

# ЗАВИСИМОСТЬ МОДУЛЯЦИИ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ОТ ЗНАКА ЗАРЯДА ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТА РАМЕЛА

Мухин П. Е. 

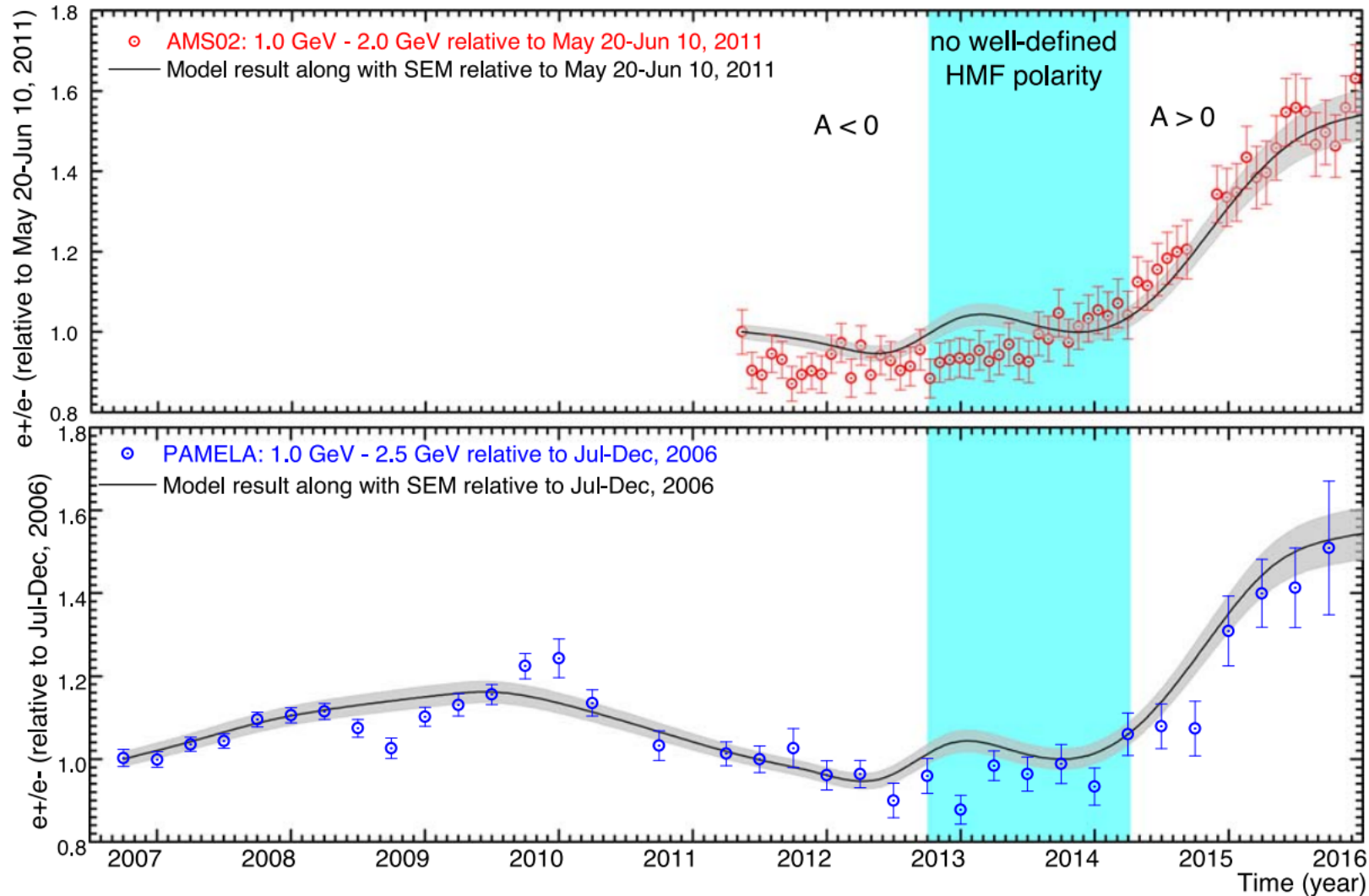
Михайлов В. В.

Михайлова А. В.



НИЯУ МИФИ + коллаборация РАМЕЛА

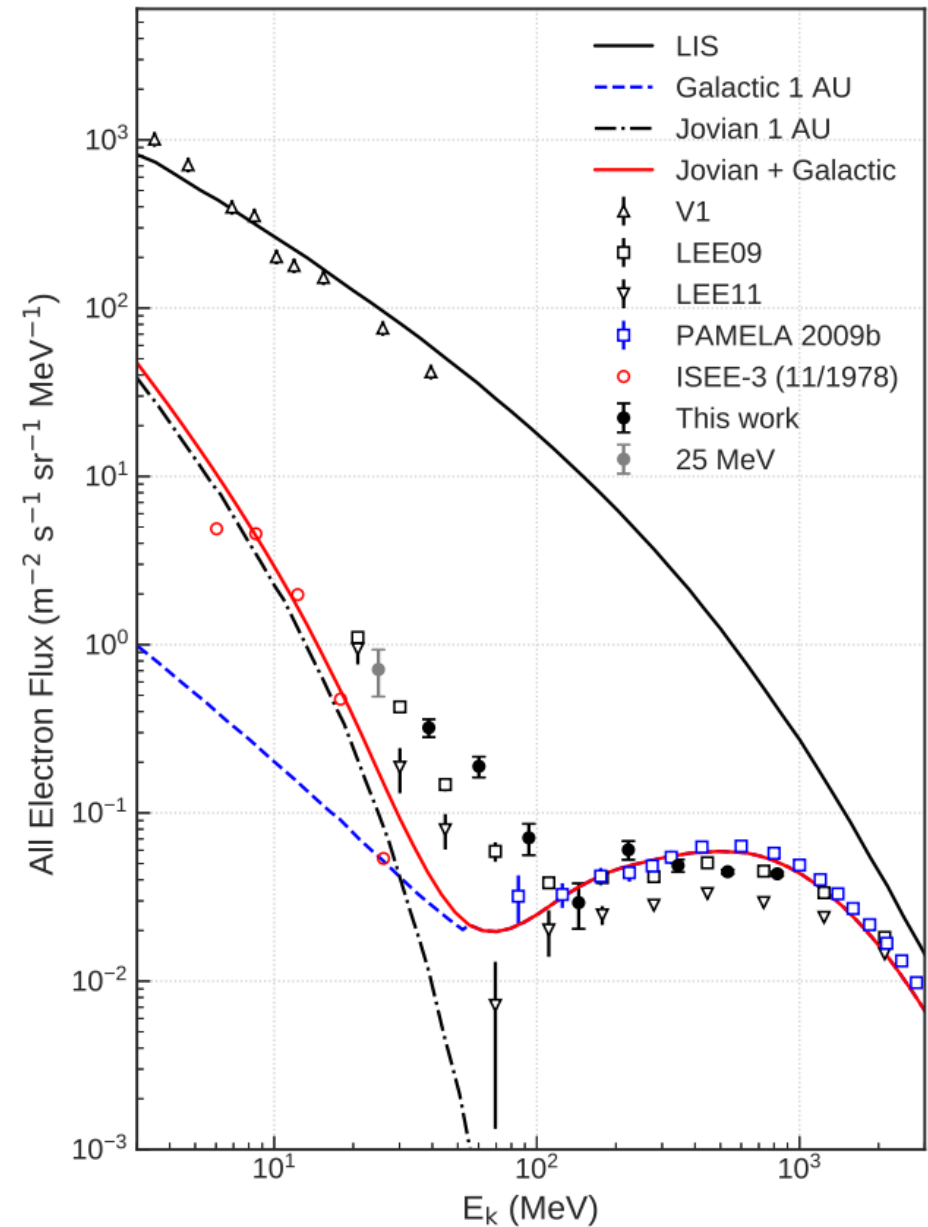
# ОТНОШЕНИЯ ПОТОКОВ $>1$ ГЭВ



- ApJ 909:215 (2021)
- для работ по моделированию требуются данные до 1 ГэВ

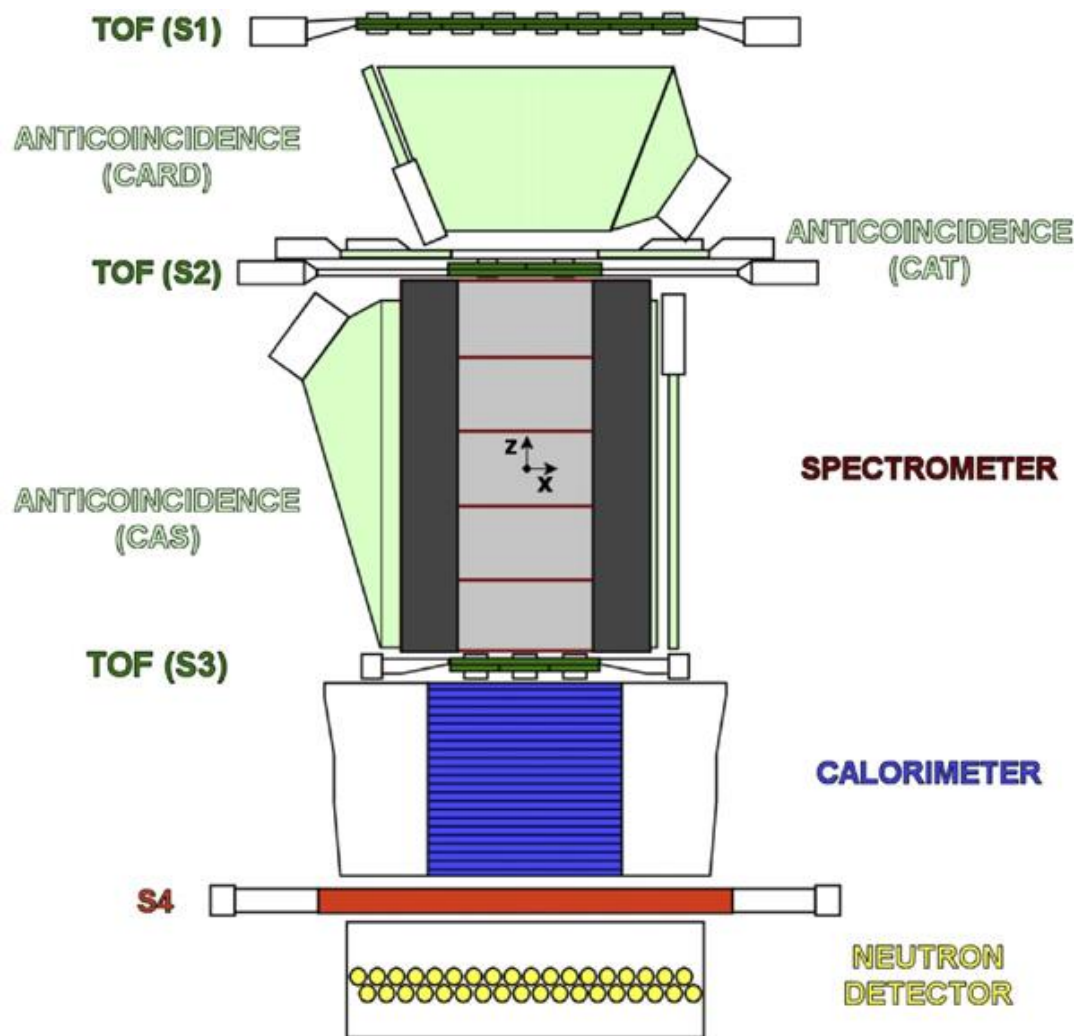
# МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ

