинтилляционных счетчиков S1, S2, S3 и более 5 слоев вольфрама в калориметре PAMELA. Для контроля чистоты информации использовались данные 2D-распределений масс (TOF) и ионизационных потерь dE/dx в слоях Si калориметра PAMELA в зависимости от $1/\beta$. При стандартном анализе изотопов в Университете Зиген использовались современные математические методы для поиска пиков изотопов в приближении Гаусса из экспериментальных распределений до наилучшего соответствия данным полета. Параллельно в ФТИ был проведен анализ с использованием собственного подхода. В условиях хорошей статистики при анализе изотопов ядер H и He результаты прекрасно согласовывались. При анализе изотопов ядер Li и Be в условиях ограниченной статистики выявились ограничения стандартного подхода... Также экспериментальные распределения отличались от гауссовых, а моделирование GEANT 4 давало завышенный эффект от рассеяния ядер. Для решения задачи в ФТИ впервые были использованы данные ЛЕТНЫХ распределений масс (TOF) и $dE/dx(Si)$ в калориметре PAMELA, которые обеспечивают автоматическую реакцию прибора на регистрацию ядер. При анализе изотопов ядер ${}^6\text{Li}$ и ${}^7\text{Li}$ использовались правое и левое распределения ${}^6\text{Li} + {}^7\text{Li}$. При анализе ядер ${}^7\text{Be}$ и ${}^9\text{Be}$ аналогично использовались распределения ${}^6\text{Li} + {}^7\text{Li}$ и ${}^{10}\text{B} + {}^{11}\text{B}$. Результаты анализа изменялись незначительно. В настоящей работе используется именно этот подход и полученные результаты являются, вероятно, наиболее реалистичными. Наш подход был опробован при анализе отношений ${}^{11}\text{B}/{}^{10}\text{B}$ [1] и при поиске ядер ${}^{14}\text{C}$ [2] и дал разумные результаты. С нетерпением ждем результатов анализа изотопов Li и Be из наблюдений AMS-02 и антарктического стратосферного эксперимента HELIX...

1. Phys. Atom. Nucl. 82(2019)704, 2. Bull. Russ. Acad. Sci. 85(2021)341

Стандартные методы и метод пределов.

$2\text{H}/1\text{H}$ – отношение, 2006-2007

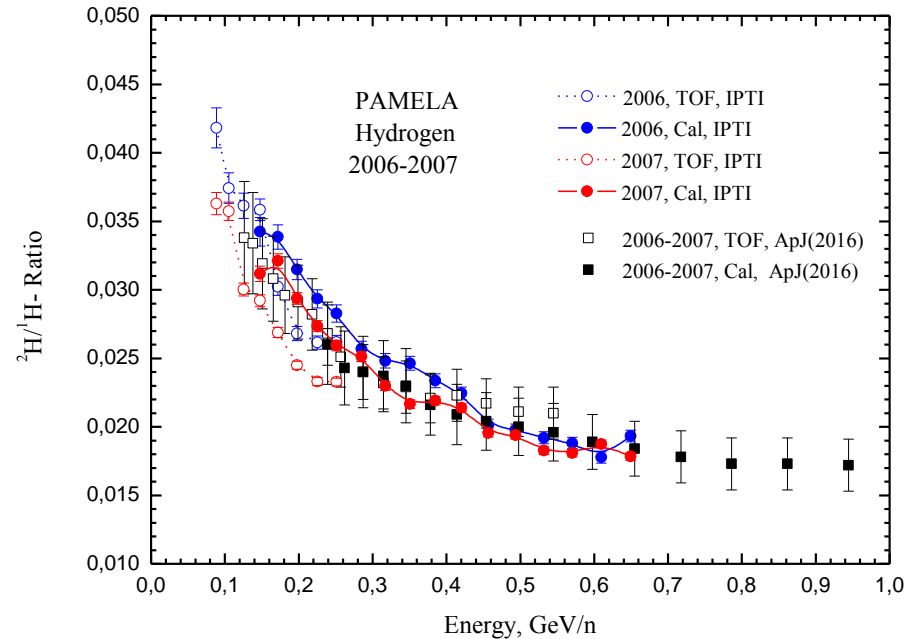
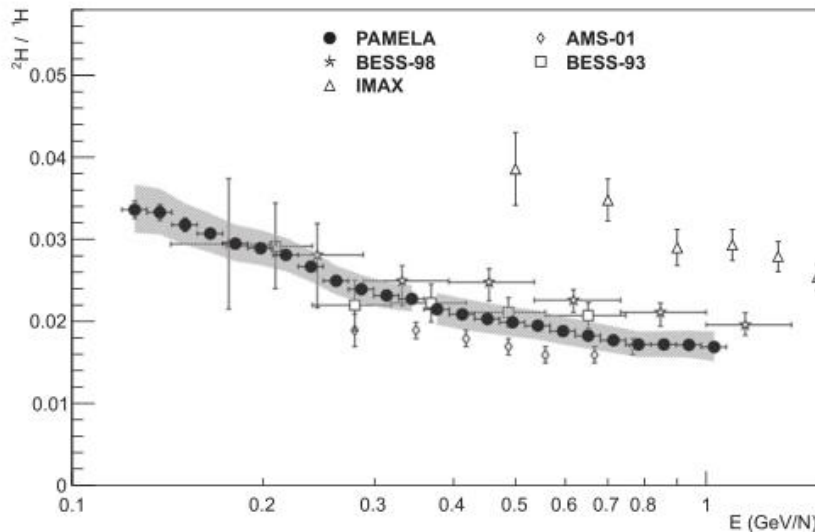


Figure 15. ^1H and ^2H absolute fluxes (top) and their ratio (bottom). For energies less than 361 MeV/n, the ToF results (Table 1) were used, and for higher energies the calorimeter results were used (Table 2). The previous experiments are AMS-01 (Lamanna et al. 2001; AMS Collaboration et al 2002; Aguilar et al. 2011), BESS-93 (Wang et al. 2002), BESS-98 (Myers et al. 2005), and IMAX (de Nolfo et al. 2000). Error bars show the statistical uncertainty, and shaded areas show the systematic uncertainty.

Astrophys. J. 818(2016)68

ФТИ. Phys.Atom.Nucl. 81(2018)390

Хорошее согласие результатов анализа $2\text{H}/1\text{H}$ при использовании 2-х методов.

NB. Данные AMS-02 для $2\text{H}/1\text{H}$ (Nov.2021, Trieste) вблизи ~ 2 GV хорошо согласуются с PAMELA.

Стандартные методы и метод ФТИ для анализа изотопов He.

$^3\text{He}/^4\text{He}$ - отношение

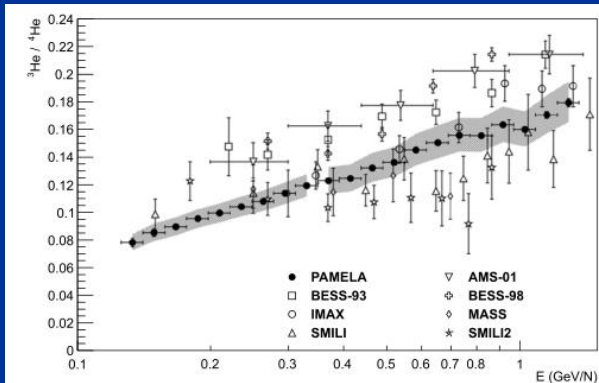


Figure 16. ^4He and ^3He absolute fluxes (top) and their ratio (bottom). For energies less than 350 MeV/n, the ToF results (Table 3) were used, and for higher energies the calorimeter results were used (Table 4). The previous experiments are AMS (Aguilar et al. 2011), BESS-93 (Wang et al. 2002), BESS-98 (Myers et al. 2003), IMAX (Reimer et al. 1998), SMILI-2 (Wefel et al. 1995), MASS (Webber et al. 1991), and SMILI-1 (Beatty et al. 1993). Error bars show statistical uncertainty, and shaded areas show systematic uncertainty.

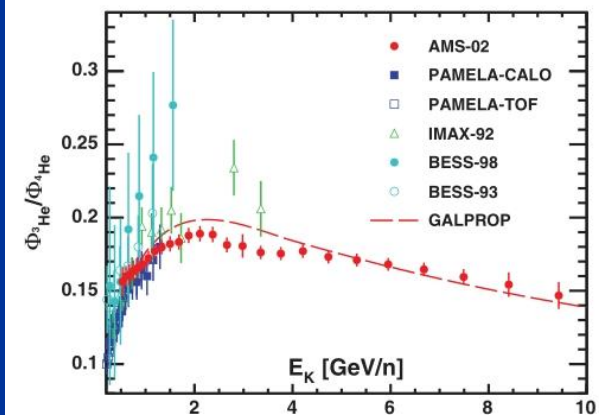
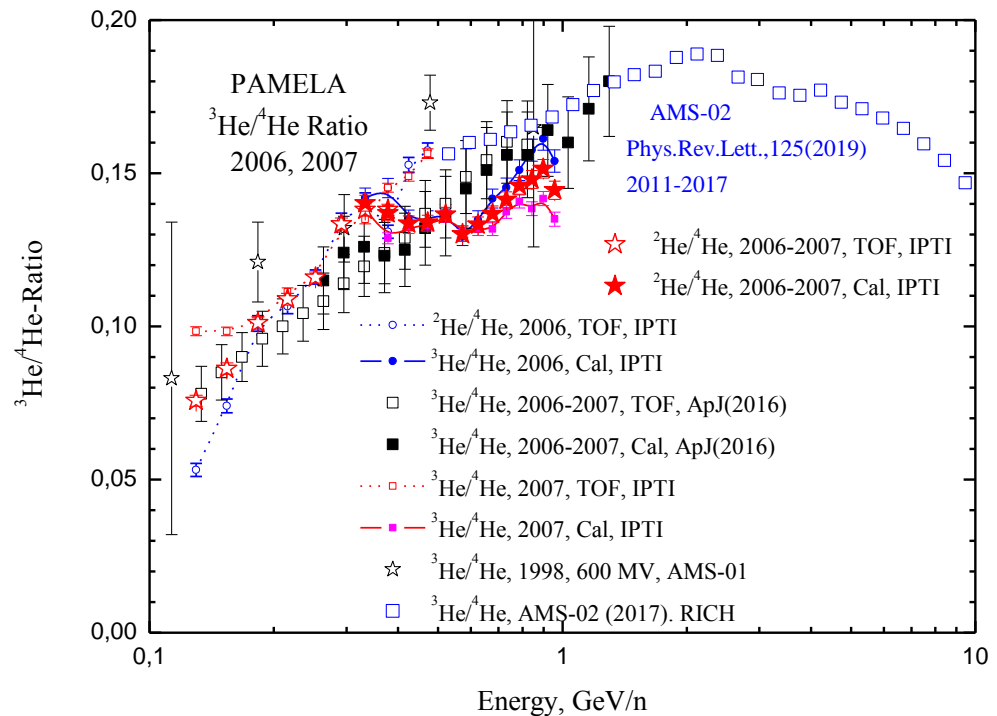


FIG. 3. The AMS $^3\text{He}/^4\text{He}$ ratio with total errors as a function of the kinetic energy per nucleon, together with earlier experiments [13]. The dashed line shows the prediction of the GALPROP model [29] with the average solar modulation, in the force-field approximation [30], corresponding to the data collection period.



Astrophys. J. (2016), ФТИ для 2006-2007
и AMS-02 для 2011-2017 (Phys.Rev.Lett.2019)

Стандартные методы и метод ФТИ для анализа изотопов. $^2\text{H}/^4\text{He}$ – отношение для 2006-2007

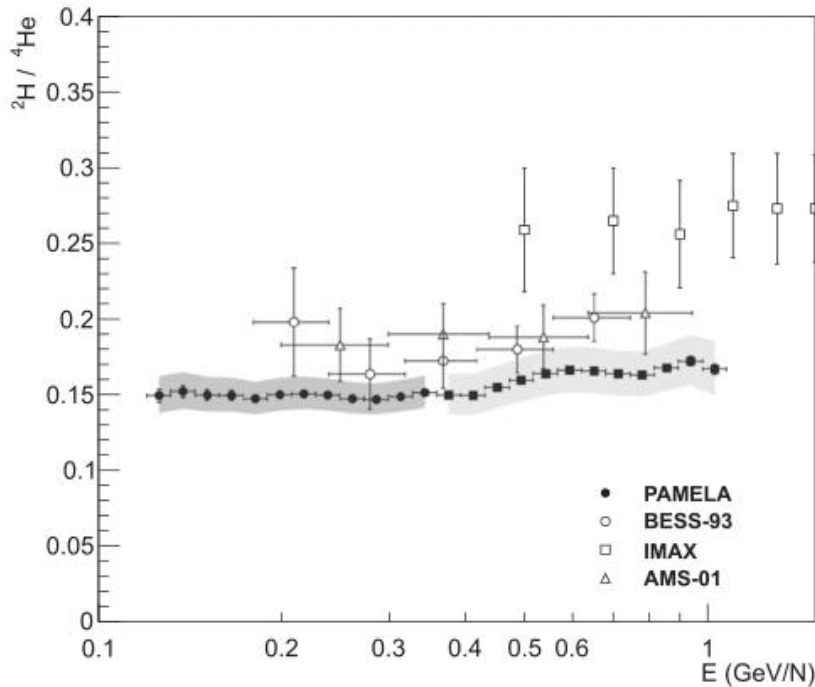
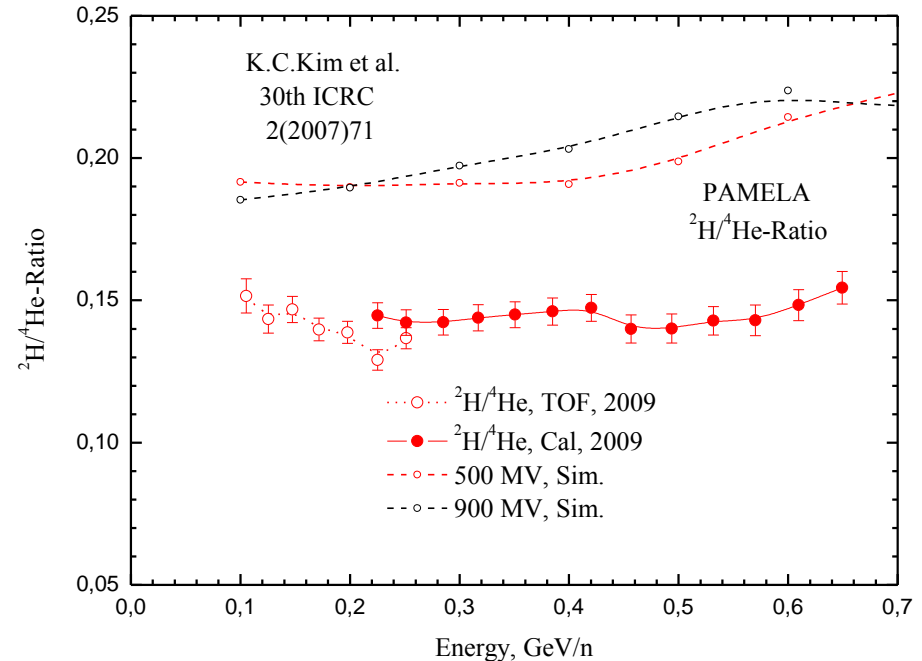


Figure 17. $^2\text{H}/^4\text{He}$ ratio compared to previous experiments: AMS-01 (Aguilar et al. 2011), BESS (Wang et al. 2002), and IMAX (de Nolfo et al. 2000). Error bars show statistical uncertainty, and shaded areas show systematic uncertainty.



