



Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова
Кафедра физики элементарных частиц

«Применение Top Tracker детектора для подавления космогенного фона в эксперименте JUNO»

Подготовила:
Чувашова А. К.

Научный руководитель:
к. ф.-м. н. Горнушкин Ю. А.

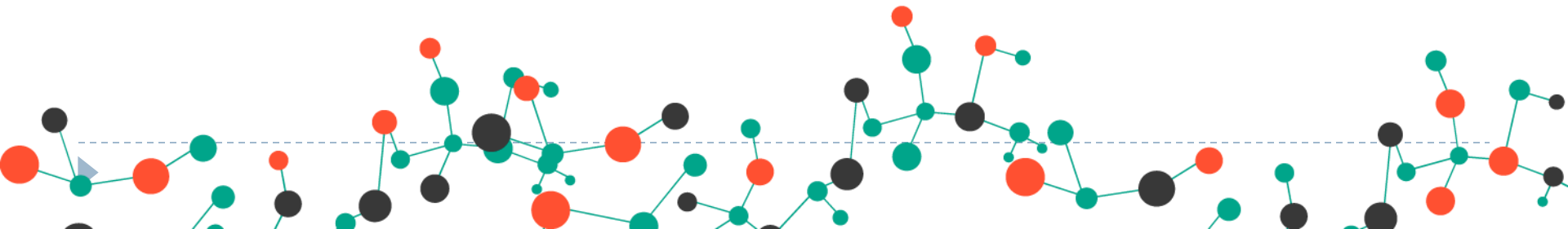
2 июня 2017

Цель настоящей работы

► Цель:

Исследование влияния процесса старения компонентов на характеристики ТТ детектора, готовящегося к использованию в качестве мюонного вето-детектора в эксперименте JUNO.

Анализ данных специально созданного тестового модуля ТТ («DOMINO Prototype») и оценка изменения характеристик сцинтиллятора и световода, входящих в состав TopTracker детектора, со временем.



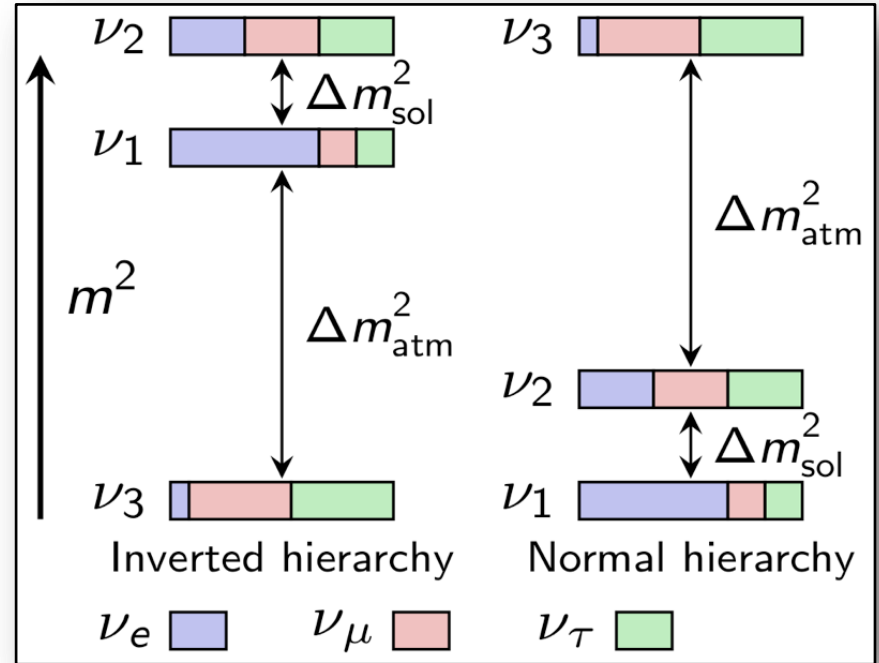
Иерархия масс нейтрино

Изучение осцилляций нейтрино позволяет измерить параметры матрицы осцилляций.

Период осцилляций определяется разницей квадрата масс Δm^2 , а их интенсивность - углами смешивания

$$\begin{matrix} m_3 > m_1 \\ m_3 < m_1 \end{matrix} - ?$$

Определяются две иерархии масс - нормальная и обратная:



НИ:

$$\Delta m_{31}^2 \geq 0, \Delta m_{32}^2 \geq 0, \quad |\Delta m_{31}^2| = |\Delta m_{32}^2| + \Delta m_{21}^2$$

ОИ:

$$\Delta m_{31}^2 \leq 0, \Delta m_{32}^2 \leq 0, \quad |\Delta m_{31}^2| = |\Delta m_{32}^2| - \Delta m_{21}^2$$

Знание порядка масс нейтрино важно по следующим причинам:

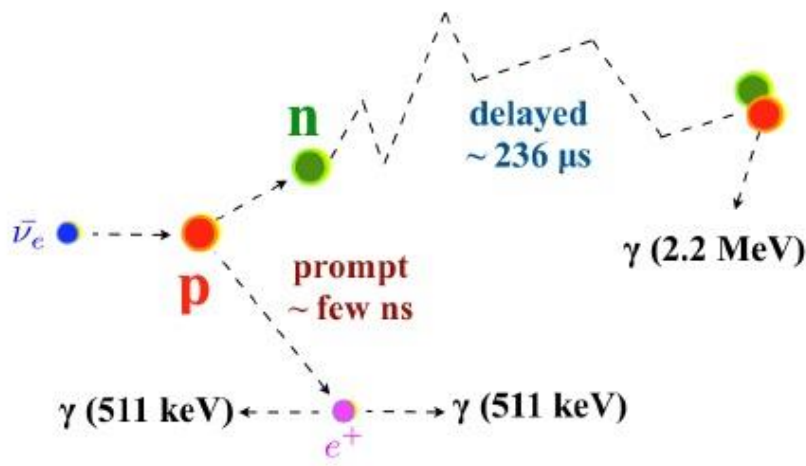
- Неизвестно, является ли это упорядочение масс фундаментальным свойством теории, выходящей за рамки Стандартной Модели
- Чувствительность к природе нейтрино (Дираковская или Майорановская частица) коренным образом зависит от иерархии масс.