- ApJ 903:21 (2020, AESOP)
- требуются данные после 2009 г. и при более низких энергиях



# PAMEL

## A



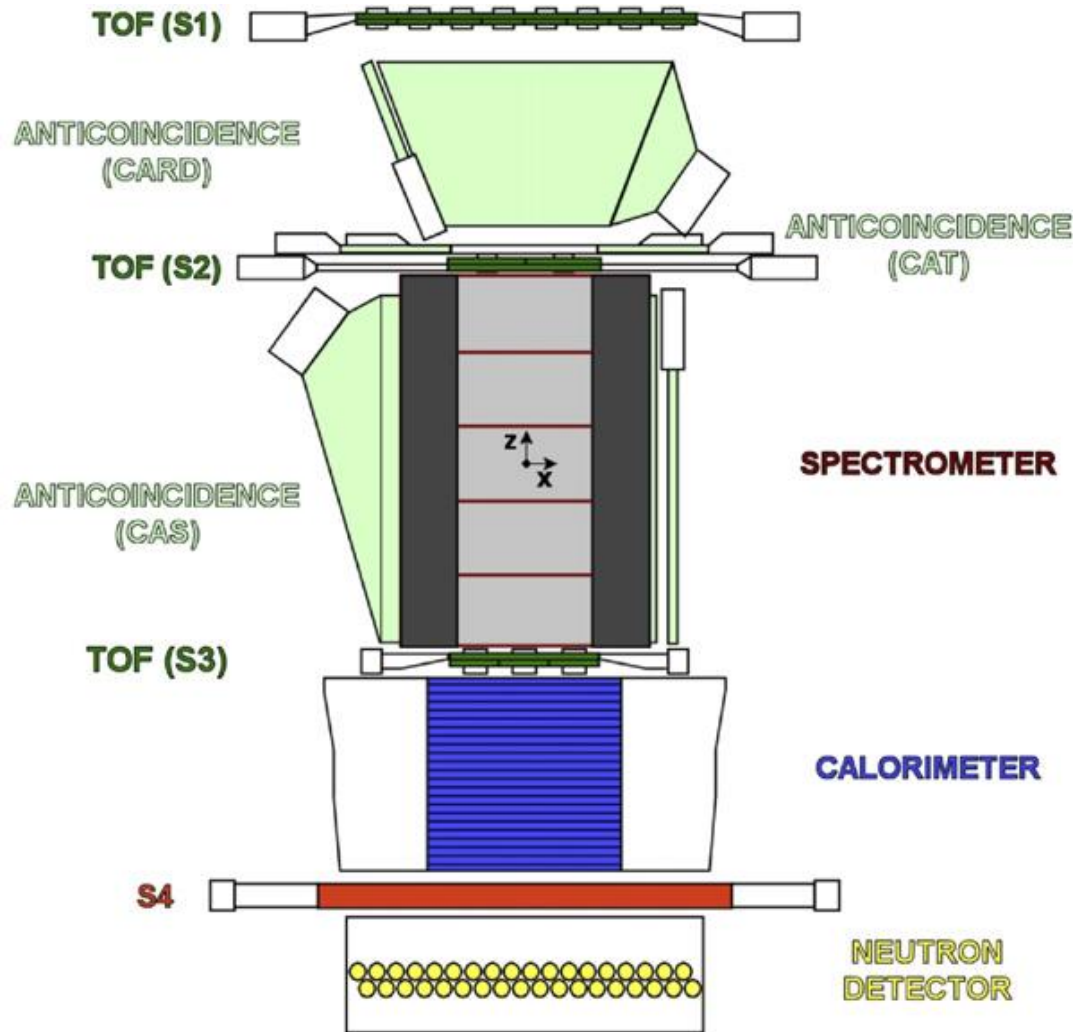
- Позволяет регистрировать:
  - $e^-$ ,  $e^+$ : 50 МэВ – сотни ГэВ
  - $p$ : 80 МэВ – неск. ТэВ
  - Ядра (гелий и тяжелее): ...
- Орбита спутника:
  - 350-600 км
  - Наклонение  $70^\circ$
- Период работы: 2006-2016
  - (опубликовано  $e^+$ ,  $e^-$ . 2006-2009)

# ЦЕЛИ

- Меньшие энергии: от 50 МэВ
- Меньший временной шаг: до 27 дней
- Данные за весь период PAMELA: 2006-2016
  