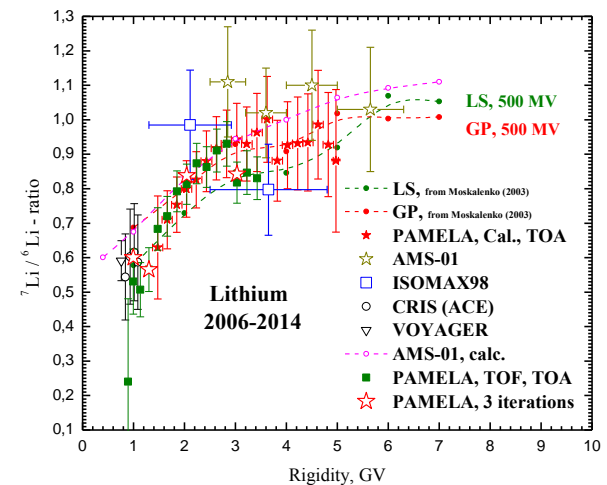
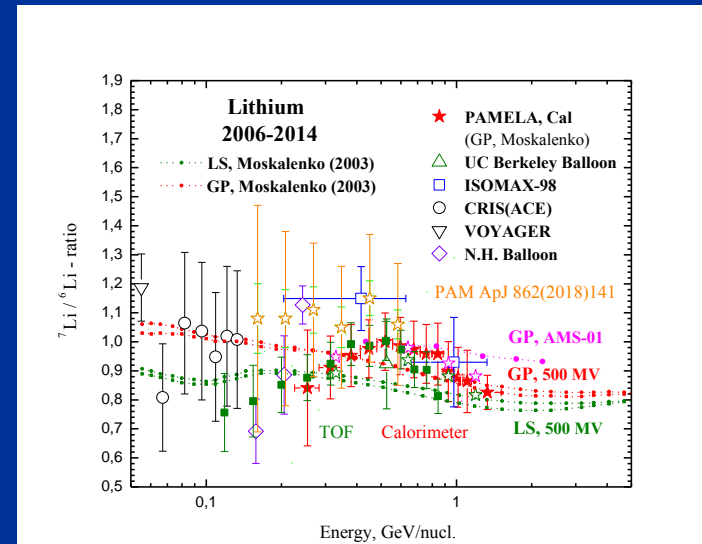
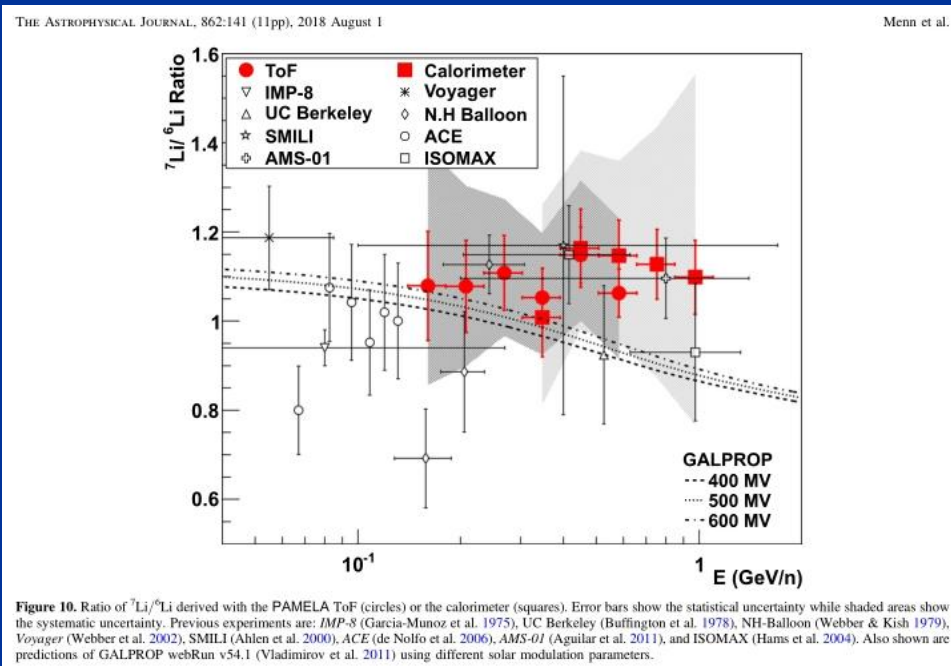
Astrophys. J. 818(2018)68

ФТИ, Phys.Atom.Nucl. 81(2018)390

Общий вывод: хорошее согласие результатов анализа изотопов H и He.
 NB. На графиках далее расчеты: GP - ГКЛ (GALPROP), LS - (Local Sources).

Стандартные методы и метод ФТИ для анализа изотопов Li.

${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ - отношение, 2018

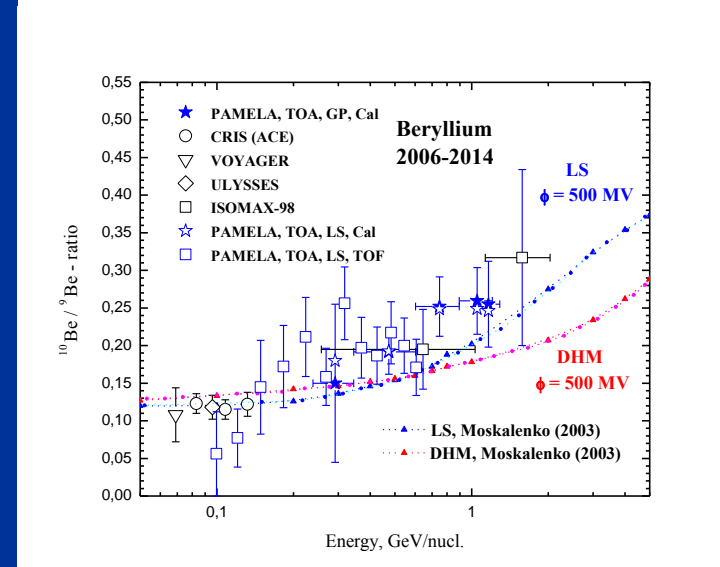
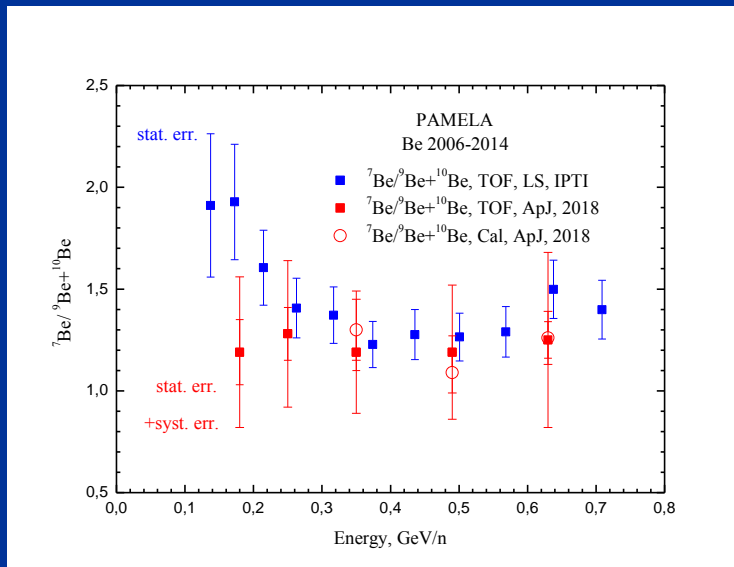
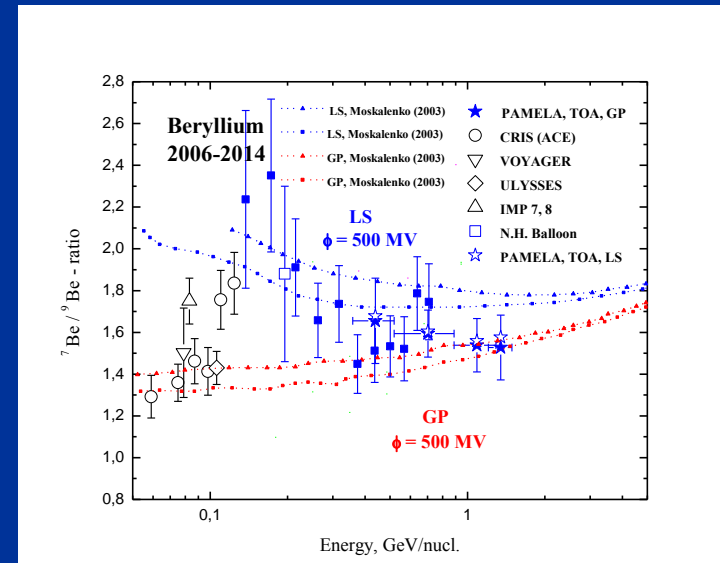
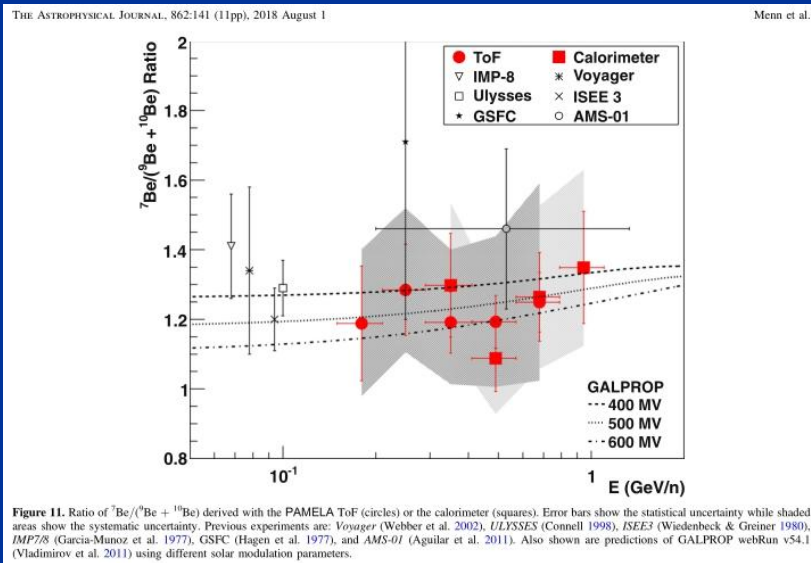


ApJ 862(2018)141 и ECRS/RCRC (2018).
 Результаты для ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ -отношения при
 стандартном подходе и анализе ФТИ.
 Вывод. Стандартные методы плохо
 работают в условиях плохой статистики...

Стандартный подход и анализ ФТИ изотопов Be.

$^7\text{Be}/^9\text{Be}$, $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ - отношения (2018)

Astrophys. J. 862(2018)141 и ECRS-RCRC/2018, Bull.Russ.Acad.Sci.:Phys.83(2019)967



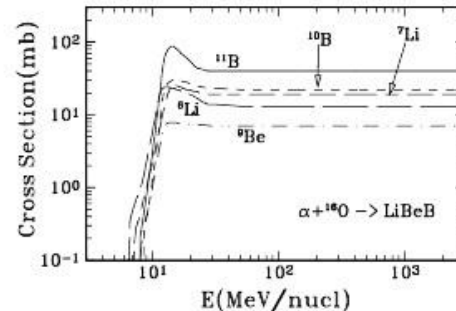
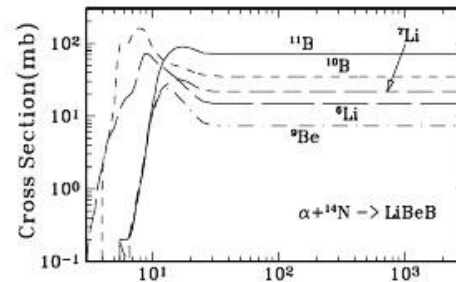
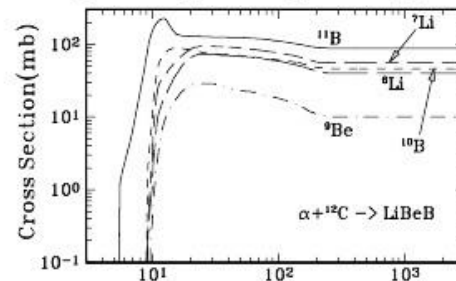
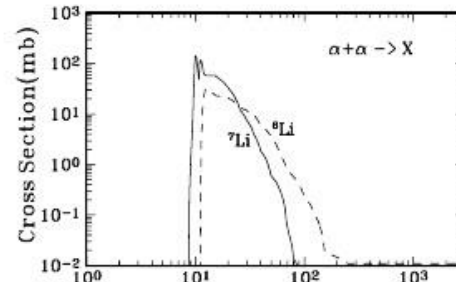
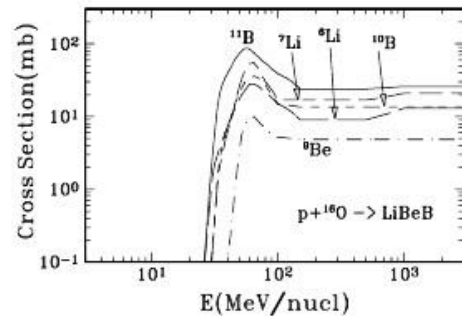
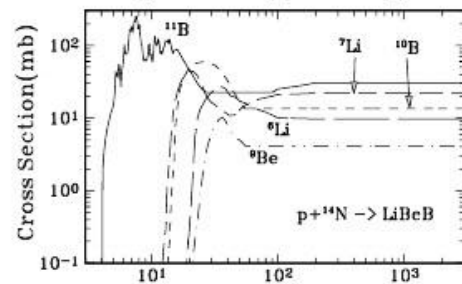
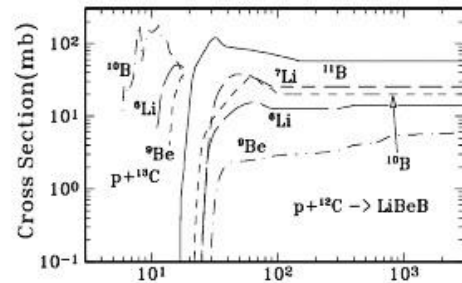