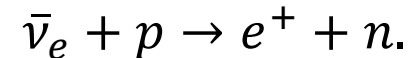
Эксперимент JUNO

Основная цель эксперимента JUNO – определение порядка массовых состояний нейтрино.

Иерархия масс нейтрино будет определяться с помощью измерения энергетического спектра реакторных электронных антинейтрино на расстоянии 53 км от реакторов



Для регистрации реакторных антинейтрино используется реакция обратного бета-распада (IBD):



Фоновые события в эксперименте JUNO

Одним из важных источников фона в эксперименте JUNO являются космические мюоны, при взаимодействии которых с веществом установки могут рождаться радиоактивные изотопы ${}^9\text{Li}/{}^8\text{He}$.

Распад ${}^9\text{Li}/{}^8\text{He}$ приводит к фоновым событиям не отличимым от регистрируемых событий антинейтрино.

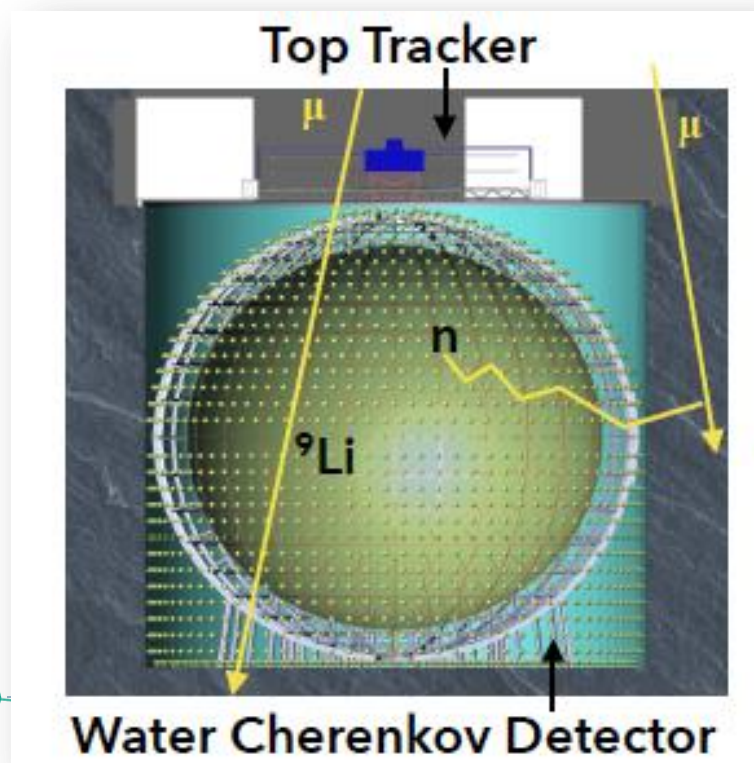
Космогенный фон снижается в 50 раз с помощью вето-детекторов

Efficiency, signal and background rates after each selection criterion

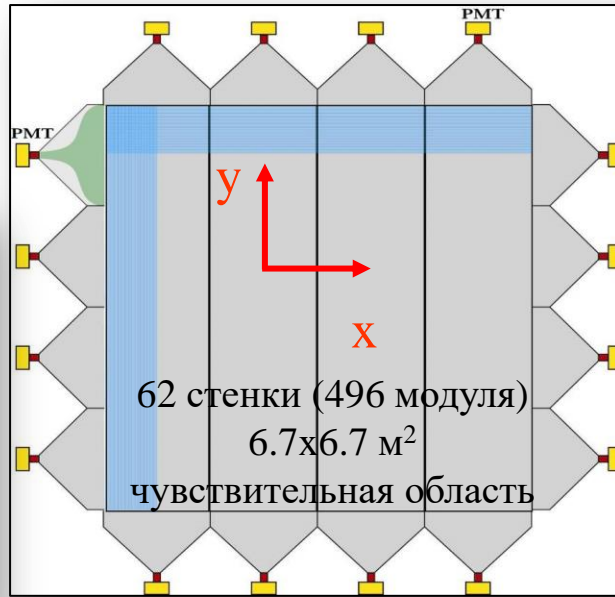
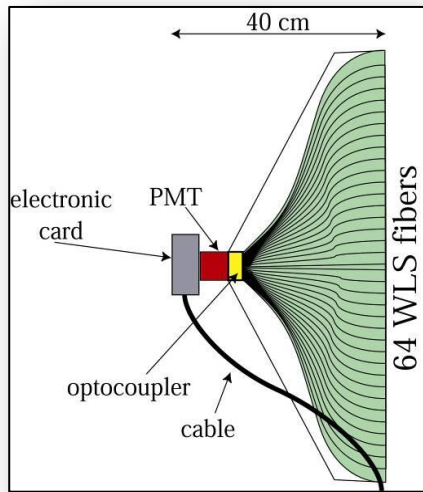
Selection	IBD efficiency	IBD	Geo- ν s	Accidental	${}^9\text{Li}/{}^8\text{He}$	Fast n	(α, n)
-	-	83	1.5	$\sim 5.7 \times 10^4$	84	-	-
Fiducial volume	91.8%	76	1.4	410	77	0.1	0.05
Energy cut	97.8%	73	1.3		71		
Time cut	99.1%						
Vertex cut	98.7%			1.1			
Muon veto	83%	60	1.1	0.9	1.6		
Combined	73%	60			3.8		

ВЕТО-детекторы

Вето-система детектора JUNO состоит из **Top Tracker (ТТ)** и **водночеренковского детекторов**, которые позволяют регистрировать траекторию мюона и запрещать регистрацию событий на некотором расстоянии от мюона (3 м) в течение некоторого времени (1 с), достаточного для распада изотопов.