- Требуется оптимизация метода отбора

# ОТБОР СОБЫТИЙ

- Нужен анализ более 20 релевантных параметров



→ антисовпадения

→ скорость,  $dE/dx$

→ жесткость,  $dE/dx$

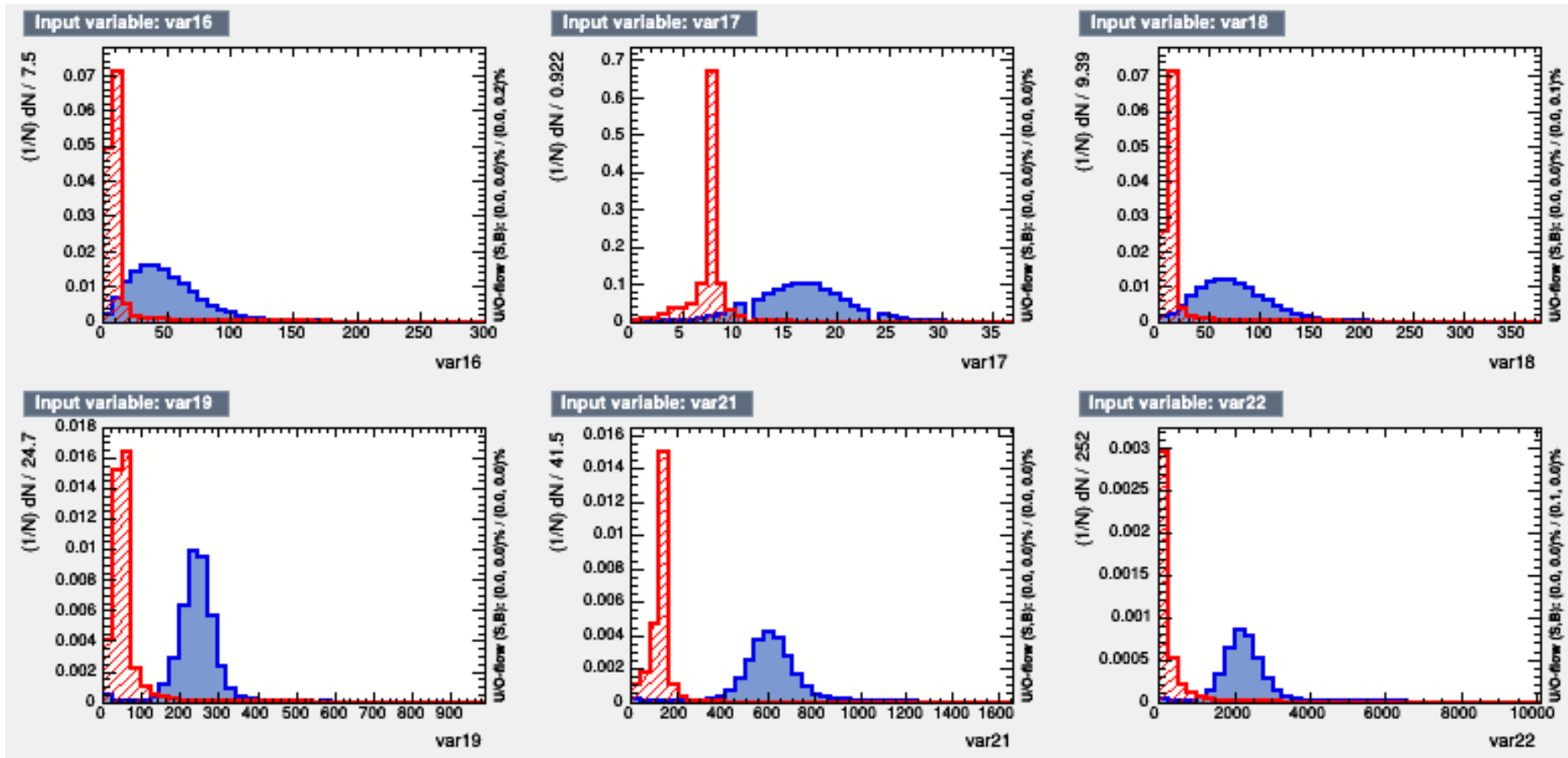
→ энергосодержание ливней

→ остаточное энергосодержание

→ срабатывание нейтронного детектора



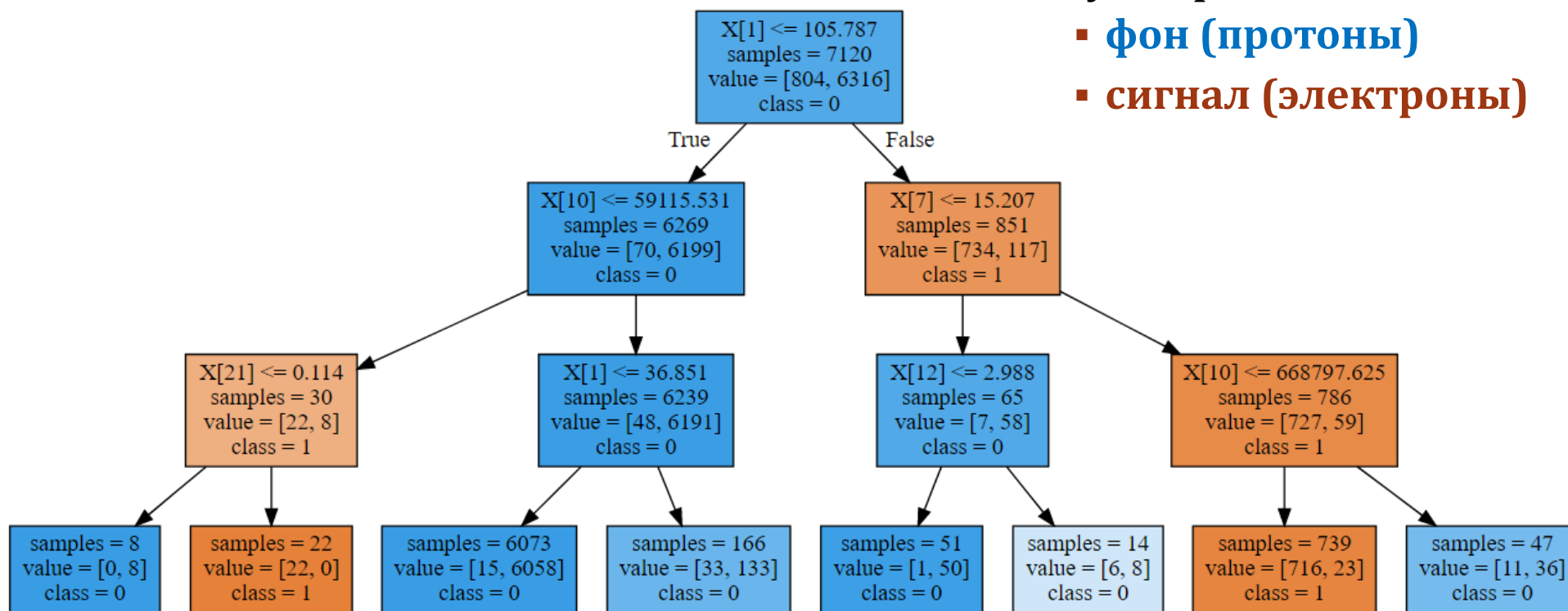
# МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ



Разделение 20+ параметров для 2 классов событий

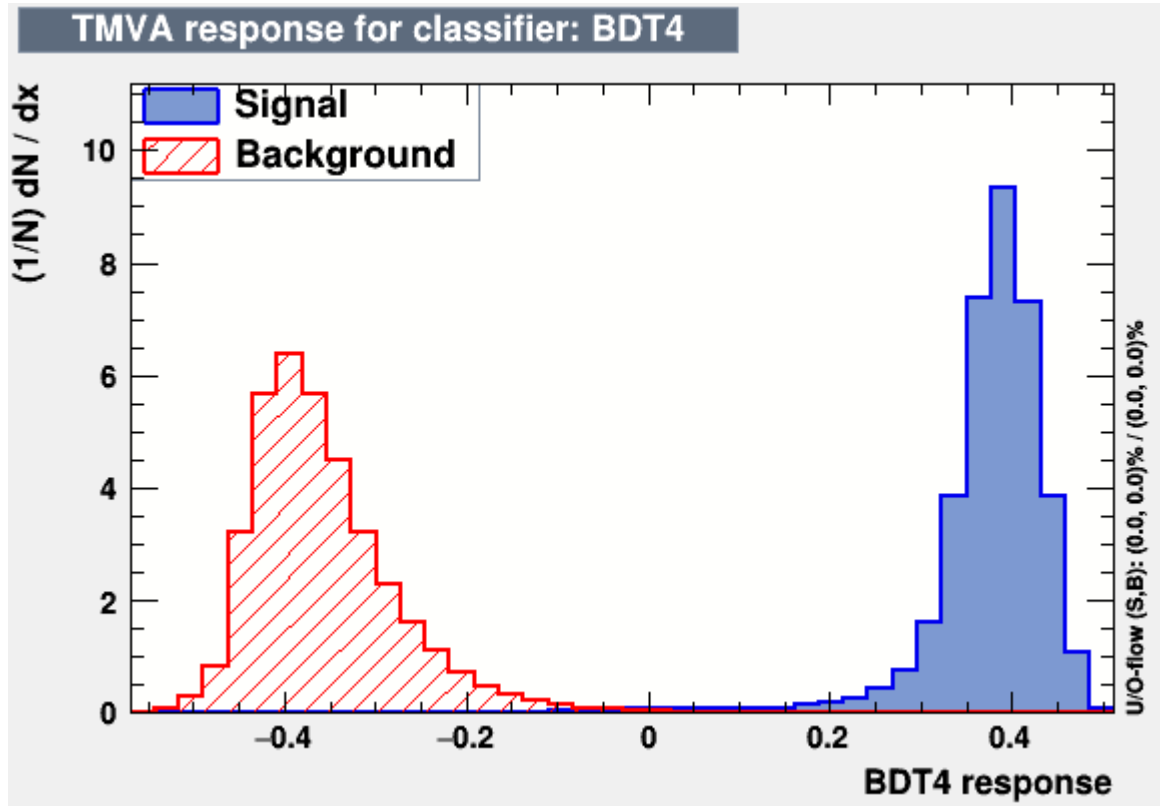
# МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ: ДЕРЕВО РЕШЕНИЙ

- Метод: Boosted Decision Tree
- Суть: разделение событий на 2 класса:
  - фон (протоны)
  - сигнал (электроны)





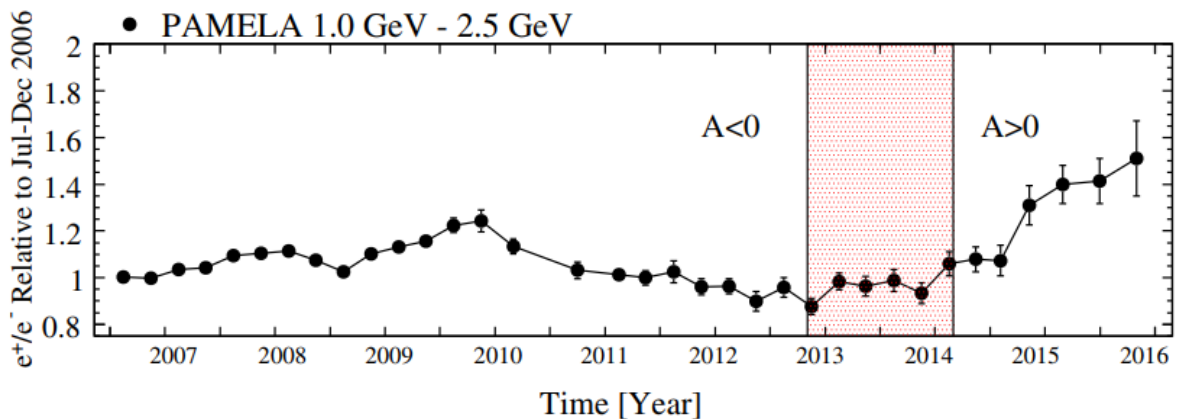
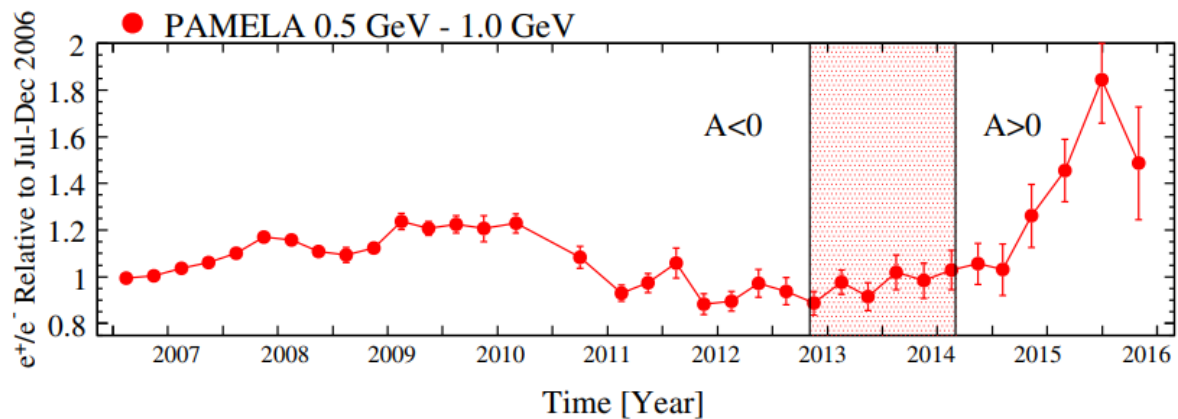
# МУЛЬТИВАРИАЦИОННЫЙ АНАЛИЗ



- Обучение: моделирование в GEANT4
  - **сигнал:** электроны
  - **фон:** протоны
- Испытание: база данных PAMELA
- Эффективный отбор:  $\text{BDT4} > 0.2$

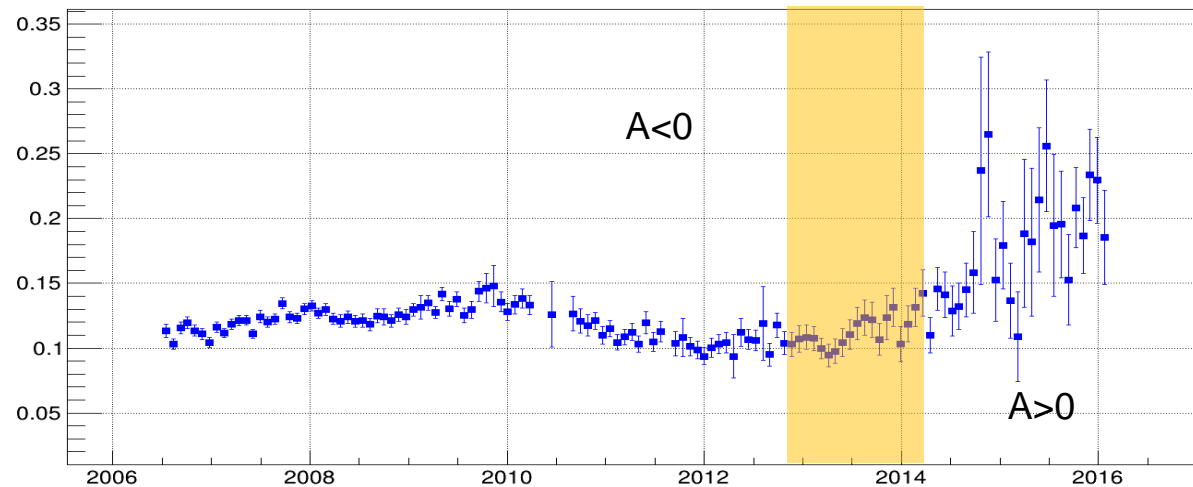
Пример отклика программного параметра BDT