ИЗОТОПЫ ЛИТИЯ
В КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ

Происхождение изотопов Li, Be и B – ядерные реакции 1H и 4He на ядрах He, C, N, O

E. Vangioni-Flam et al.
astro-ph 990717

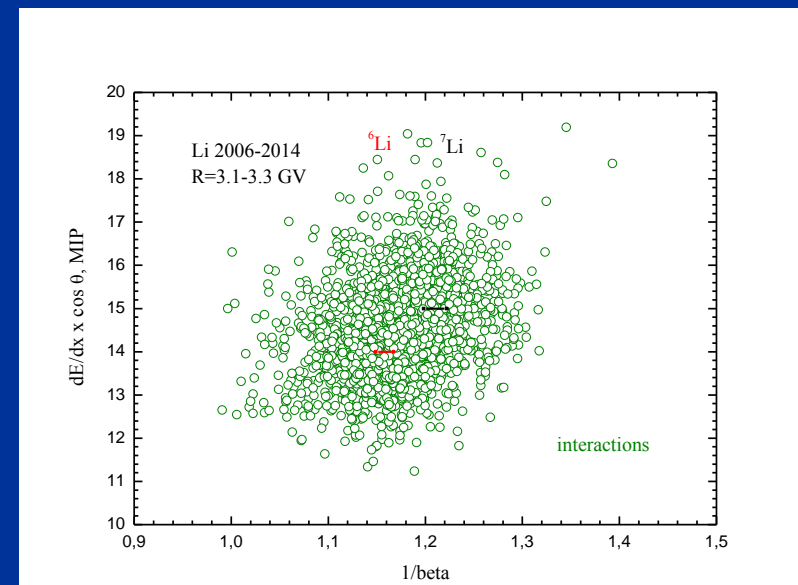
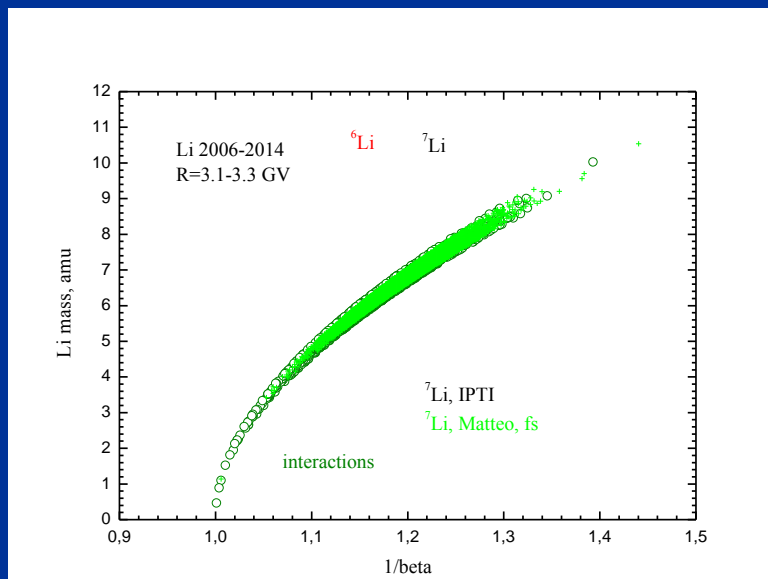
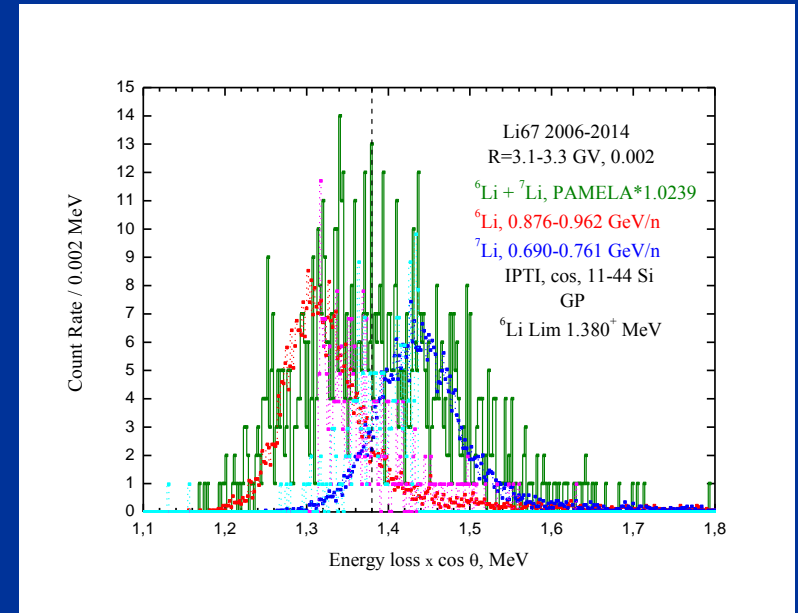
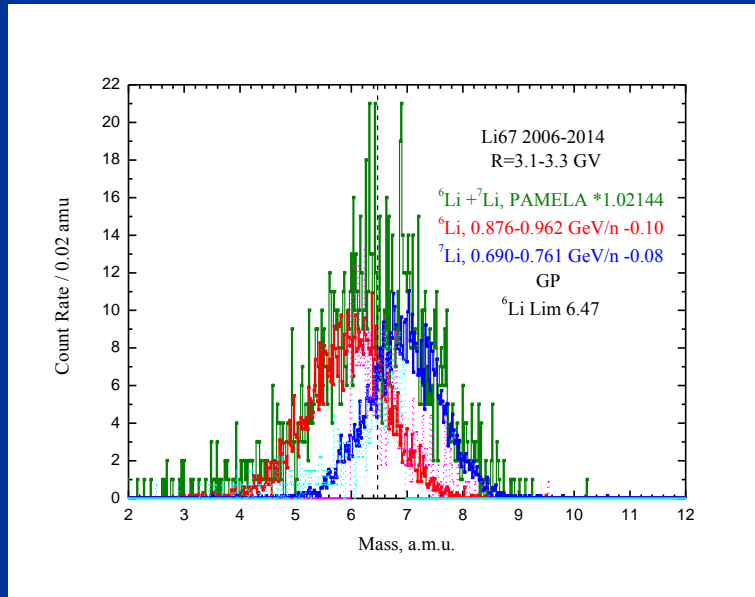
NB. 6Li, 7Li from He+He by
 $E = 10\text{-}100 \text{ MeV/nucleon}$.



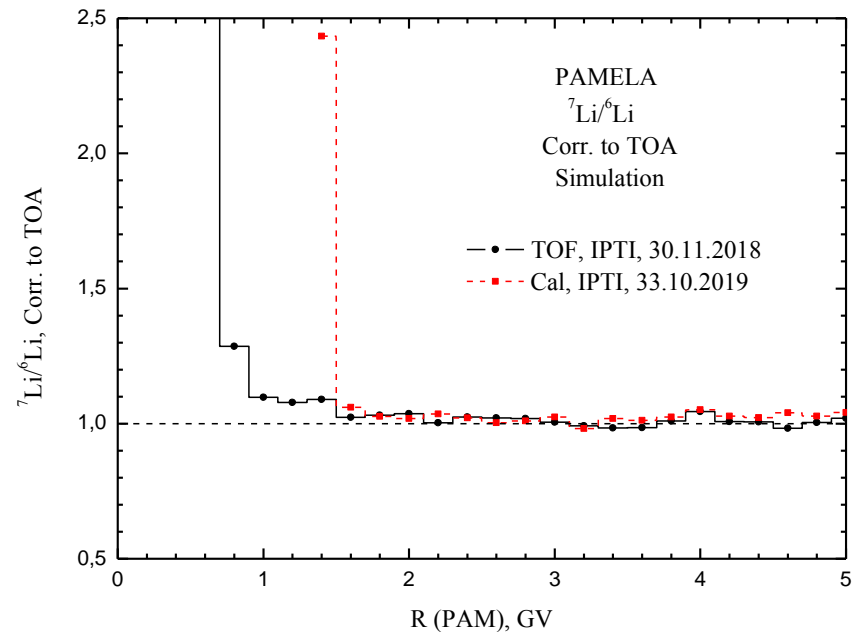
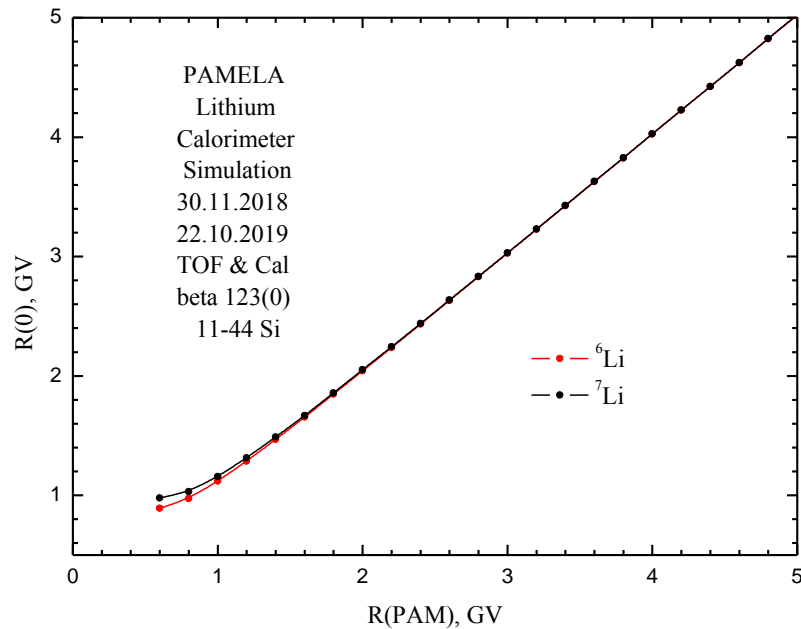
Reaction $^{12}\text{C} + \text{p} \rightarrow \dots$	$\sigma_{\text{spal}} \pm \Delta\sigma_{\text{spal}}$ (mb)
^{11}C	29.2 ± 2.5
^{10}C	3.6 ± 0.5
^9C	0.24 ± 0.05
^{12}B	0.12 ± 0.05
^{11}B	27.7 ± 0.7
^{10}B	12.3 ± 3.0
^8B	0.44 ± 0.04
^{10}Be	4.2 ± 0.6
^9Be	6.7 ± 0.9
^7Be	10.1 ± 1.3
^9Li	0.25 ± 0.06
^8Li	1.47 ± 0.23
^7Li	12.5 ± 1.8
^6Li	19.8 ± 2.7
^6He	0.87 ± 0.31
^4He	$159. \pm 21.$
^3He	24.8 ± 3.2
^3H	$88. \pm 31.$
^2H	$138. \pm 41.$
^1H	$143. \pm 42.$

Table 2: Cross sections of the fragmentation of ^{12}C on a proton target at 3.66 GeV/nuc (adapted from Korejwo *et al.*, 1999) [87].