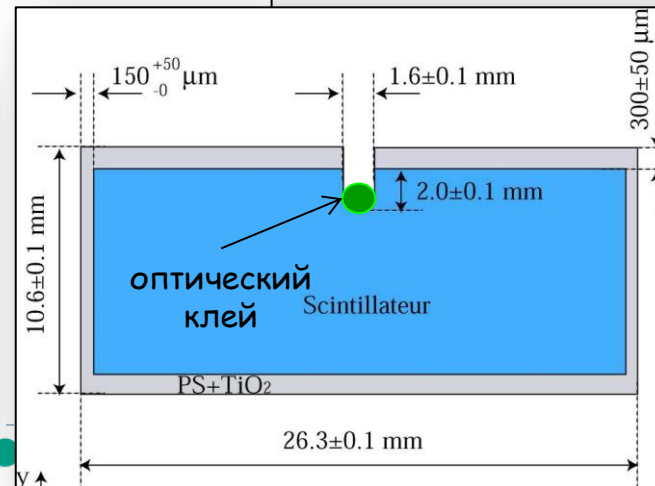
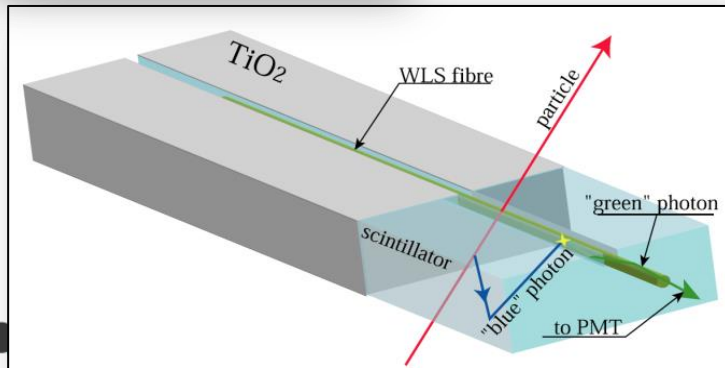


Устройство TOP Tracker



Детектор ТТ состоит из панелей из органического сцинтиллятора.

Каждая такая панель размером 7x7 м² состоит из 4-х независимых модулей, содержащих по 64 полосы пластикового сцинтиллятора размером 6800x26x10 мм³.

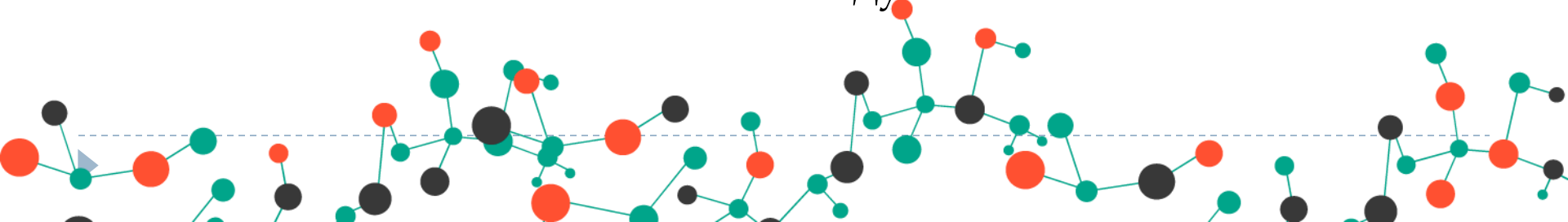


Старение детектора

Эффективность работы ТТ детектора зависит от амплитуды его отклика на прохождение мюонов.

Пластический сцинтиллятор, из которого сделан ТТ, стареет и со временем его свойства ухудшаются, сигналы становятся меньше.

Из данных эксперимента OPERA известно, как изменяются характеристики детектора при благоприятных условиях - постоянная температура и влажность. Однако при транспортировке детектора и его хранении условия могут быть неидеальными, поэтому так важен контроль характеристик детектора на этих этапах перед его запуском в 2020 году.

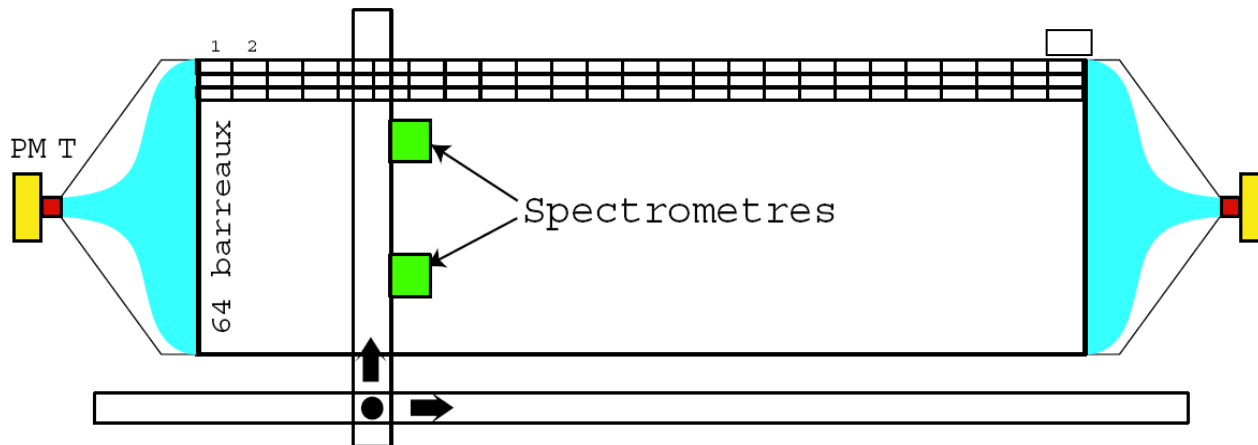


DOMINO Prototype



Domino Prototype был собран из кусочков сцинтилляционных полос реального ТТ детектора.