# РЕЗУЛЬТАТЫ

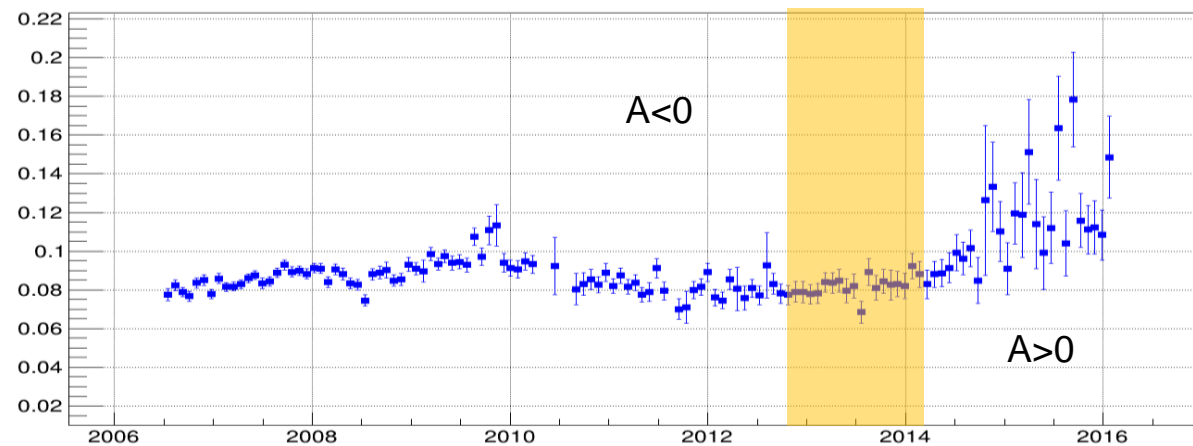


PRL 116, 241105 (2016)

$e^+/e^-$ : 0.5–1.0 GeV



$e^+/e^-$ : 1.0–2.5 GeV



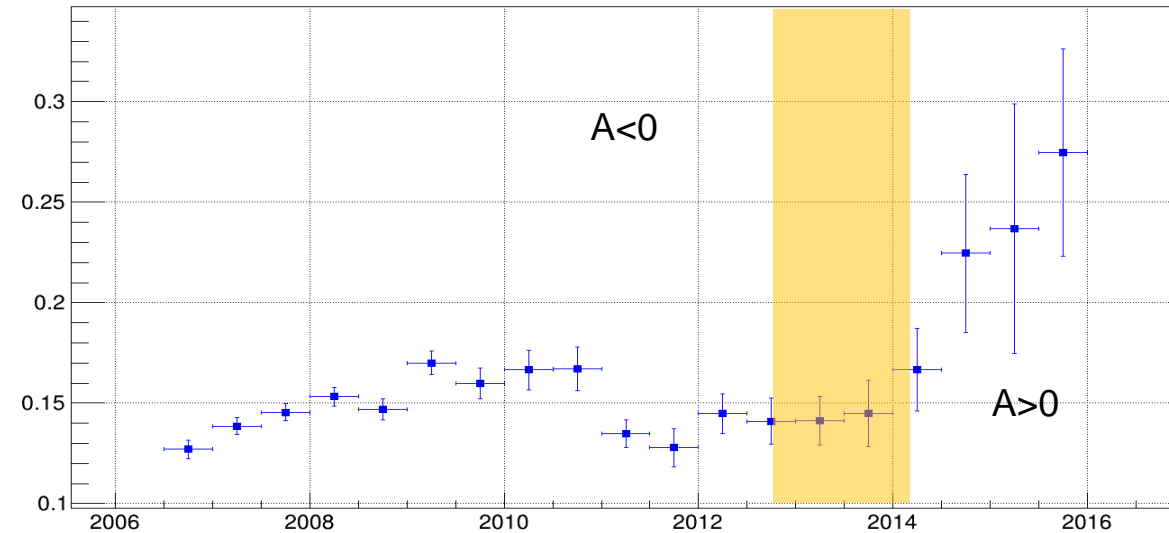
Данная работа

# РЕЗУЛЬТАТЫ

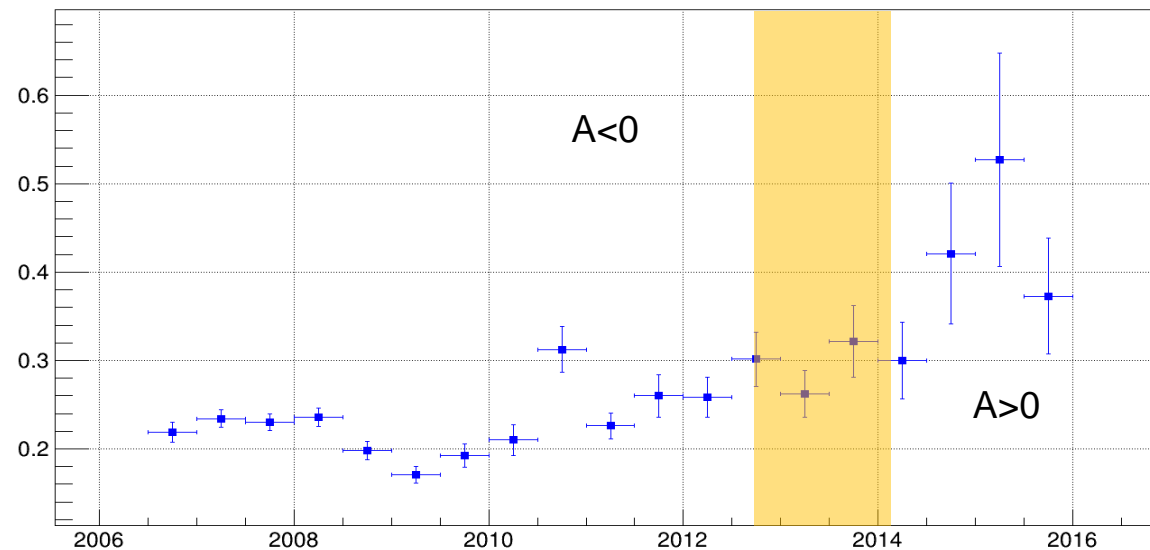
Наблюдается особенность  
в 2008 г.

Подъем в 2014-15 гг.