6Li и 7Li распределения масс (TOF), dE/dx (Cal) при 3.1-3.3 GV (образцы). Статистика событий Li для анализа – 25284 с R(PAM) = 0.7-5.0 ГВ

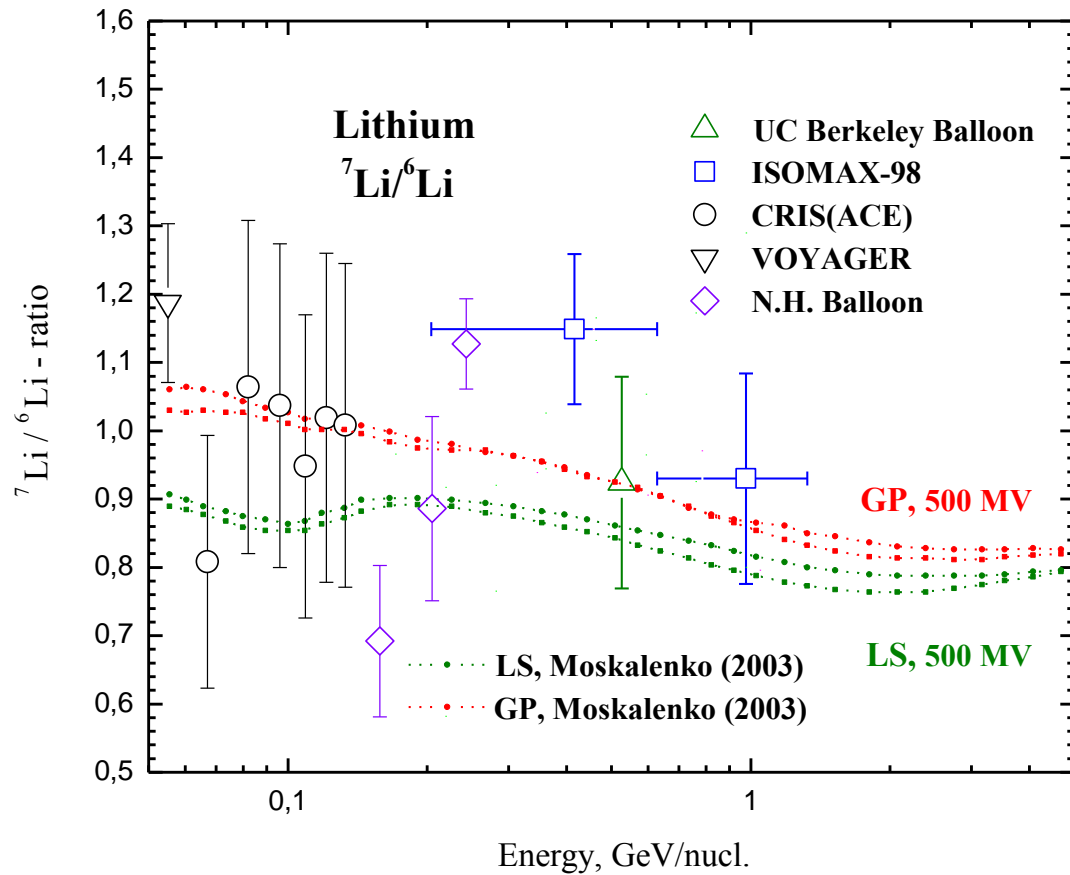


PAMELA. Коррекция данных Li к космическому пространству



NB. PAMELA может измерять ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ с $R(\text{TOA}) \sim 1.0$ GV

${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ E-отношение до PAMELA



${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ E-отношение, PAMELA в ArJ 862(2018)441

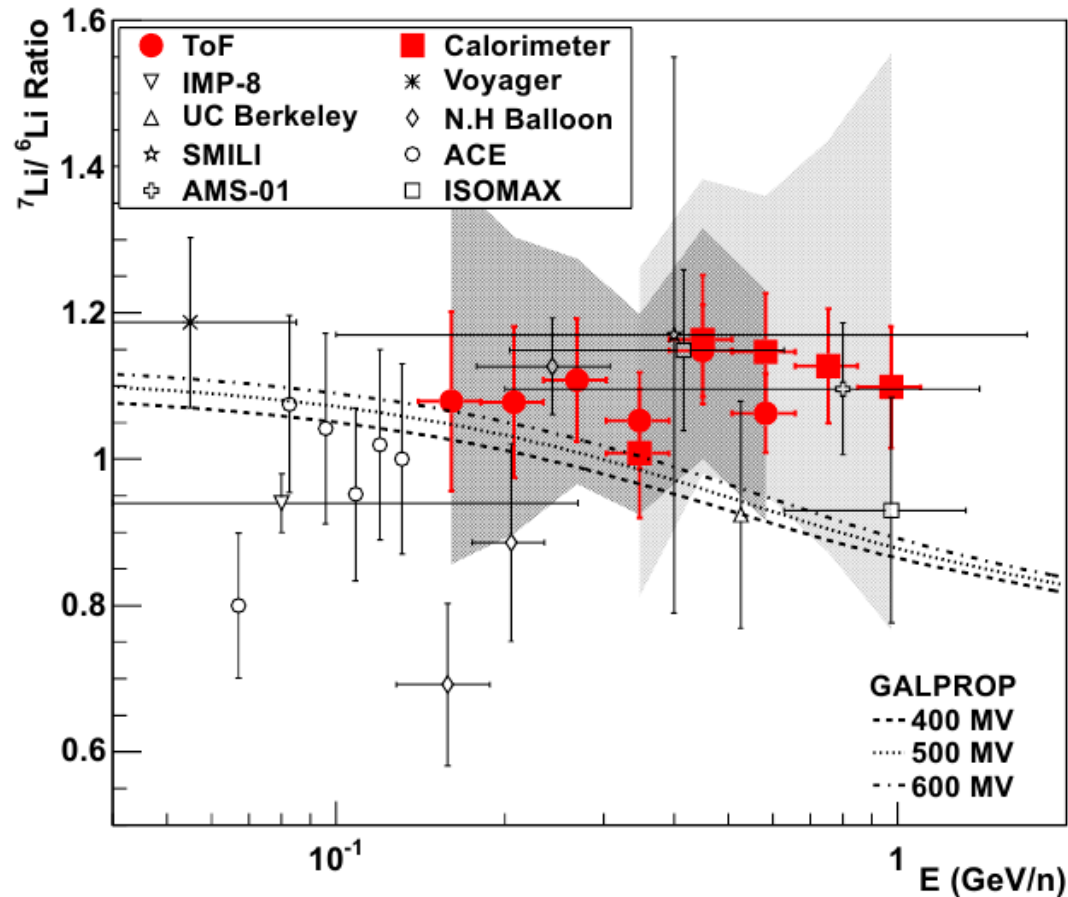
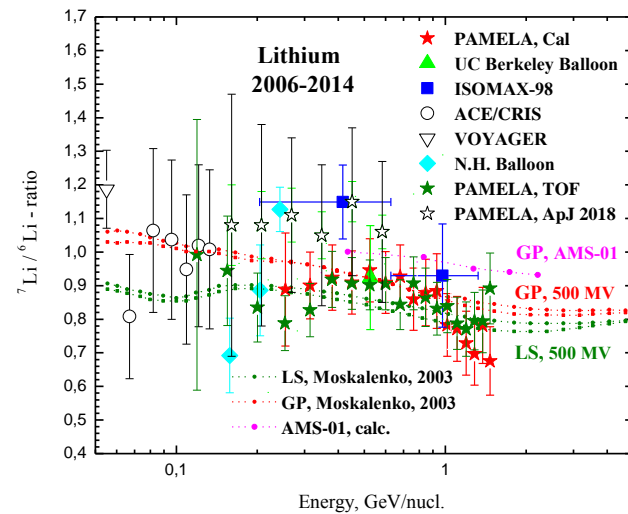
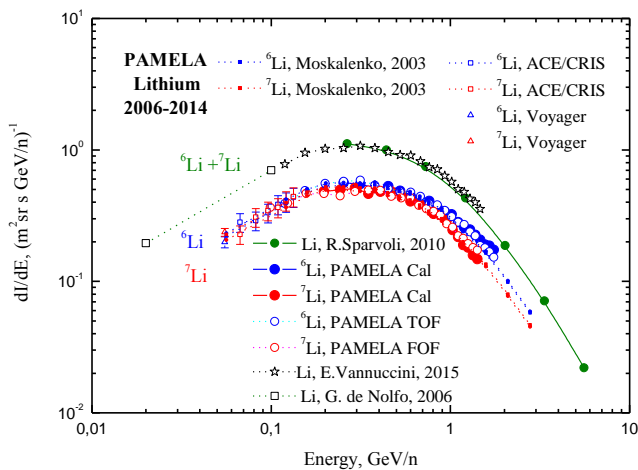
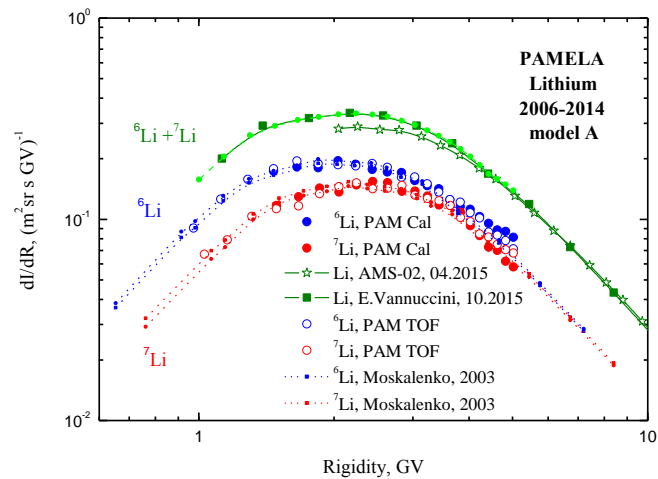
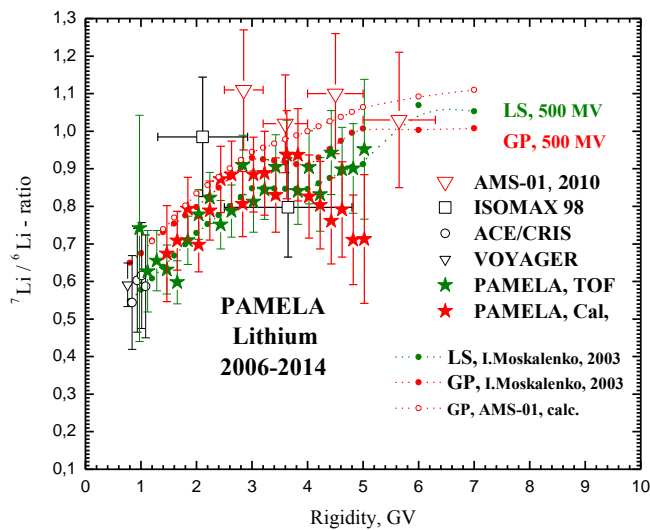


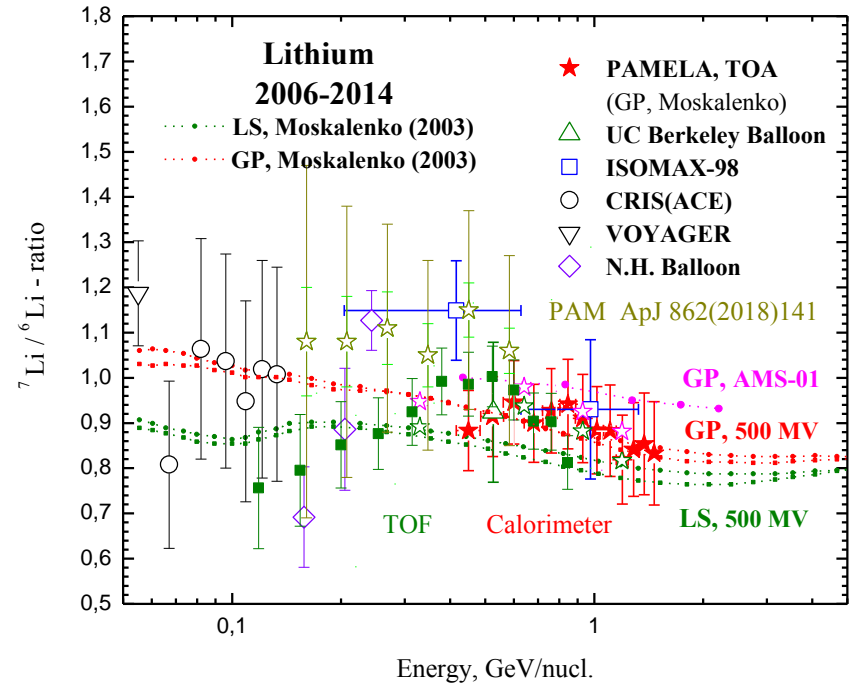
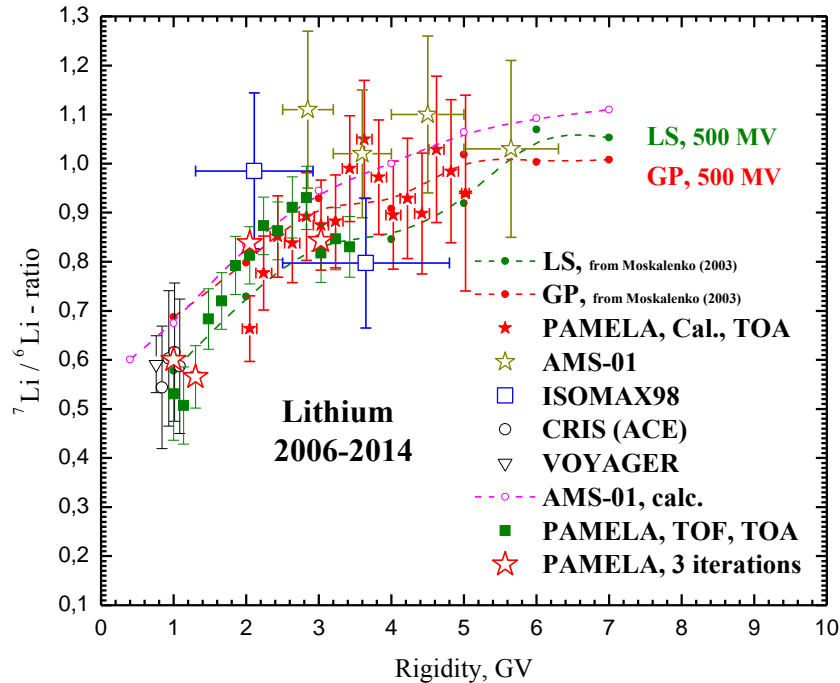
FIG. 10.— Ratio of ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ derived with the PAMELA ToF (circles) or the calorimeter (squares). Error bars show the statistical uncertainty while shaded areas show the systematic uncertainty. Previous experiments are: IMP-8 (Garcia-Munoz *et al.* 1975), UC Berkeley (Buffington *et al.* 1978), NH-Balloon (Webber & Kish 1979), Voyager (Webber *et al.* 2002), SMILI (Ahlen *et al.* 2000), ACE (de Nolfo *et al.* 2006), AMS-01 (Aguilar *et al.* 2011), ISOMAX (Hams *et al.* 2004). Also shown are predictions of GALPROP webRun v54.1 (Vladimirov *et al.* 2011) using different solar modulation parameters.

РАМЕЛА, $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ -отношения, R и E-спектры, 2006-2014 и Локальные Межзвездные Источники (предварительно, 2022)



РАМЕЛА, ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ -отношения, 2006-2014.