Система управления останавливает источник (^{90}Sr) в центре каждого кусочка и регистрирует сигналы от взаимодействий электронов в данном кусочке сцинтилляционного стрипа.



С помощью данных, набранных за 7 лет, можно оценить изменение характеристик сцинтиллятора и световодов.

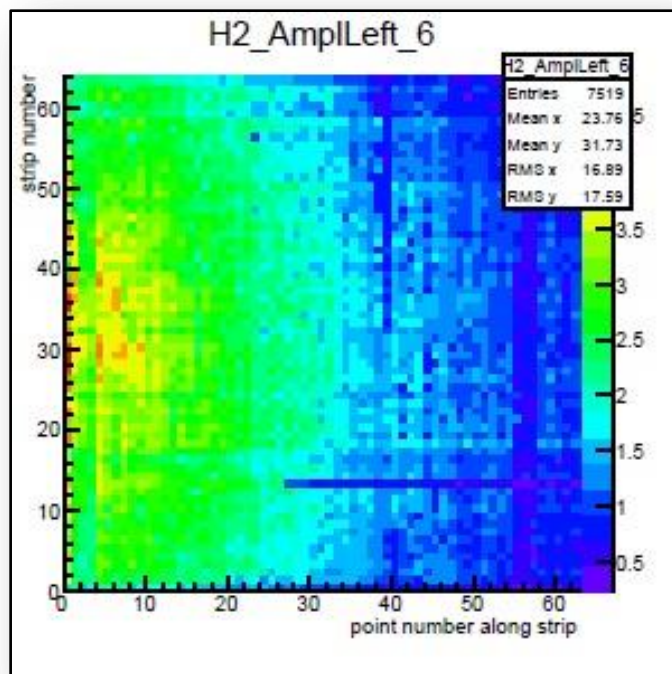
Практическая часть

С помощью написанной мной программы DOMINO Prototype в системе анализа данных ROOT были обработаны набранные данные, получены и проанализированы графики зависимостей, предоставляющие информацию об изменении характеристик сцинтиллятора и спектросмещающего волокна, входящих в состав Top Tracker детектора, со временем.