$e^+/e^-$ : 0.25–0.5 GeV

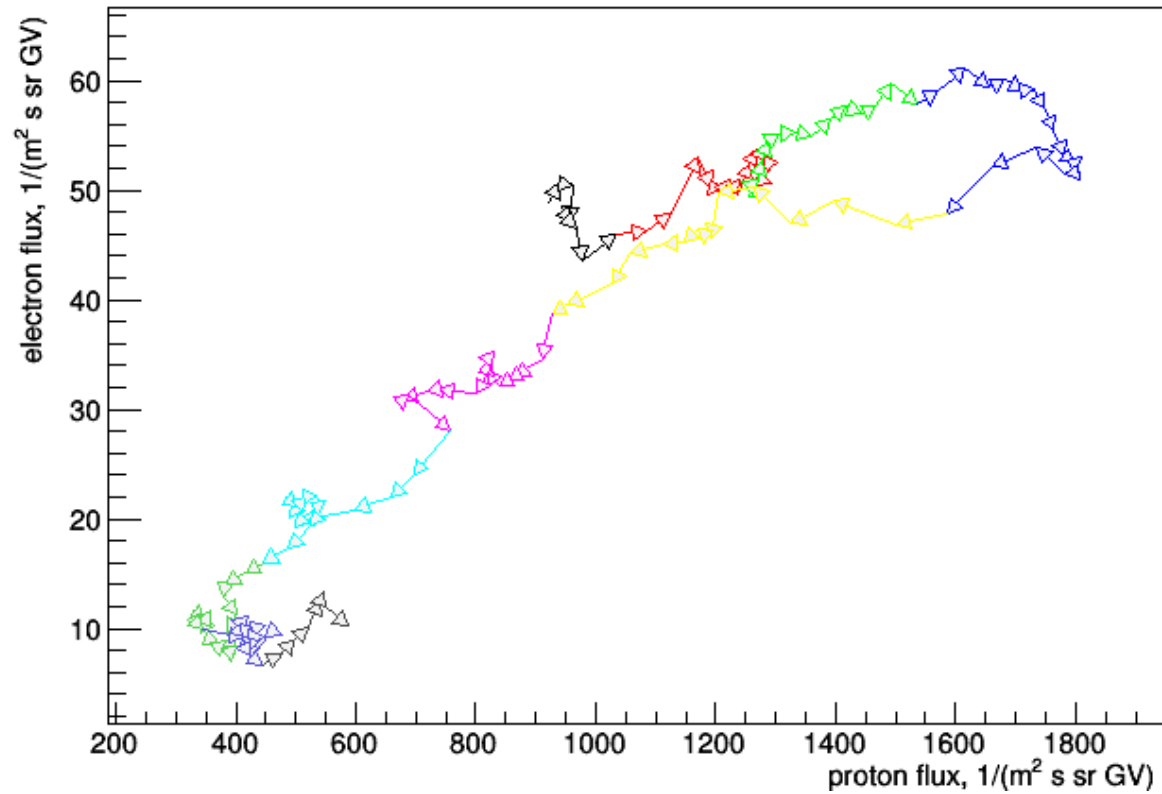


$e^+/e^-$ : 0.1–0.25 GeV



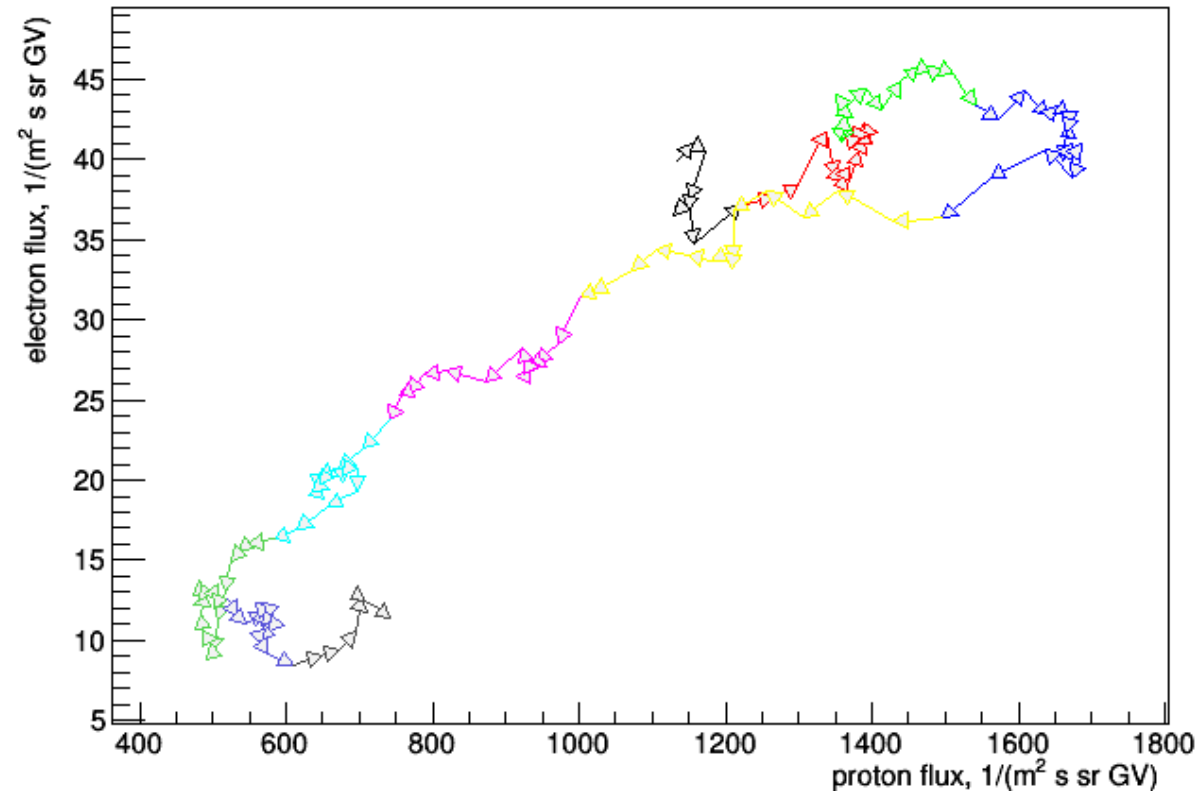
# ГИСТЕРЕЗИС

R=0.5-1.0 GV

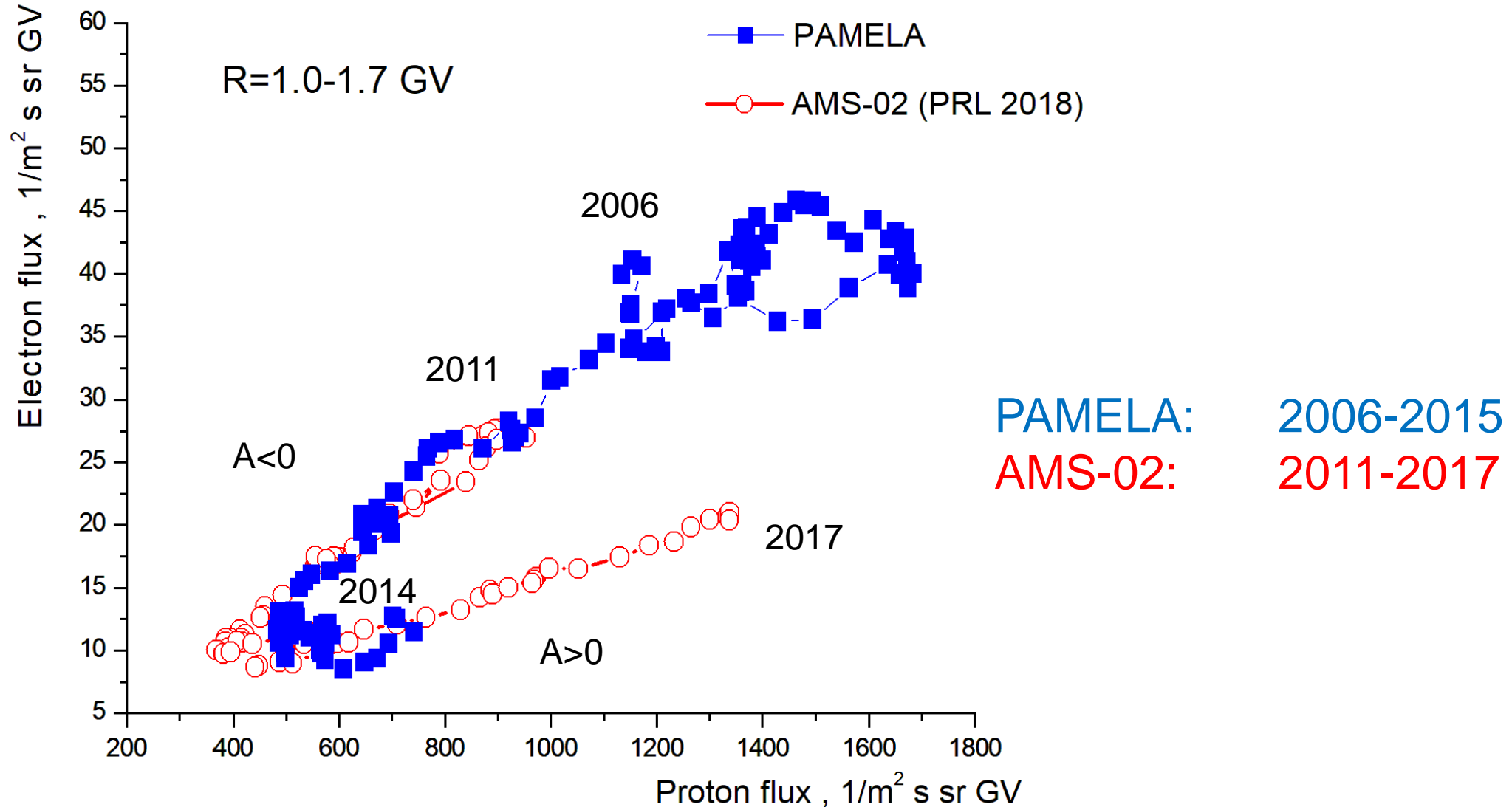


**2006**  
**2007**  
**2008**  
**2009**  
**2010**  
**2011**  
**2012**  
**2013**  
**2014**  
**2015**

1.0-1.7 GV



# ГИСТЕРЕЗИС



# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- По данным PAMELA рассмотрена модуляция потоков электронов и позитронов 2006-2015
- Достаточно высокая статистика результатов обеспечена отбором методами машинного обучения
- Получены также данные ниже 0,5 ГэВ
- 
- Качественно наблюдается гистерезис модуляции по потокам электронов и протонов

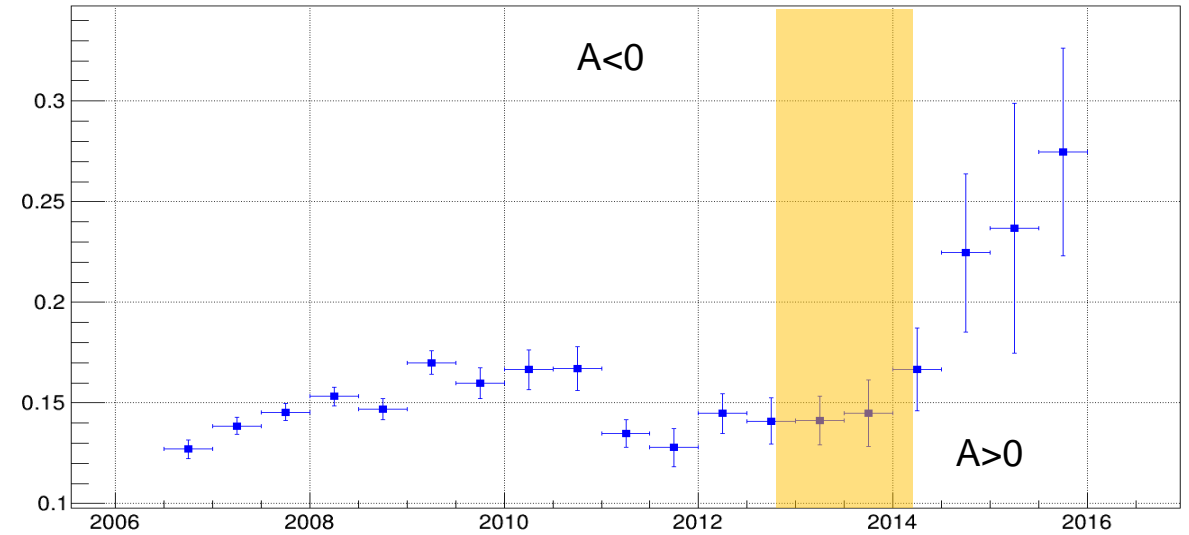
СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