Гауссова аппроксимация. Bull. Russ, Acad, Sci. 83(2019)967

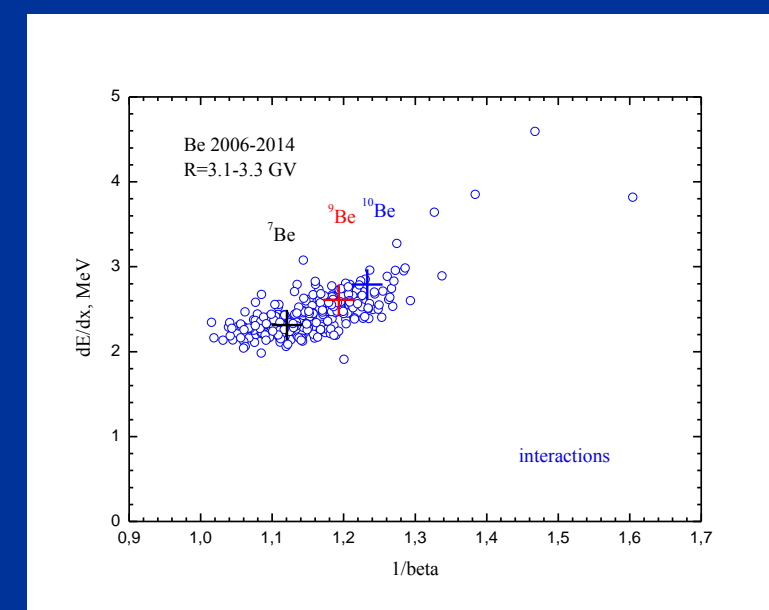
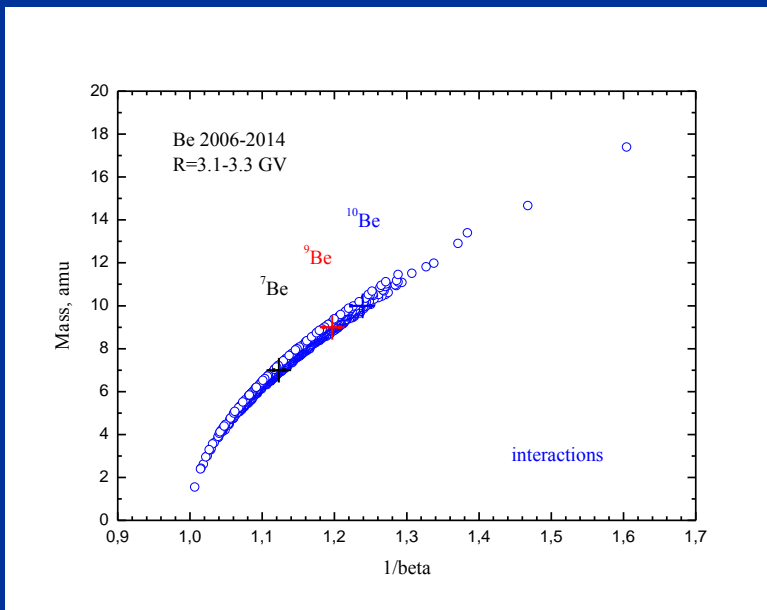
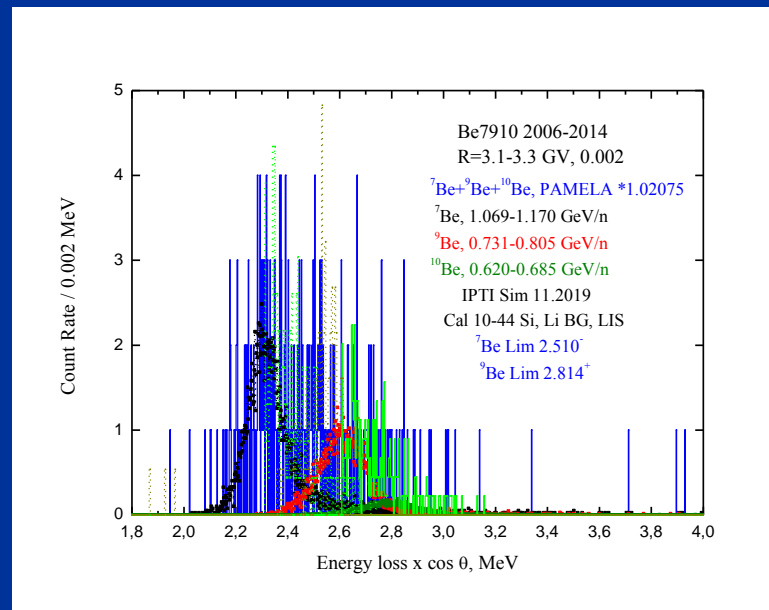
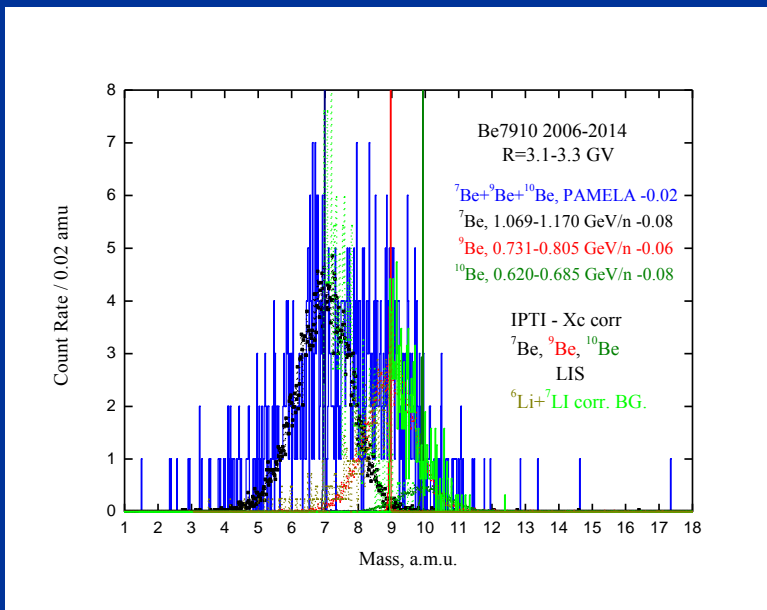


Заключение. ${}^7\text{Li}/{}^6\text{Li}$ при Гауссовой аппроксимации выше... Естественно...

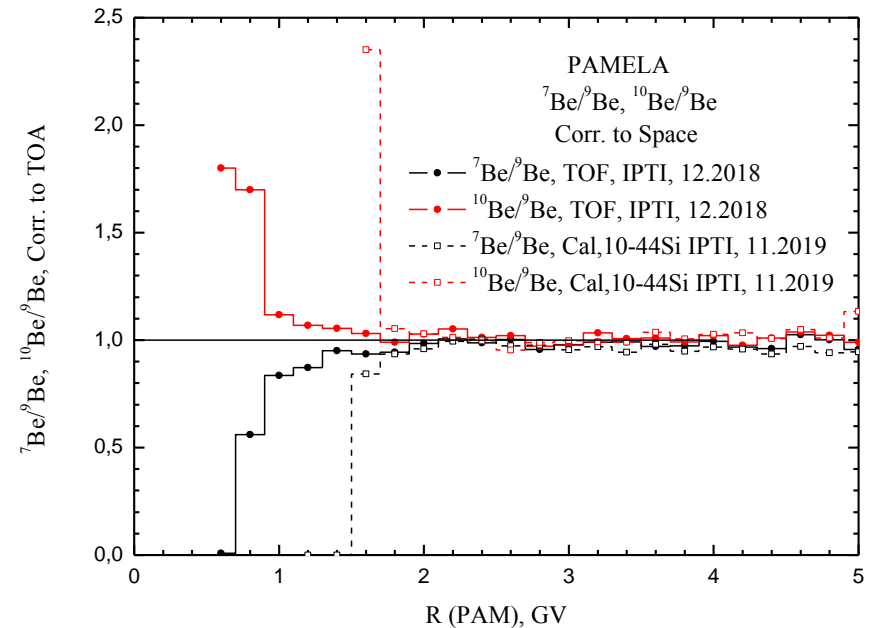
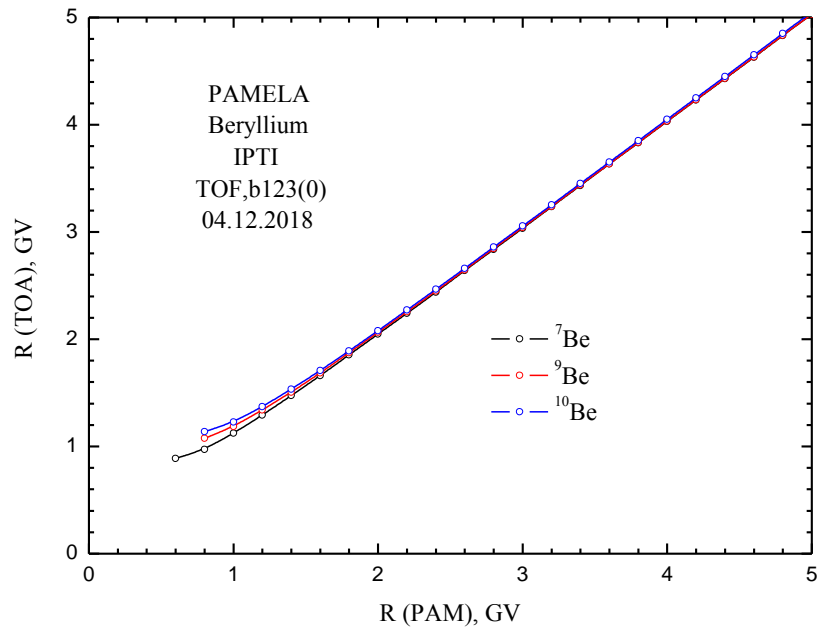


Изотопы бериллия
в космических лучах

7Be, 9Be и 10Be распределения масс (TOF), dE/dx (Cal) при 3.1-3.3 GV (примеры). Статистика событий Be для анализа – 13249 с R(РАМ) = 0.7-5.0 ГВ.

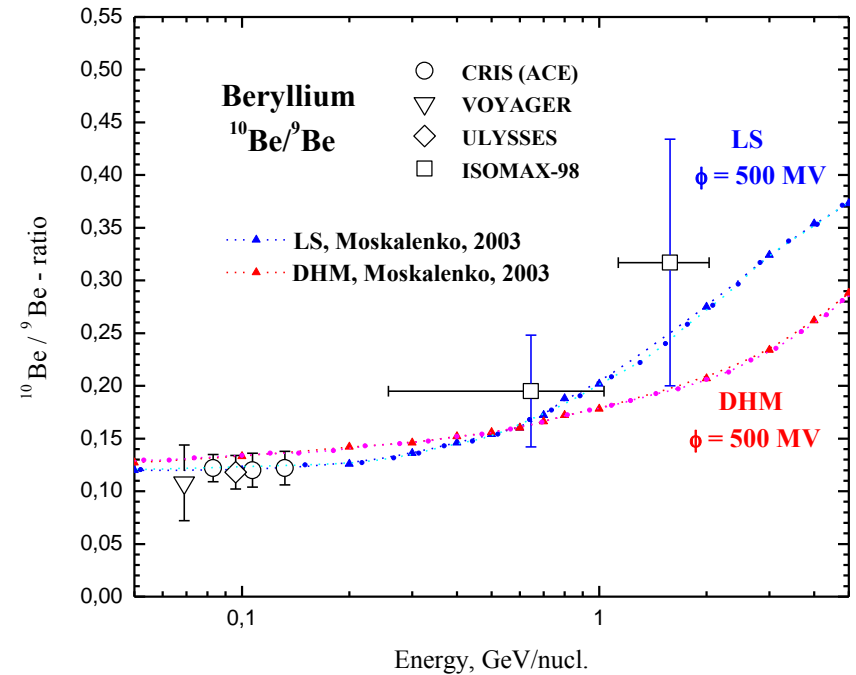
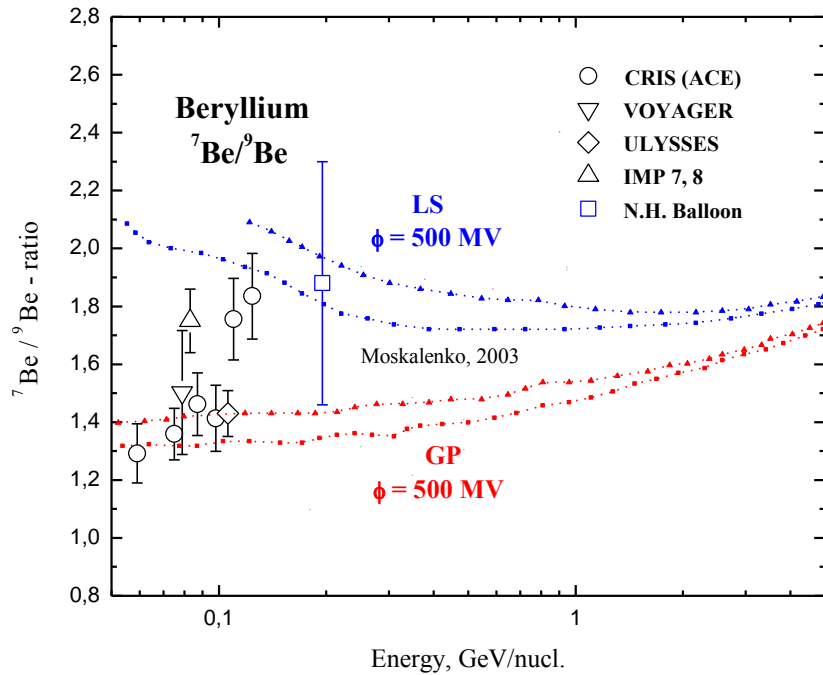


PAMELA. Коррекция данных Be к космическому пространству



NB. PAMELA может анализировать изотопы Be с R(TOA) ~ 1.0 ГВ

${}^7\text{Be}/{}^9\text{Be}$, ${}^{10}\text{Be}/{}^9\text{Be}$ E-отношения до РАМЕЛА