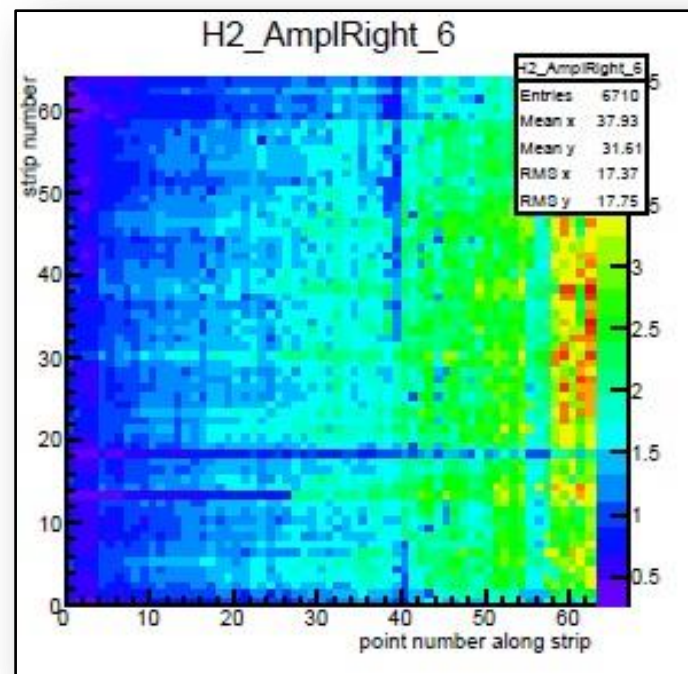


Результаты и выводы

Для левого ФЭУ



Для правого ФЭУ

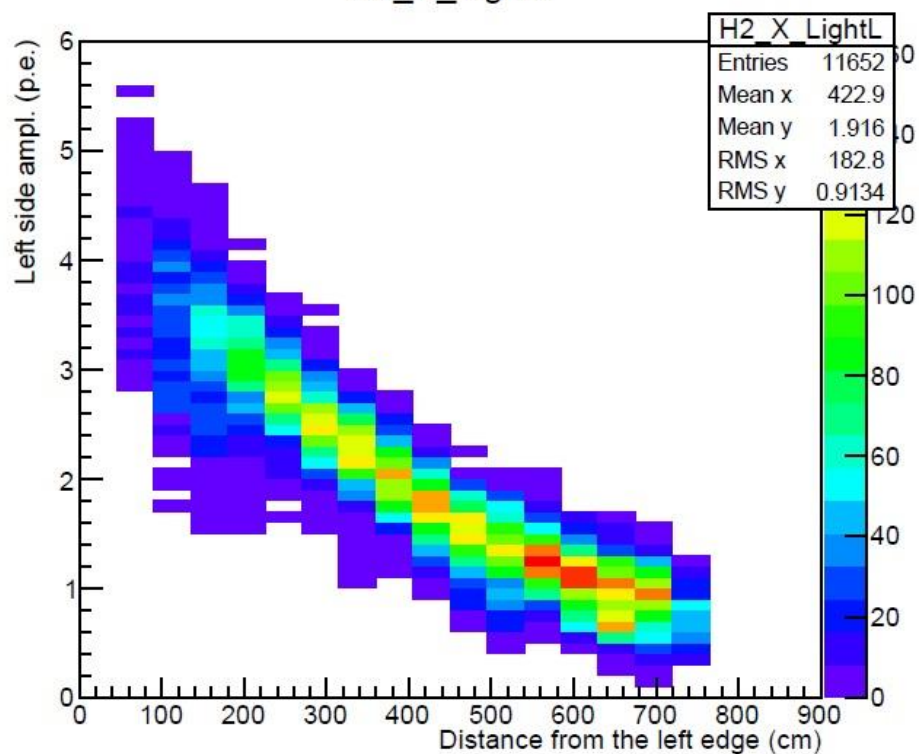


Амплитуда сигнала при регистрации электронов от источника в каждом кусочке сцинтилляционного стрипа периодически измерялась в течении 7 лет

Систематические отклонения амплитуд по номеру точки связаны с наличие дополнительного вещества, а по стрипу – с изломом фибера.

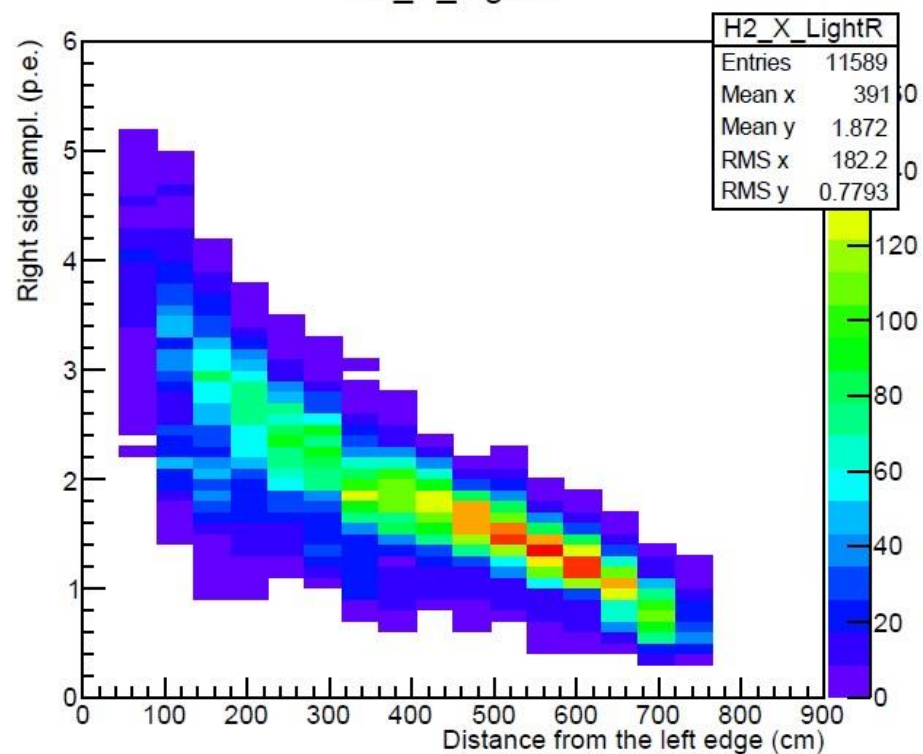
Для левого ФЭУ

H2_X_LightL

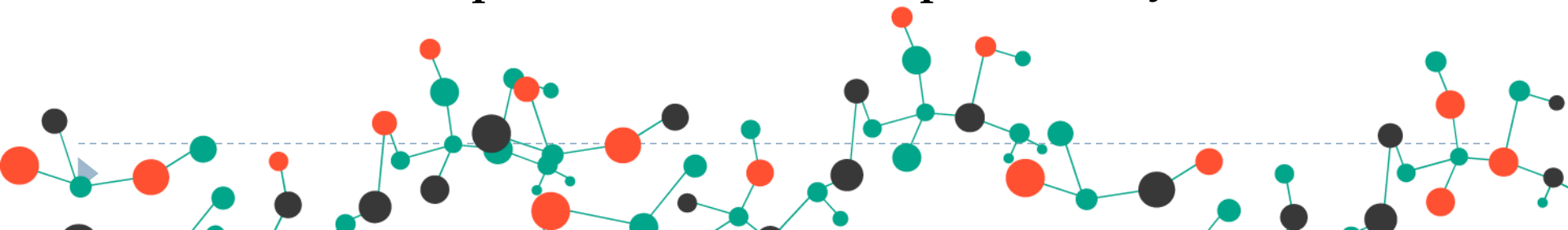


Для правого ФЭУ

H2_X_LightR



Зависимости амплитуды сигнала от расстояния до источника электронов для левого и правого ФЭУ.