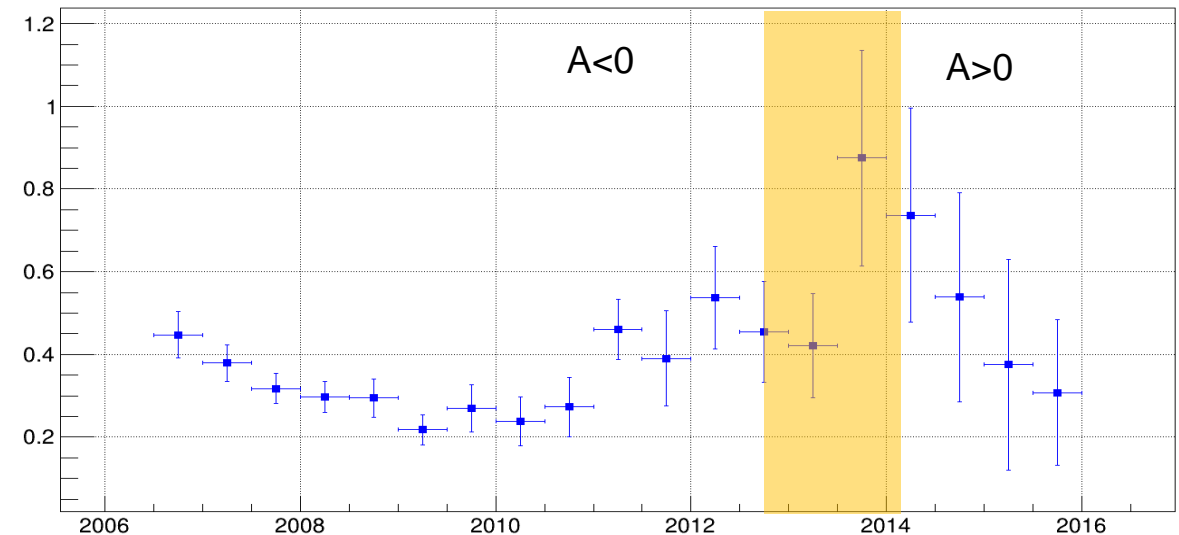
# РЕЗУЛЬТАТЫ

Наблюдается иная зависимость модуляции от знака заряда (2006-2008)

$e^+/e^-$ : 0.25–0.5 GeV



$e^+/e^-$ : 0.05–0.1 GeV

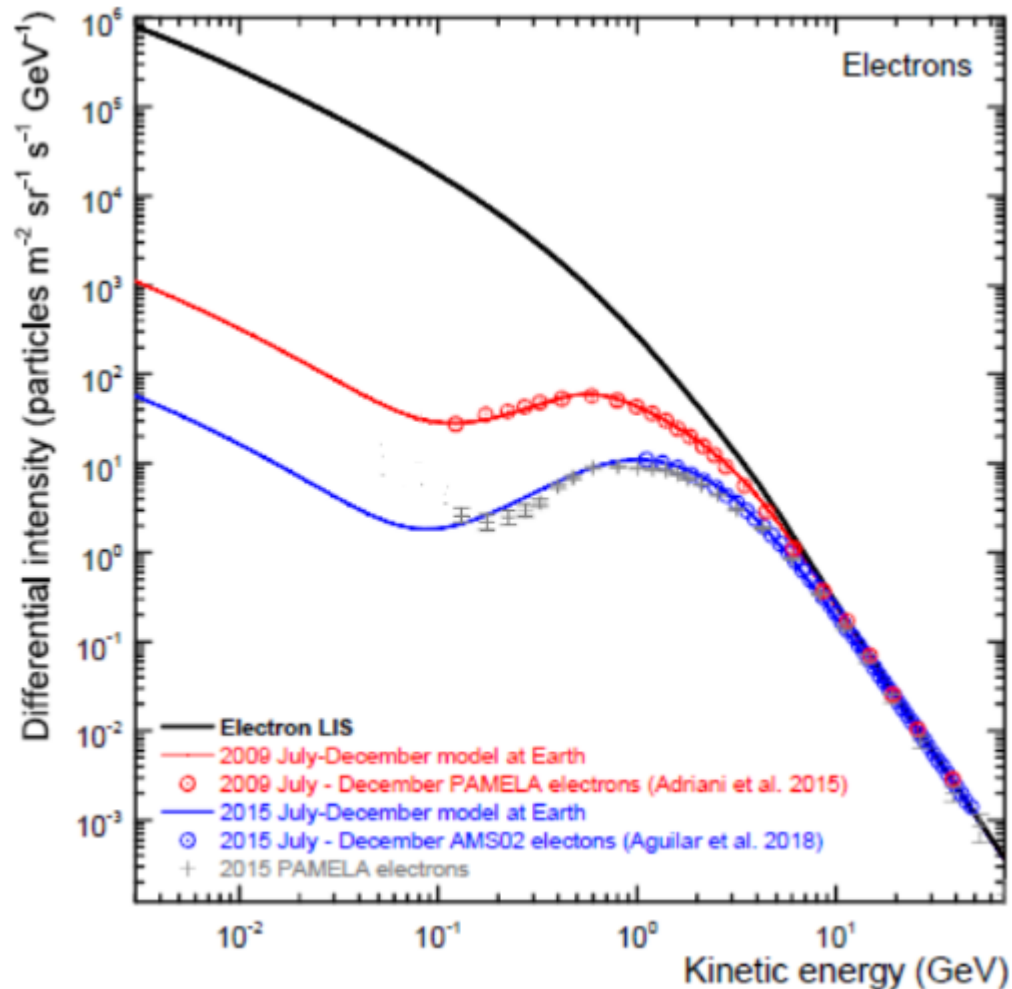


# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- По данным PAMELA рассмотрена модуляция потоков электронов и позитронов 2006-2015
- Достаточно высокая статистика результатов обеспечена отбором методами машинного обучения
- Получены также данные ниже 0,5 ГэВ
- По предварительным данным при энергиях ниже 100 МэВ наблюдается иной характер модуляции
- Качественно наблюдается гистерезис модуляции по потокам электронов и протонов

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

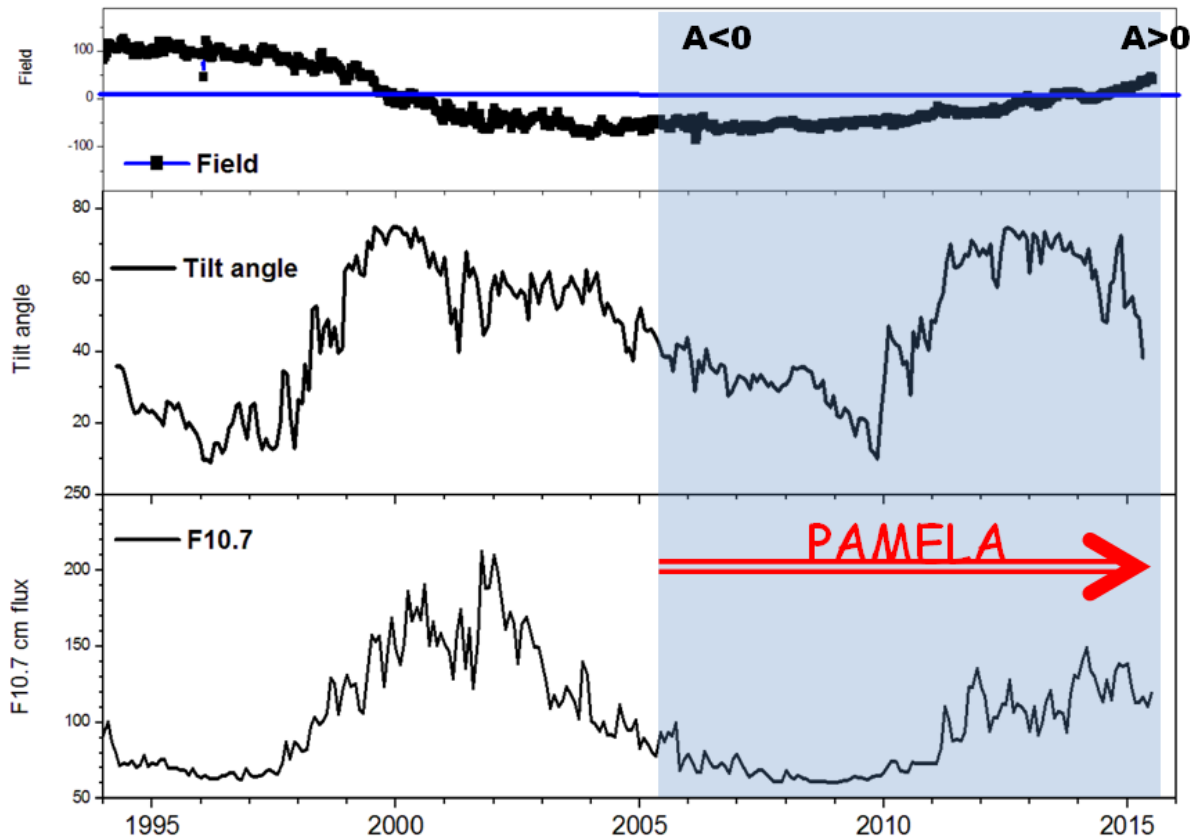
# МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ



- (ссылка)
- требуются данные после 2009 г. и при более низких энергиях

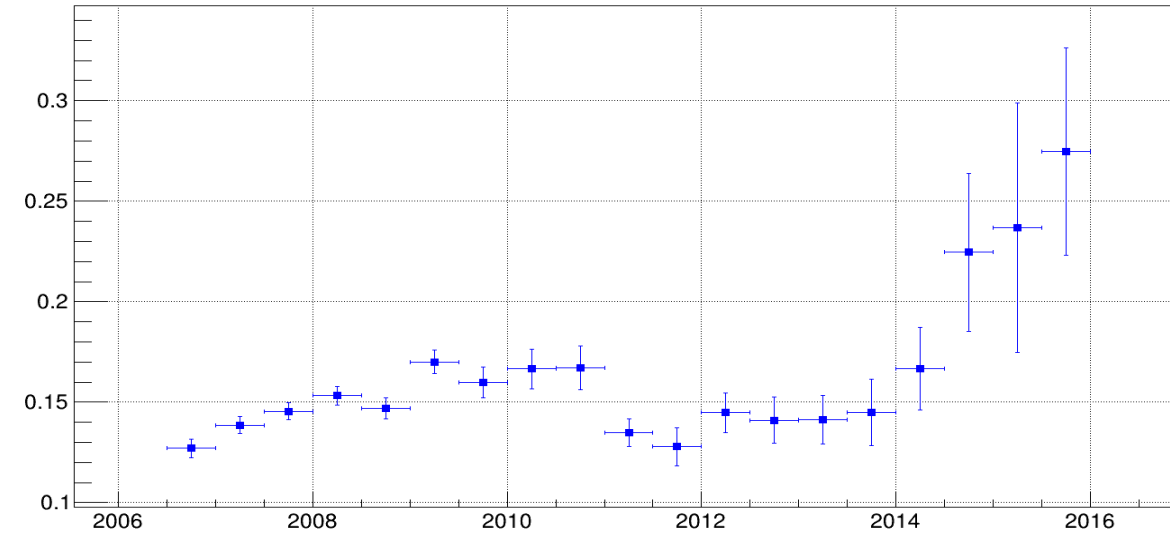
# РЕЗУЛЬТАТЫ

Наблюдается разная зависимость модуляции от знака заряда (2006-2008)