7Be/9Be+10Be E-отношение. PAMELA в ApJ 862(2018)441 и ФТИ

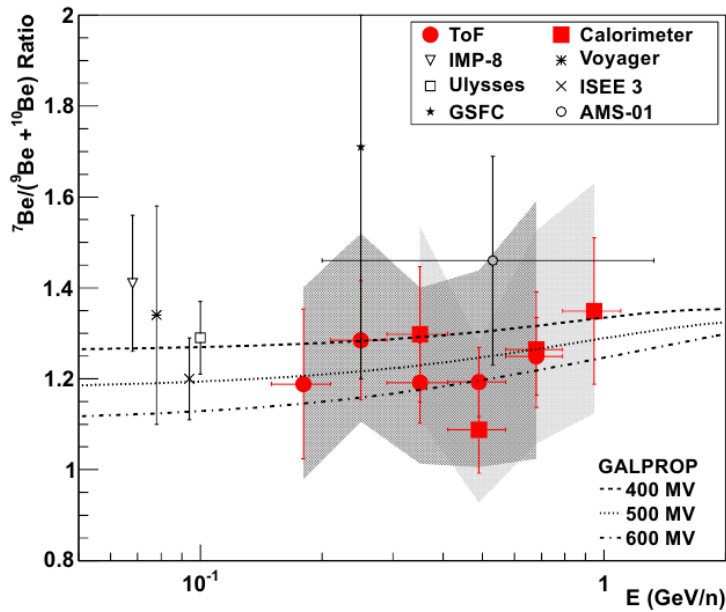
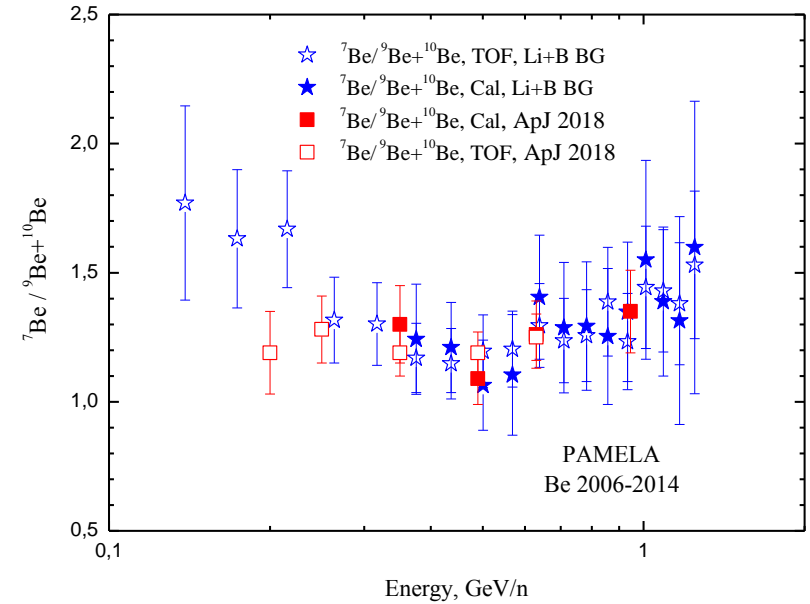


Fig. 11.— Ratio of ${}^7\text{Be}/({}^9\text{Be} + {}^{10}\text{Be})$ derived with the PAMELA ToF (circles) or the calorimeter (squares). Error bars show the statistical uncertainty while shaded areas show the systematic uncertainty. Previous experiments are: Voyager (Webber *et al.* 2002), ULYSSES (Connel 1998), ISEE3 (Wiedenbeck & Greiner 1980), IMP7/8 (Garcia-Munoz *et al.* 1977), GSFC (Hagen *et al.* 1977), AMS-01 (Aguilar *et al.* 2011). Also shown are predictions of GALPROP webRun v54.1 (Vladimirov *et al.* 2011) using different solar modulation parameters.

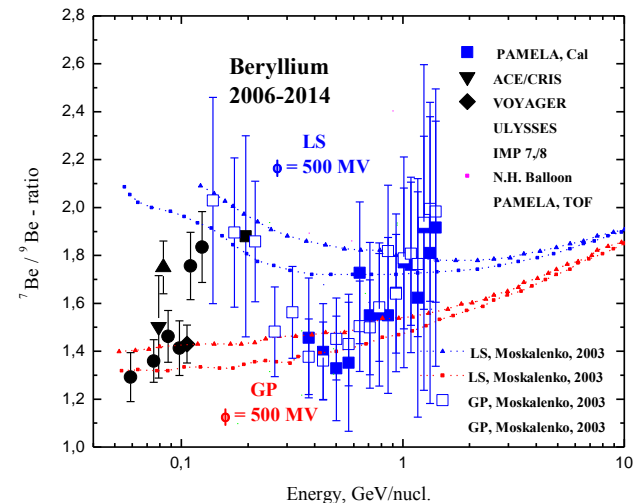
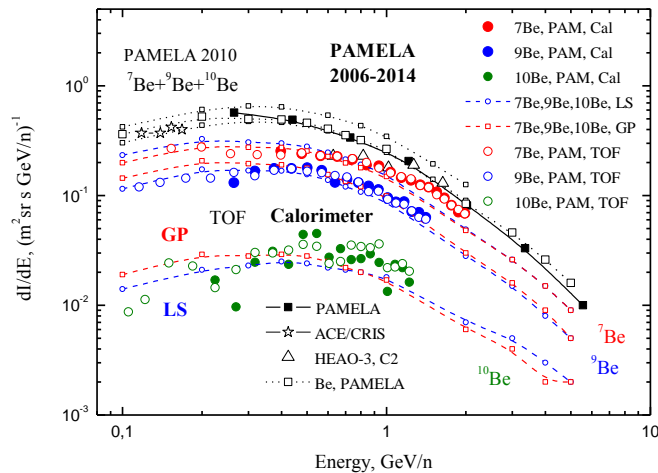
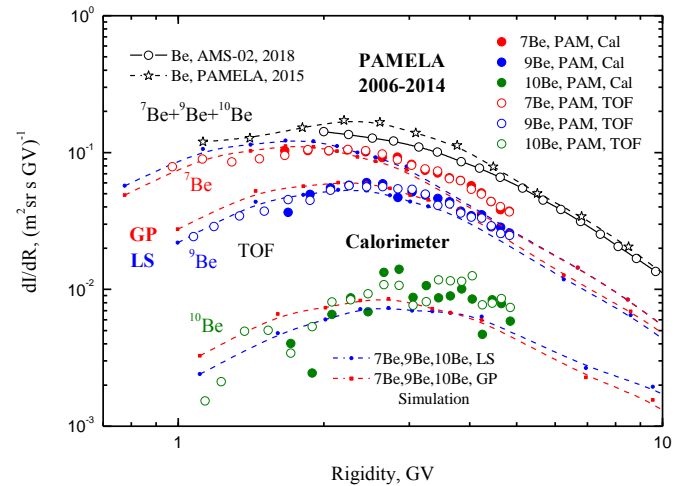
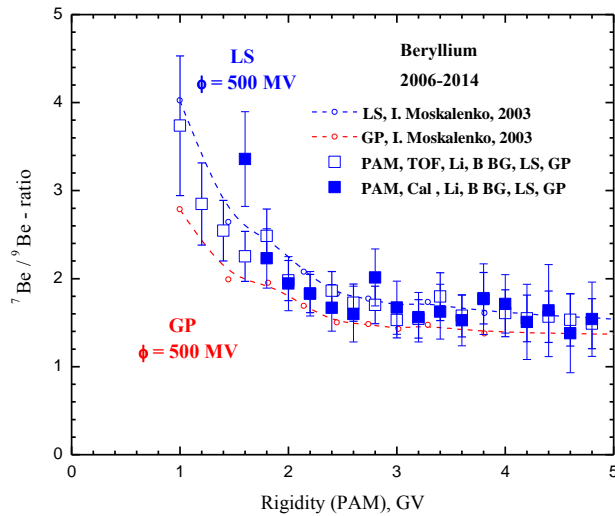


Astrophys.J. 862(2018)441

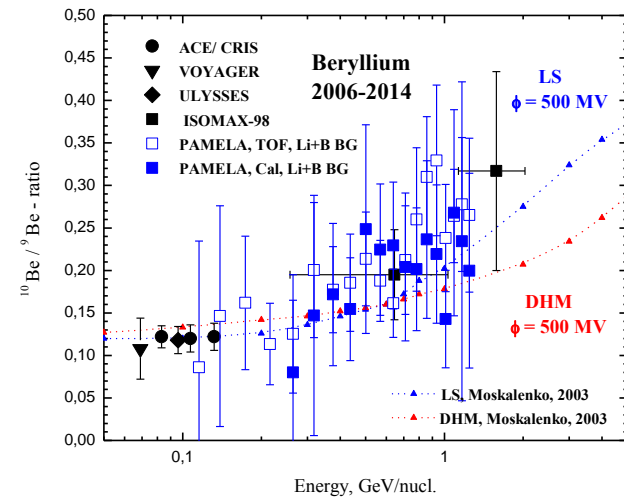
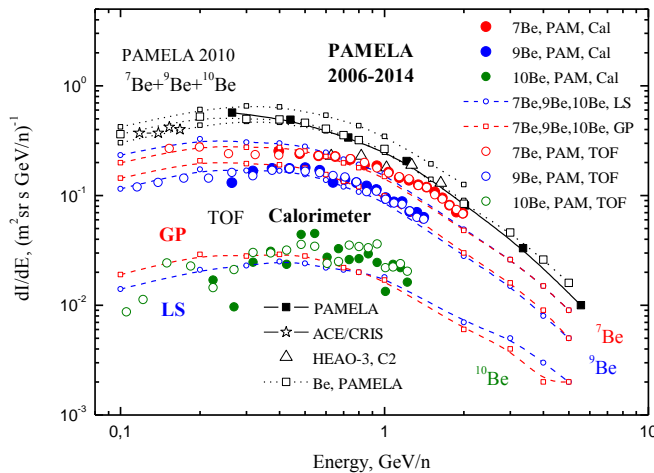
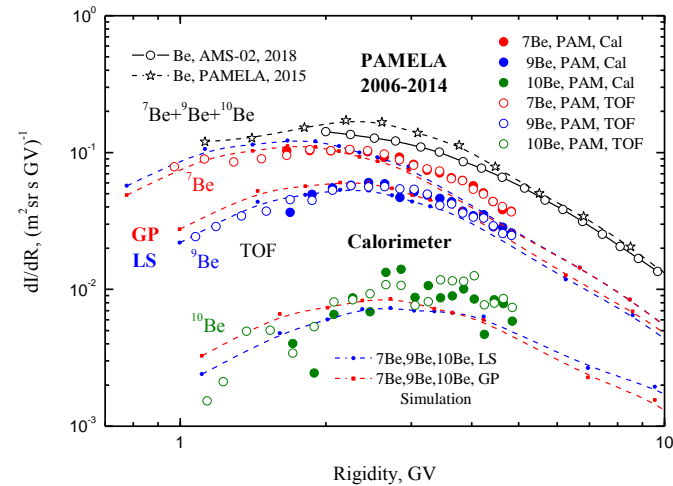
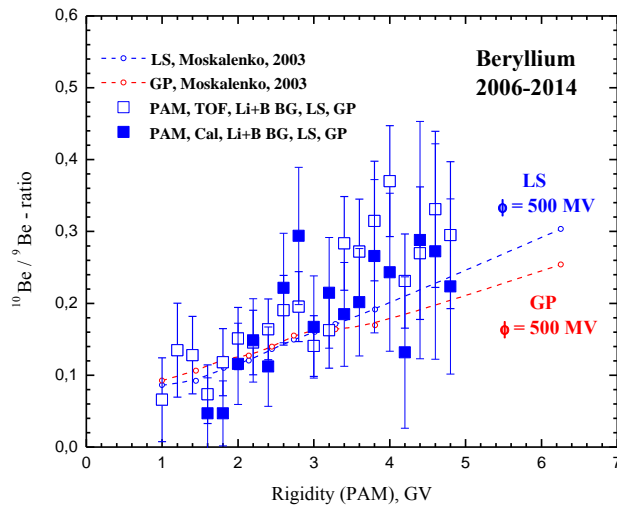
Данные ФТИ для ${}^7\text{Be}/({}^9\text{Be}+{}^{10}\text{Be})$

Хорошее согласие данных ${}^7\text{Be}/({}^9\text{Be}+{}^{10}\text{Be})$ при использовании разных методов.

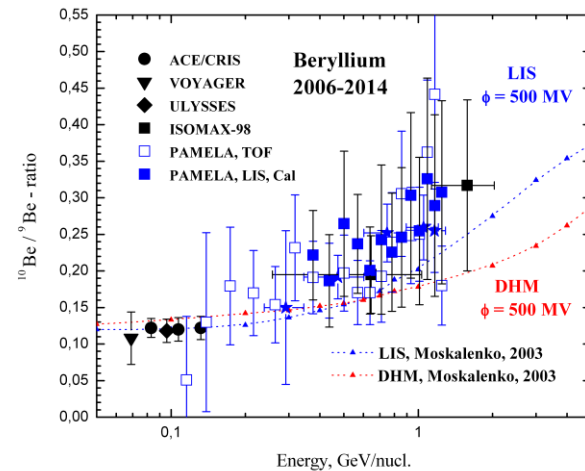
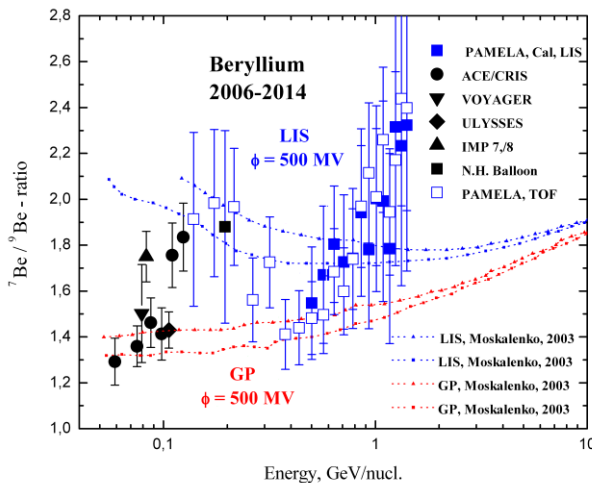
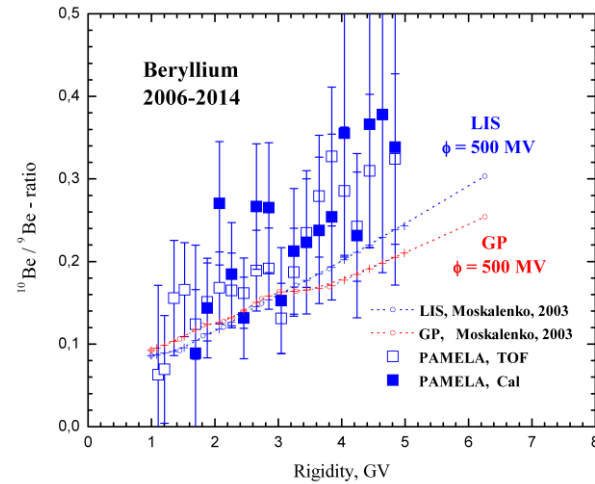
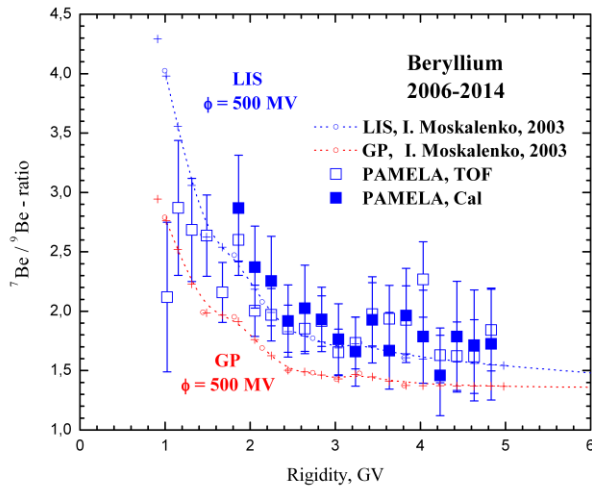
РАМЕЛА, 7Be/9Be-отношение, R и E-спектры, 2006-2014 и Локальные Межзвездные Источники (предварительно, 2022)