Функции фитирования

для левого ФЭУ - $A_L * e^{-x/\lambda_L}$,

для правого ФЭУ - $A_R * e^{-y/\lambda_R}$,

где $y = L - x$, $x \in [0, L]$

Получены параметры
аппроксимирующей функции для
каждого стрипа и каждого периода
набора данных

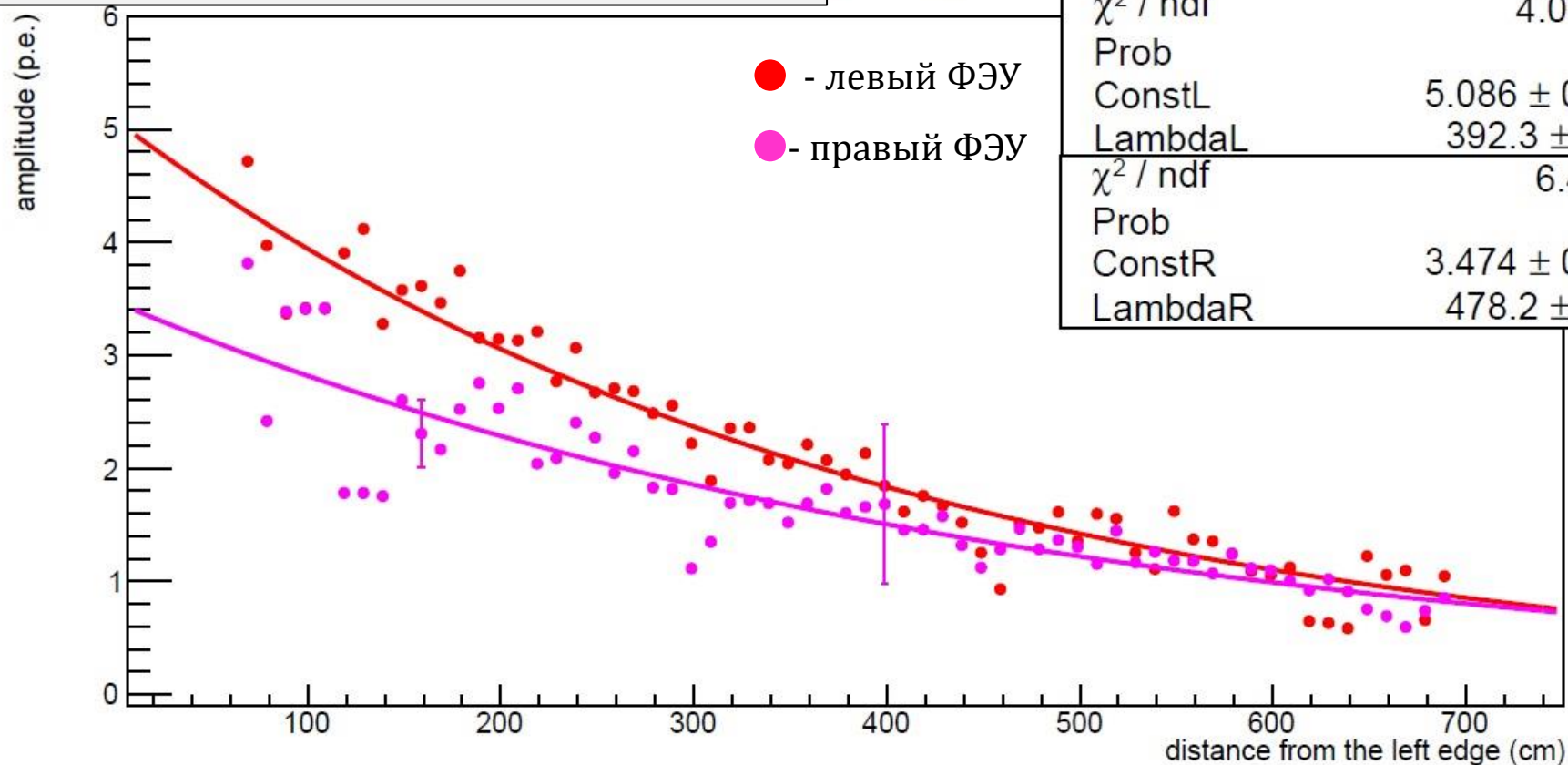
Сцинтиллятор:

A_L, A_R

Файбер:

λ_L, λ_R

Run6_Strip36

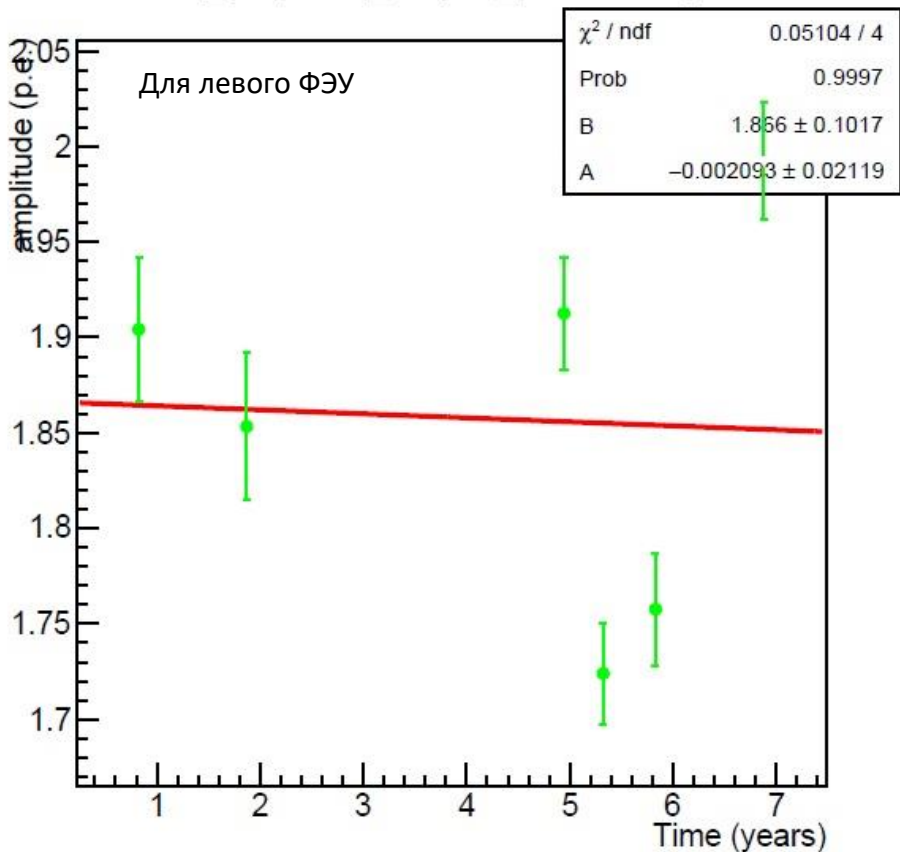


Зависимость амплитуды сигналов от расстояния до источника электронов

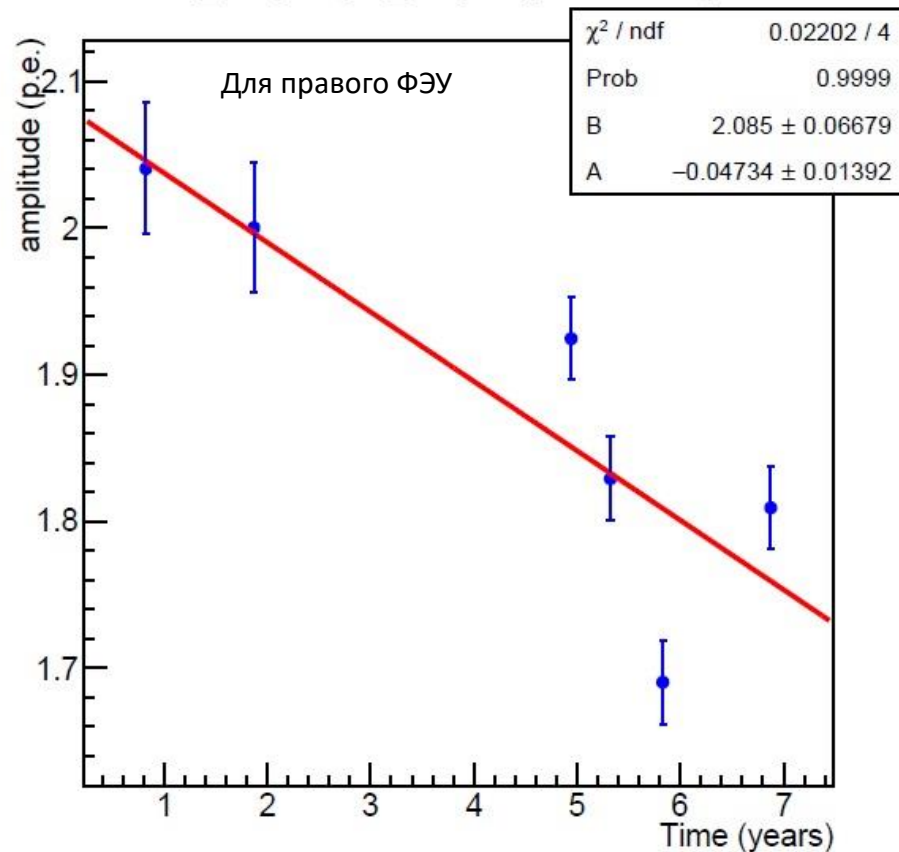
Графики зависимости амплитуды в отдельном кусочке сцинтилляционного стрипа от времени