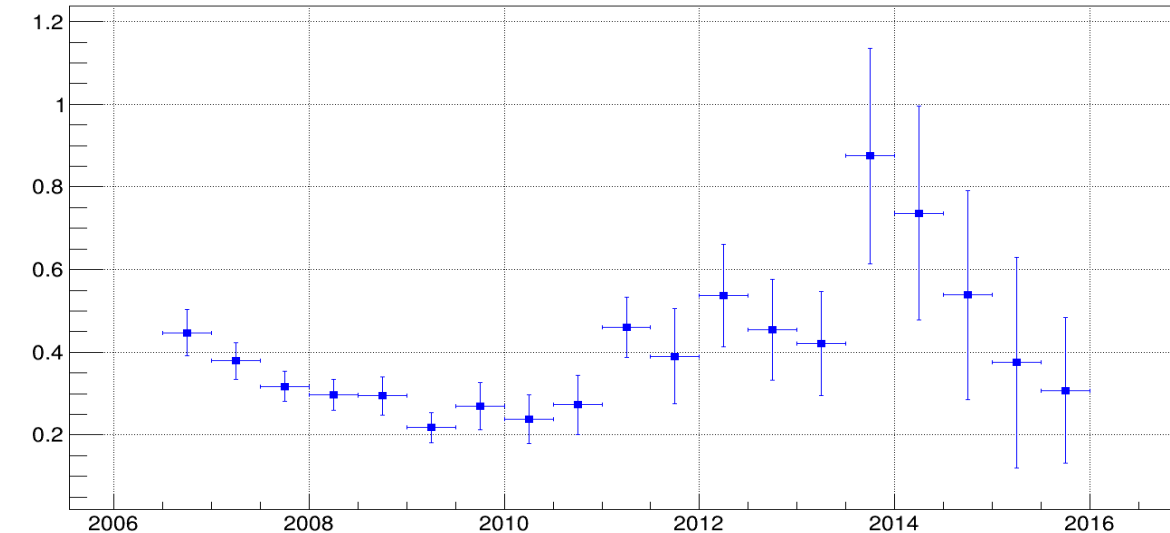
The Wilcox Solar Observatory: <http://wso.stanford.edu/>

Primary  $e^+/e^-$  (0.25-0.5 GeV)

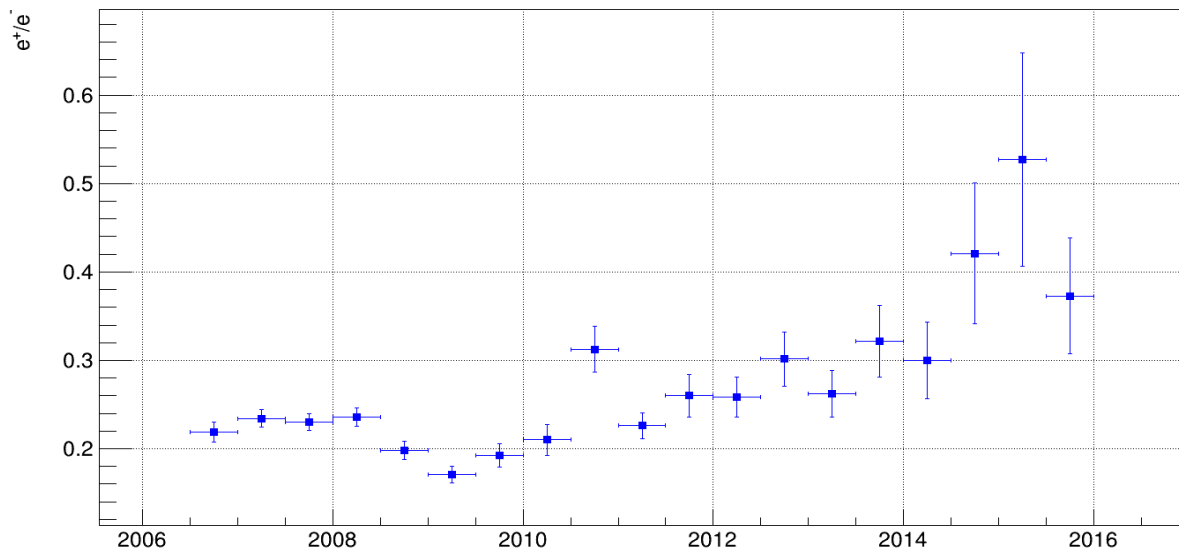


Данная работа

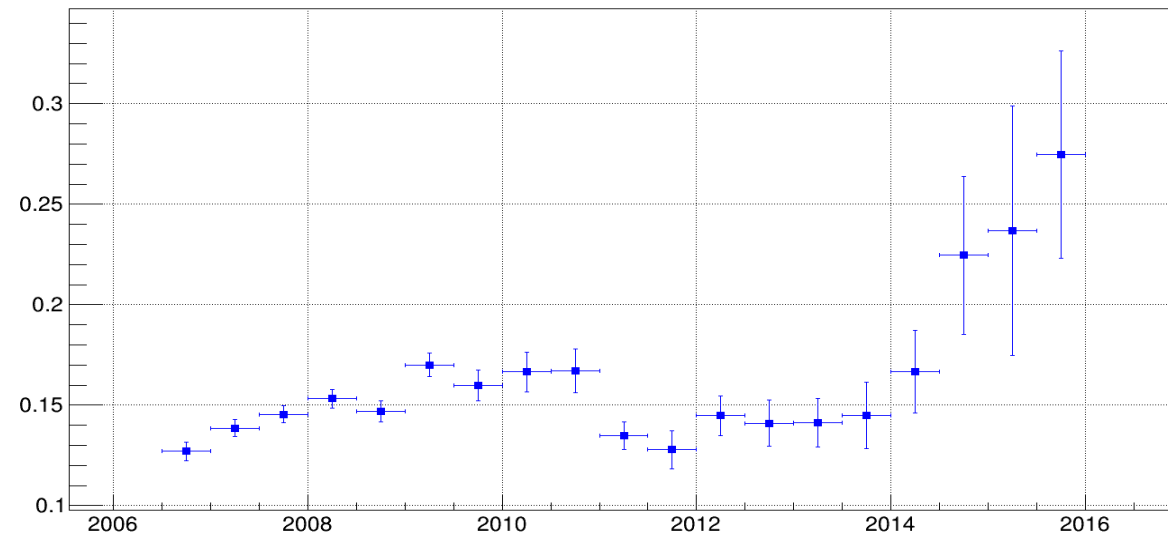
Primary  $e^+/e^-$  (0.05-0.1 GeV)



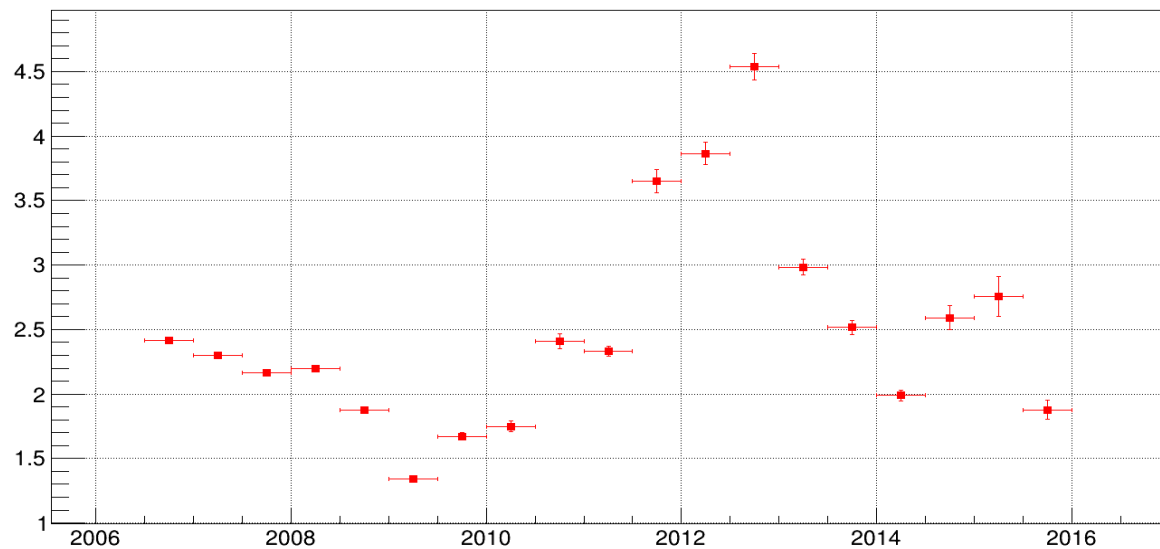
Primary  $e^+/e^-$  (0.1-0.25 GeV)



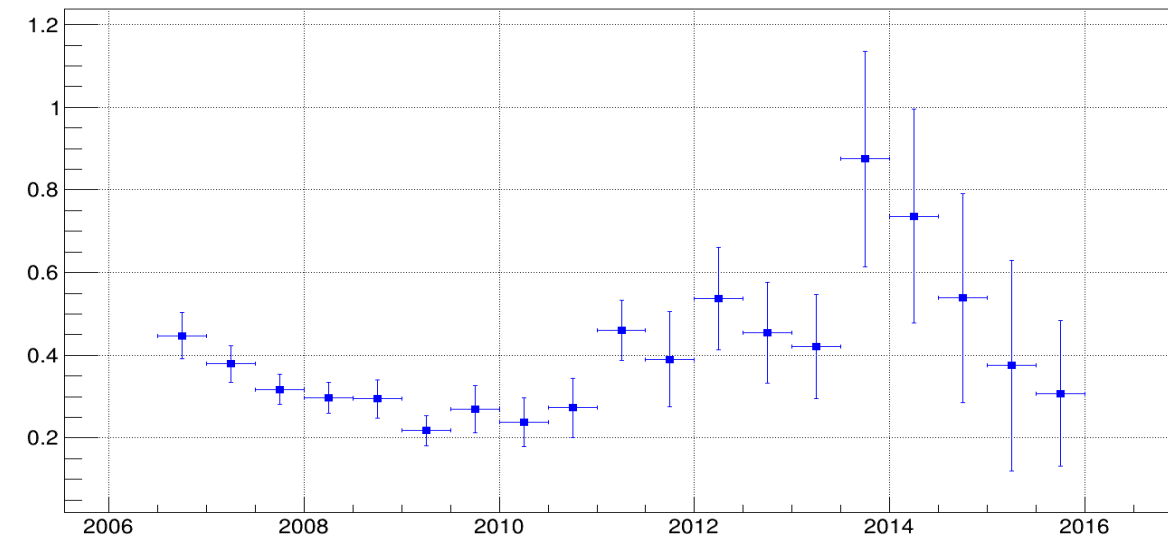
Primary  $e^+/e^-$  (0.25-0.5 GeV)