PAMELA, $^{10}\text{Be}/^9\text{Be}$ -отношение, R и E-спектры, 2006-2014 и Локальные Межзвездные Источники (предварительно, 2022)



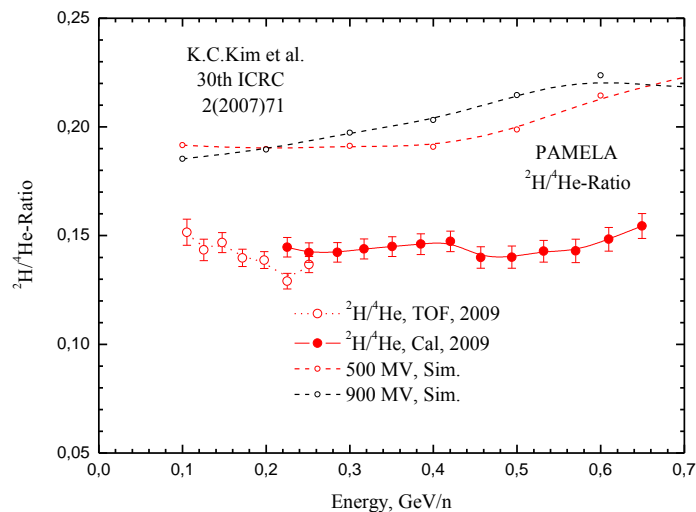
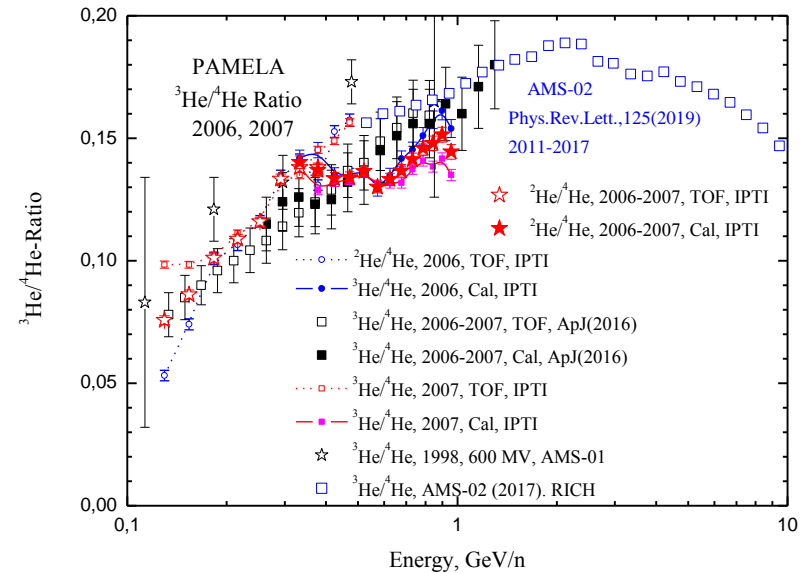
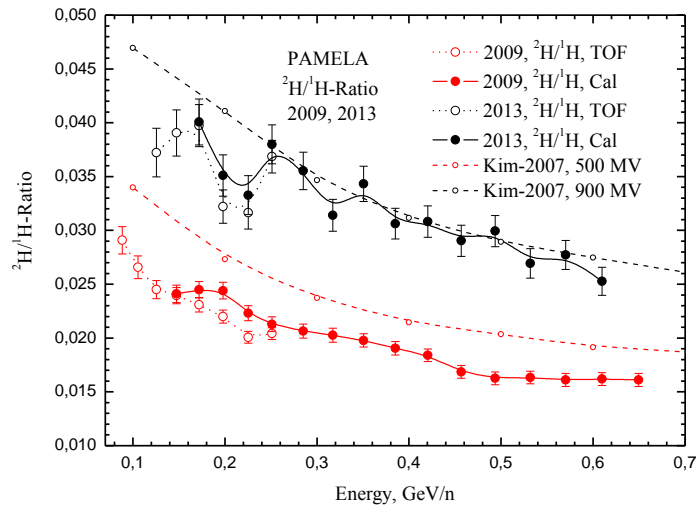
РАМЕЛА, $7\text{Be}/9\text{Be}$ и $10\text{Be}/9\text{Be}$ -отношения, 2006-2014. Гауссова аппроксимация. J. Phys.: Conf. Ser.2103(2021)012011



Заключение. При Гауссовой аппроксимации $7\text{Be}/9\text{Be}$, $10\text{Be}/9\text{Be}$ выше... Естественно. .

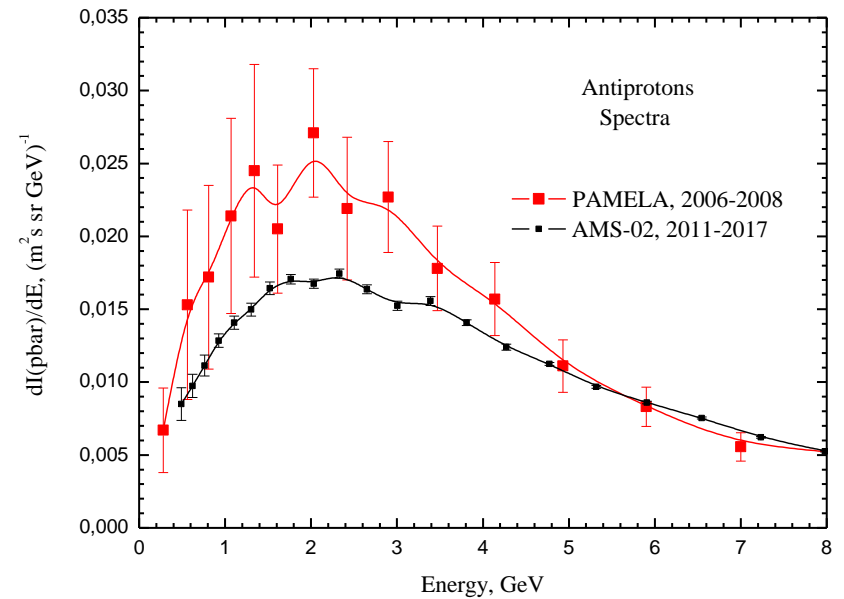
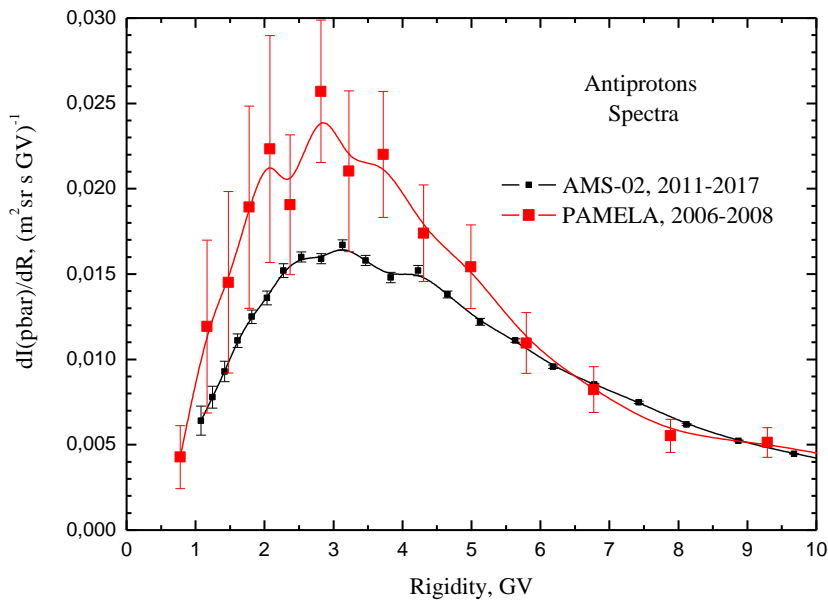
Снова о Локальных Источниках...

РАМЕЛА, $2\text{H}/1\text{H}$, $3\text{He}/4\text{He}$, $2\text{H}/4\text{He}$ E- отношения и Локальные Межзвездные Источники



Данные $2\text{H}/1\text{H}$, $3\text{He}/4\text{He}$, $2\text{H}/4\text{He}$ отношений в сравнении с ГКЛ из GALPROP данных также может указывать на существование Локальных Источников изотопов H и He... ‘Волны’ ?

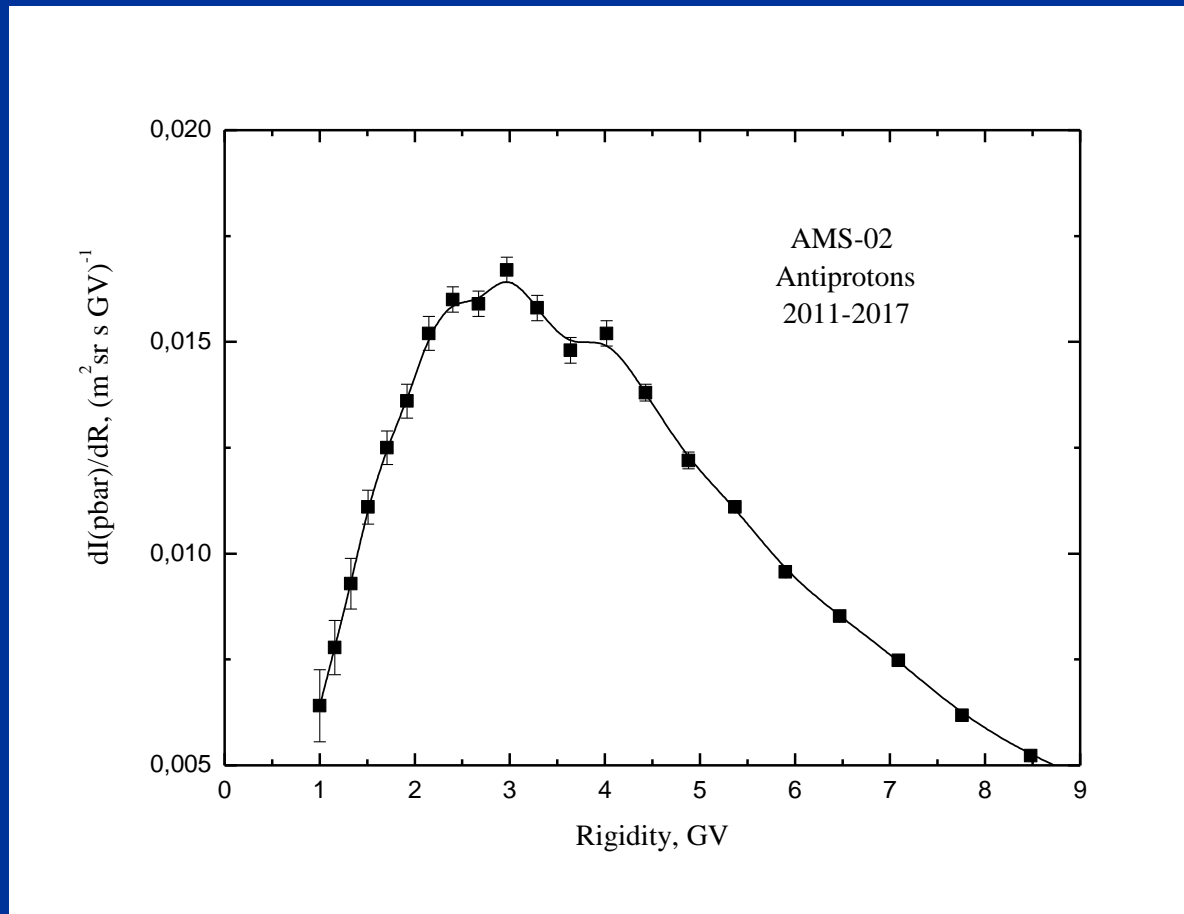
PAMELA и AMS-02. Антипротоны и Локальные Источники?



PAMELA. Phys. Rev. Lett. 105(2010)121101.

AMS-02. Phys. Rep. 894(2021)1-116, supplemental material and data.