Albedo  $e^+/e^-$  (0.05-0.1 GeV)



Primary  $e^+/e^-$  (0.05-0.1 GeV)

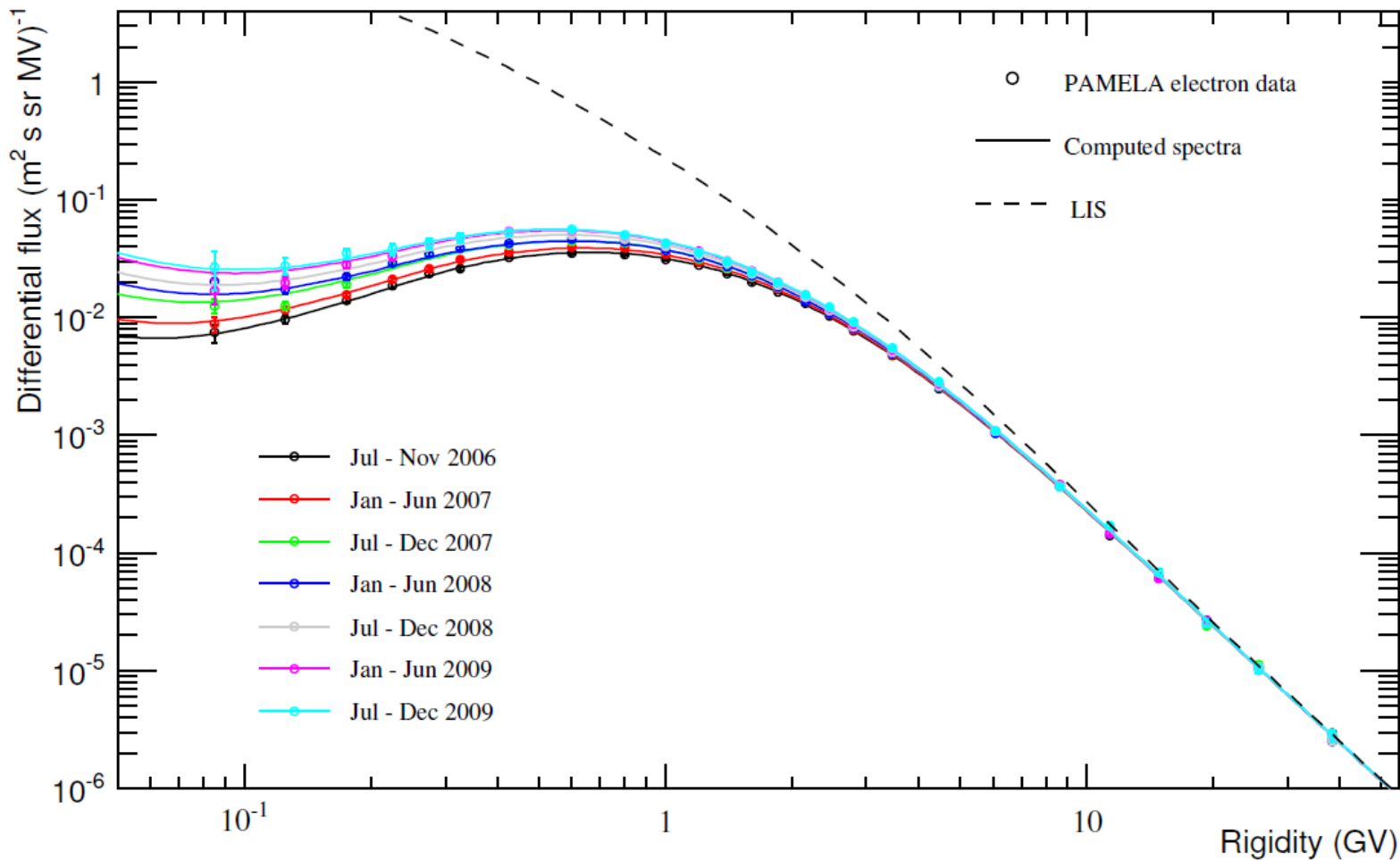


МИН.

МАКС

Данная работа

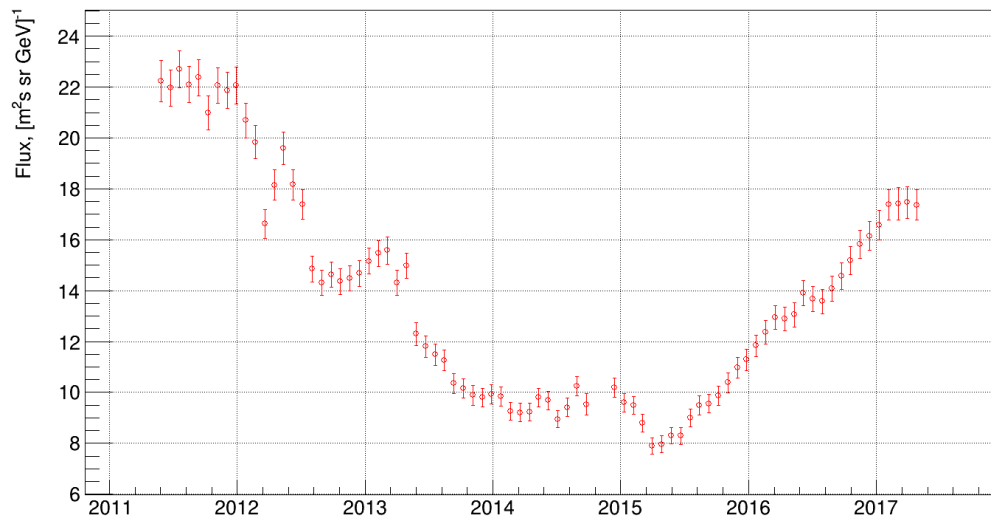
# ПОТОКИ ЭЛЕКТРОНОВ 2006-2009



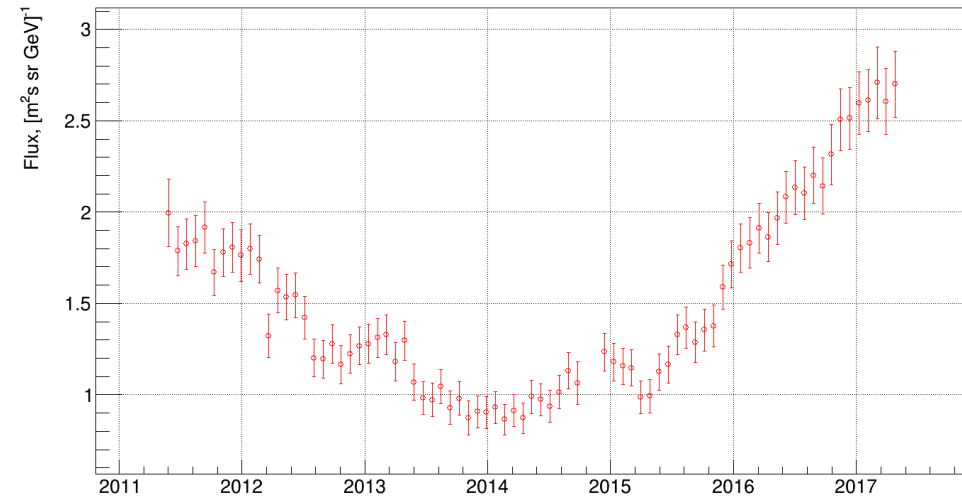
- (ссылка)
- требуются данные после 2009 г.



Electron flux (AMS-02: 1.0-1.7 GeV)

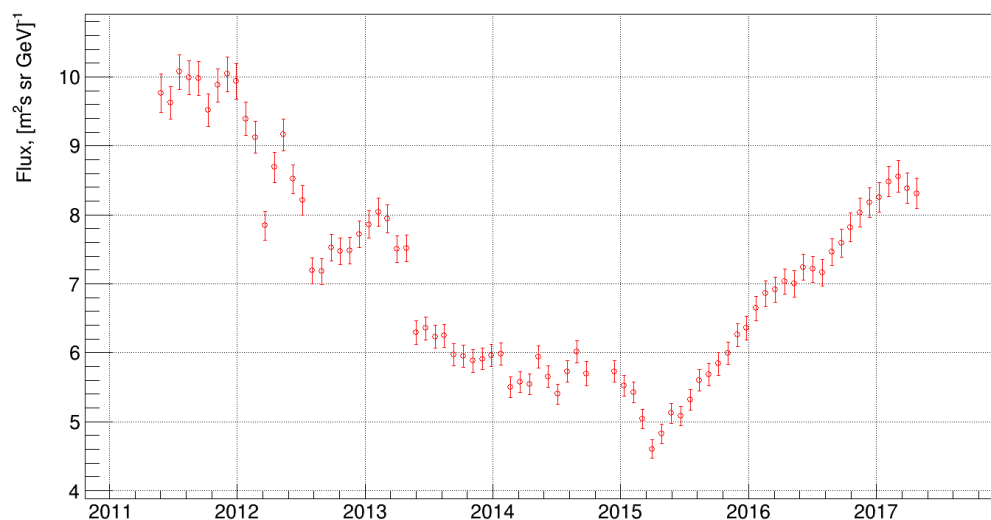


Positron flux (AMS-02: 1.0-1.7 GeV)



AMS-02

Electron flux (AMS-02: 1.7-3.0 GeV)



Positron flux (AMS-02: 1.7-3.0 GeV)