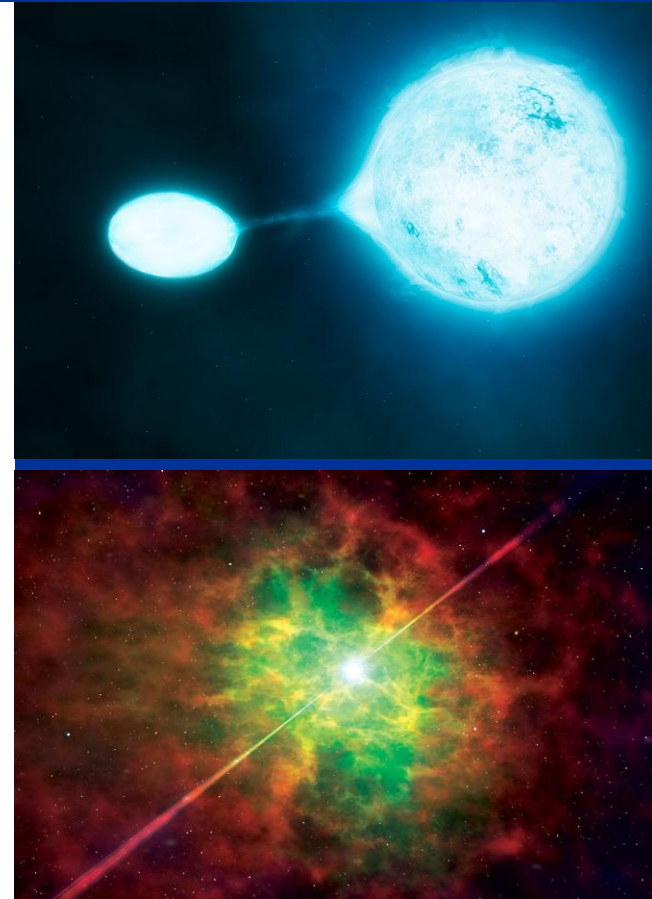
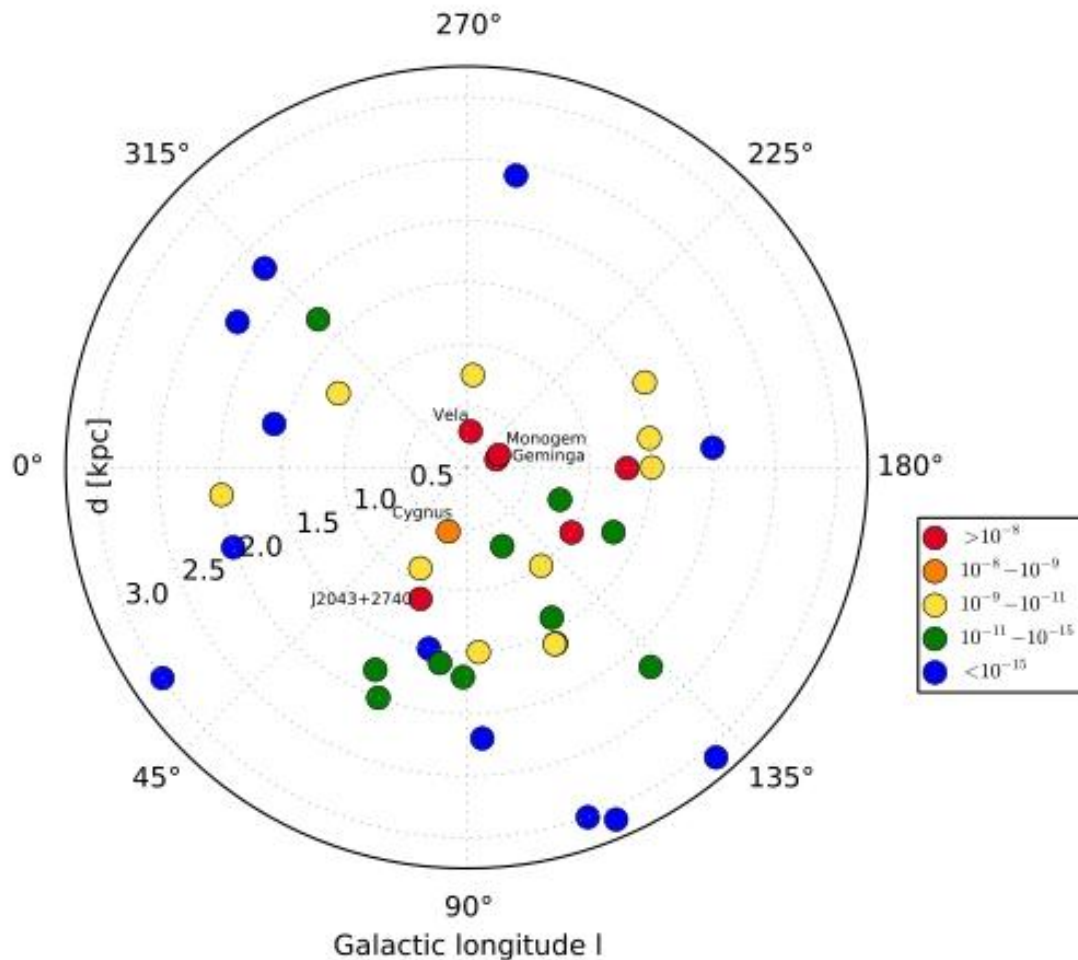
AMS-02, антипротоны и Локальные Источники?



Phys. Rep. 894(2021)1-116, supplemental material and data.

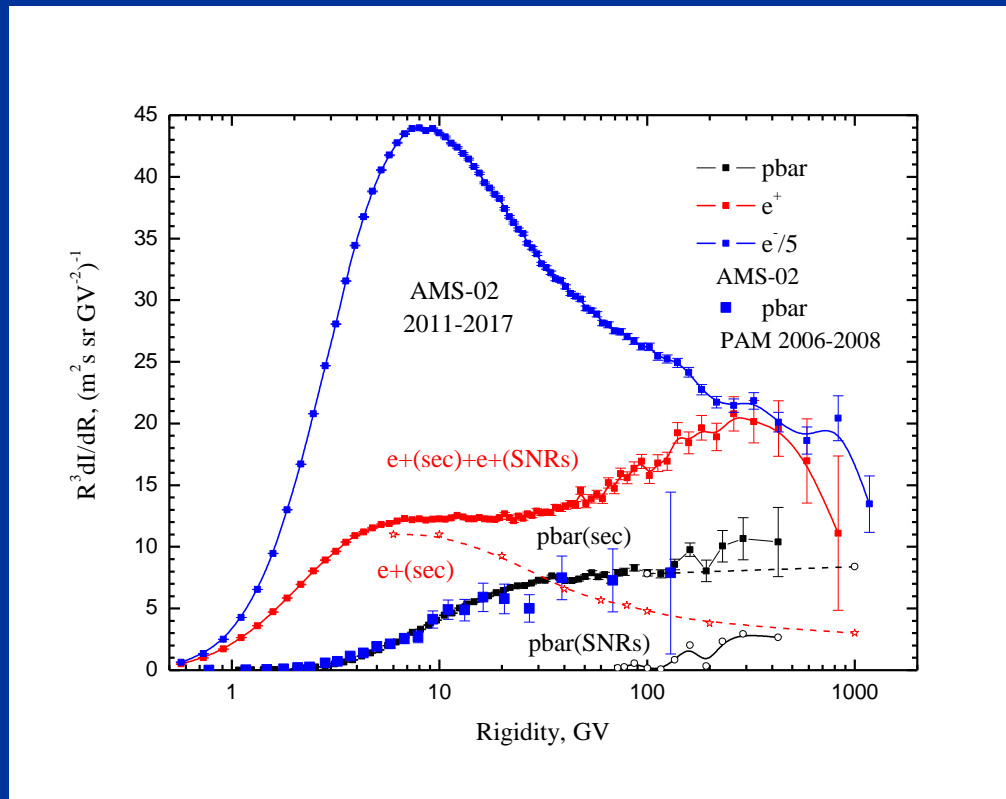
SNRs and PWN are Local Interstellar Sources?

(Solar Modulation and Dark Matter Workshop, 14-19 Nov. 2021, Trieste)



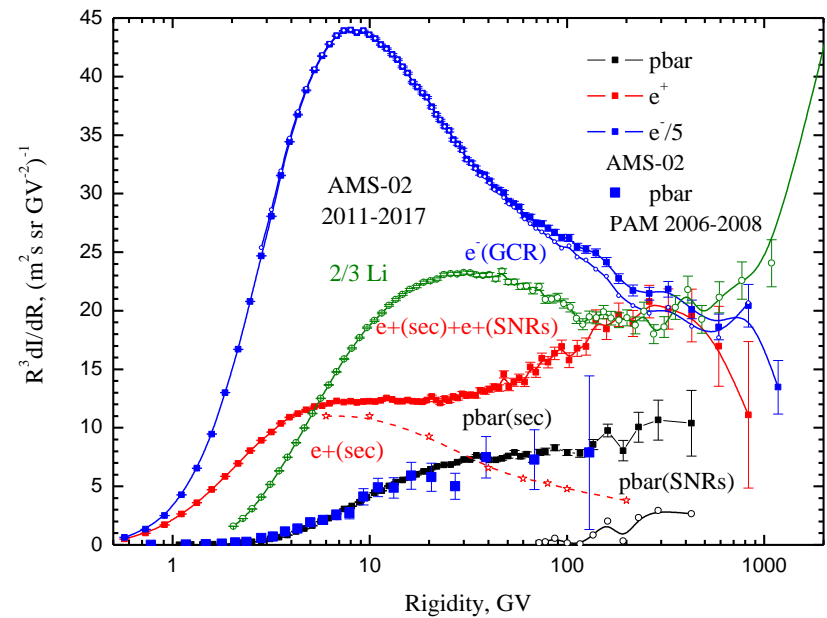
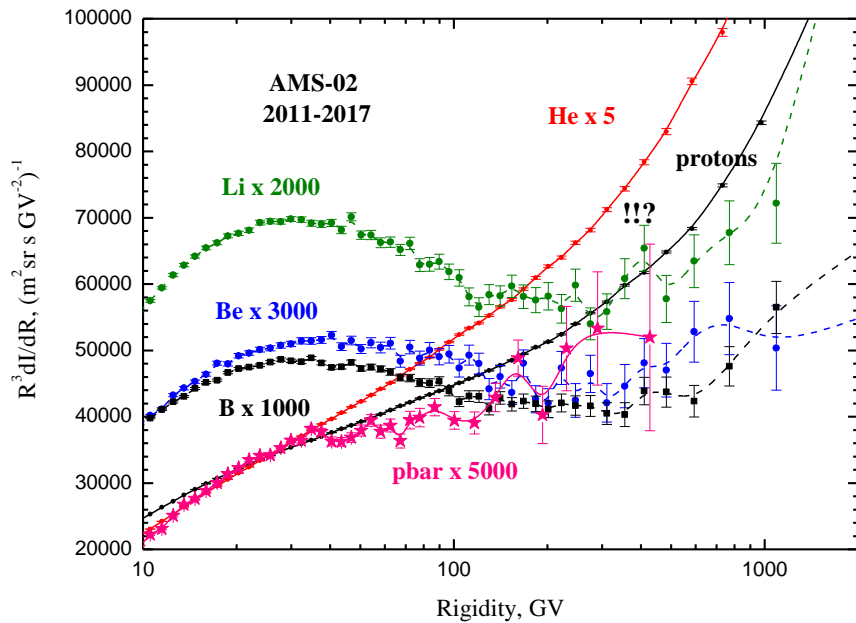
Also PWN: PSR J1741-2054, PSR B1929+10, PSR B0823+26, PSR B1133+16 ?
(A.E Petrov et al. Phys.:Conf. Ser.1697(2020)012002)

AMS-02. Позитроны, антипротоны и SNRs?



Спектры e^- , e^+ и антипротонов вероятно указывают на корреляцию “волн” и существование ~ 3 Локальных Источников в SNRs и процессов в них. ...
Возможно также генерируются изотопы ядер... $R_{\text{pbar}}/e^+(\lt 400 \text{ GV}) \sim 0.06$, т.е. значительно меньше, чем в ГКЛ от взаимодействий с межзвездной средой... .
AMS-02 Phys. Rep. 894(2021)1-116, supplemental material and data.
NB. ФТИ, генерация e^+ , e^- пар в SNRs J. Phys.:Conf. Ser. 1697(2020)012002.

AMS-02. Протоны, He, Li, Be, B pbar, e+, e- и Локальные SNRs?



Спектры Li, Be, B, pbar, e+, e- вероятно указывают на корреляцию “волн”, существование Локальных Источников в SNRs и процессов в них при $R > 50-100$ ГВ. Интересно совмещение спектров ядер с спектрами e+, e- и антипротонов... Вероятно корреляция «волн» обусловлена взаимодействиями в SNRs и pbar, e+ AMS-02 не связаны с DM...

(AMS-02. Phys. Rep. 894(2021)1-116, supplemental material and data.)

Заключение

Результаты нашего предварительного анализа полетных данных PAMELA 2006-2014 гг. для изотопов Li и Be в Космических Лучах (КЛ) могут указывать на присутствие дополнительного низкоэнергетического компонента предположительно из Локальных Источников, таких как близкие SNRs... Отклонения от предсказаний GALPROP для галактических КЛ наблюдаются для отношений $7\text{Li}/6\text{Li}$ и $7\text{Be}/9\text{Be}$ в областях $\sim 0,1\text{—}0,4$ и $0,7\text{—}1,4$ ГэВ/н или $\sim 1\text{--}2$ и $\sim 3,5\text{--}5$ ГВ. Отклонения могут достигать $\sim 30\text{--}40\%$ и вряд ли связаны со статистическими флуктуациями. Отклонения отношения $10\text{Be}/9\text{Be}$ от предсказаний наблюдаются в областях $\sim 0,5\text{--}0,7$ и $\sim 0,8\text{--}1,3$ ГэВ/н или $2,4\text{--}3$ и $\sim 3,2\text{--}5$ ГВ. Данные для изотопов H, He и, возможно, антипротонов также могут указывать на подобные «волны» отклонений при жесткостях до 5 ГВ... В области высоких жесткостей свыше $\sim 50\text{--}100$ ГВ также наблюдается корреляция возрастаний («волн») потоков e^+ , e^- , антипротонов, ядер Li, Be, B.. Наряду с взаимодействием ГКЛ с остатками сверхновых, окрестности пульсаров вероятно являются и дополнительными источниками изотопов ядер. Будущий анализ изотопов Li и Be с хорошей статистикой, собранной AMS-02 и HELIX, вероятно позволит оценить расстояние до Локальных Источников КЛ, их возраст и, возможно, даже идентифицировать их... Очевидно, что в разных частях Галактики вклад Локальных Источников будет разным, в том числе и основным.

Азарта, Нетерпения, Радости Познания и
всего Доброго из Санкт-Петербурга. :~)



Спасибо.

Per aspera ad astra...