Функция фитирования: $Ax + B$

GE_AmplLeft_Strip36_PointInStrip35



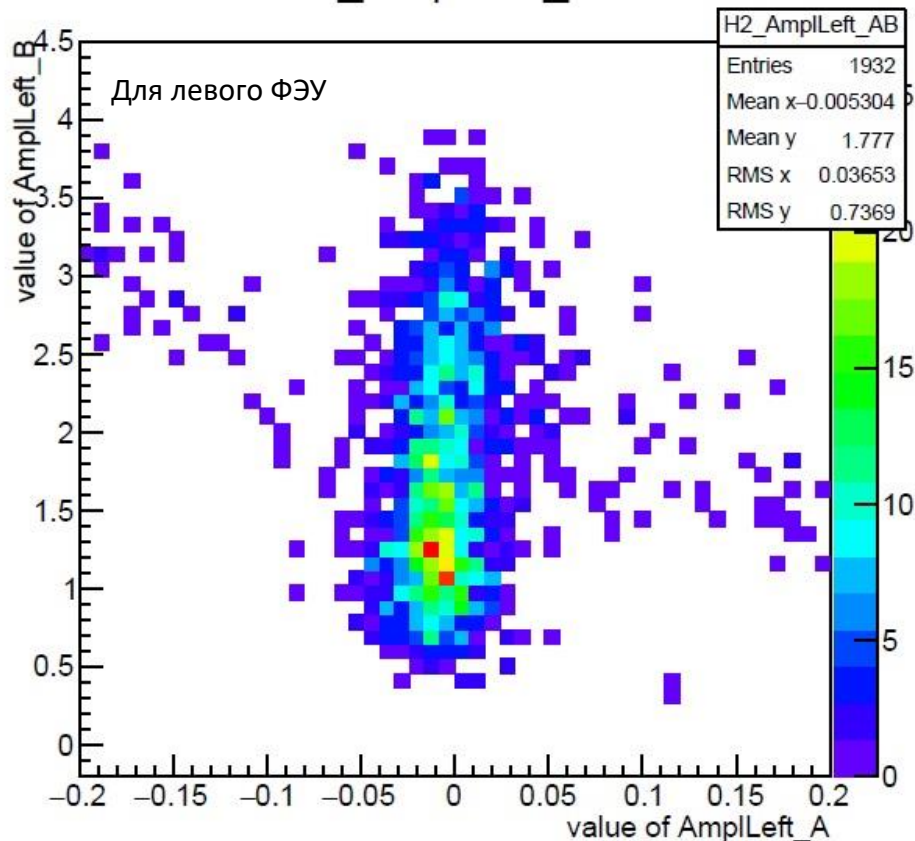
GE_AmplRight_Strip36_PointInStrip35



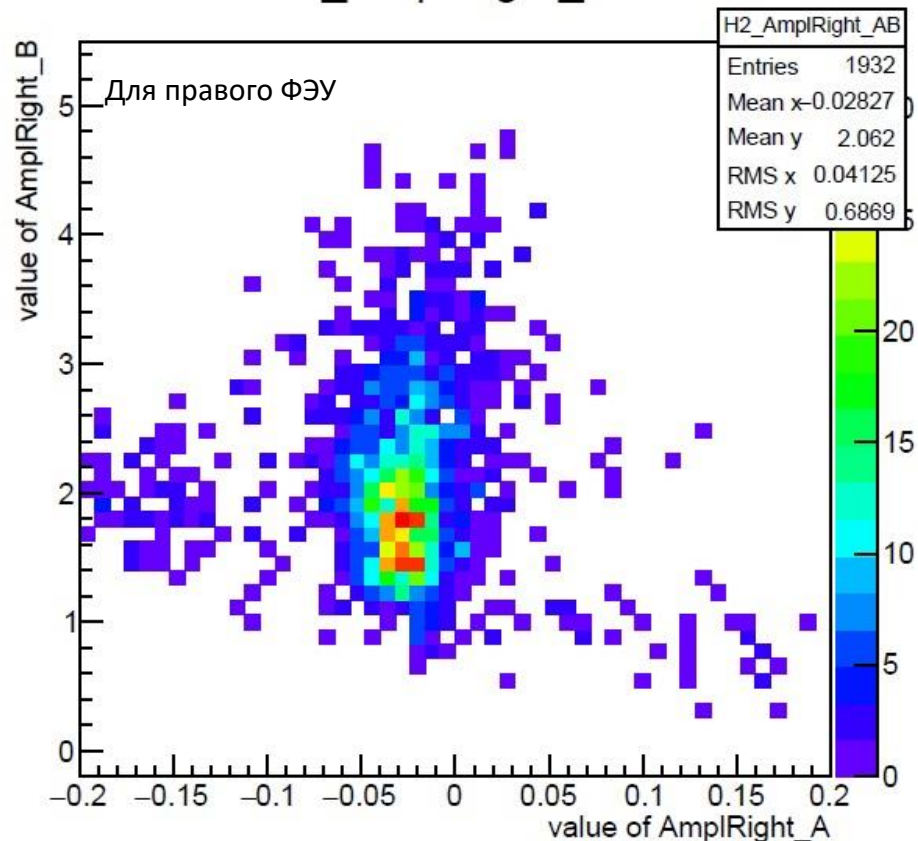
Параметры A и B могут предоставить информацию о том, как изменялись характеристики сцинтиллятора со временем. Среднее изменение амплитуды со временем выступает как фактор старения сцинтиллятора.

Параметры (А и В) линейной зависимости амплитуды от времени для разных кусочков сцинтиллятора

H2_AmplLeft_AB

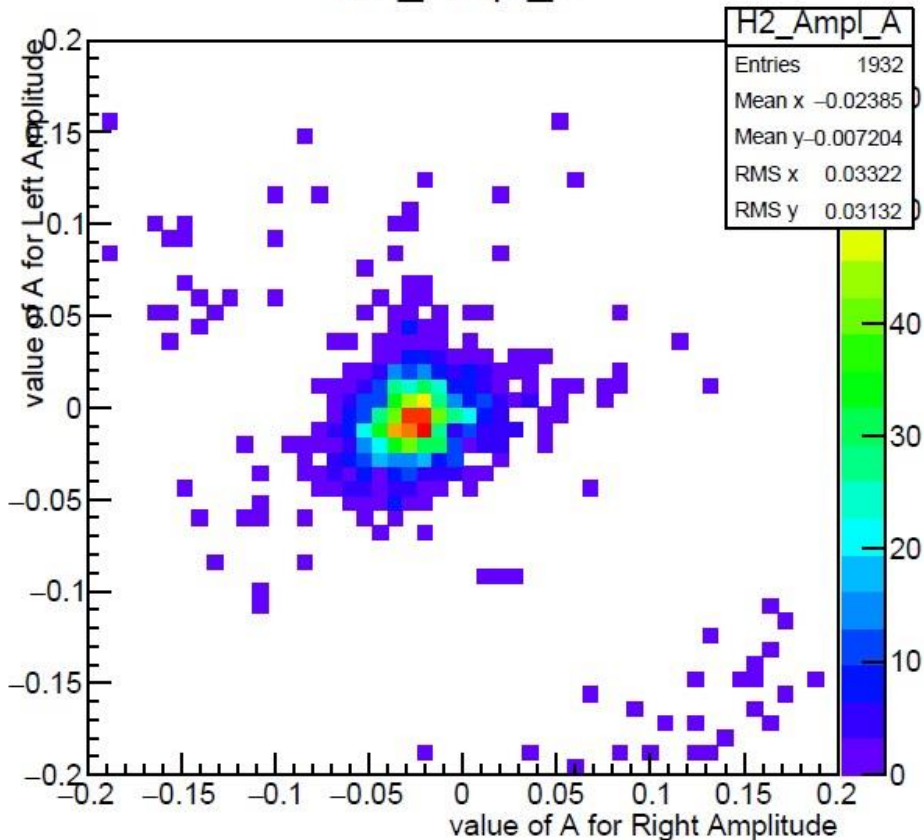


H2_AmplRight_AB

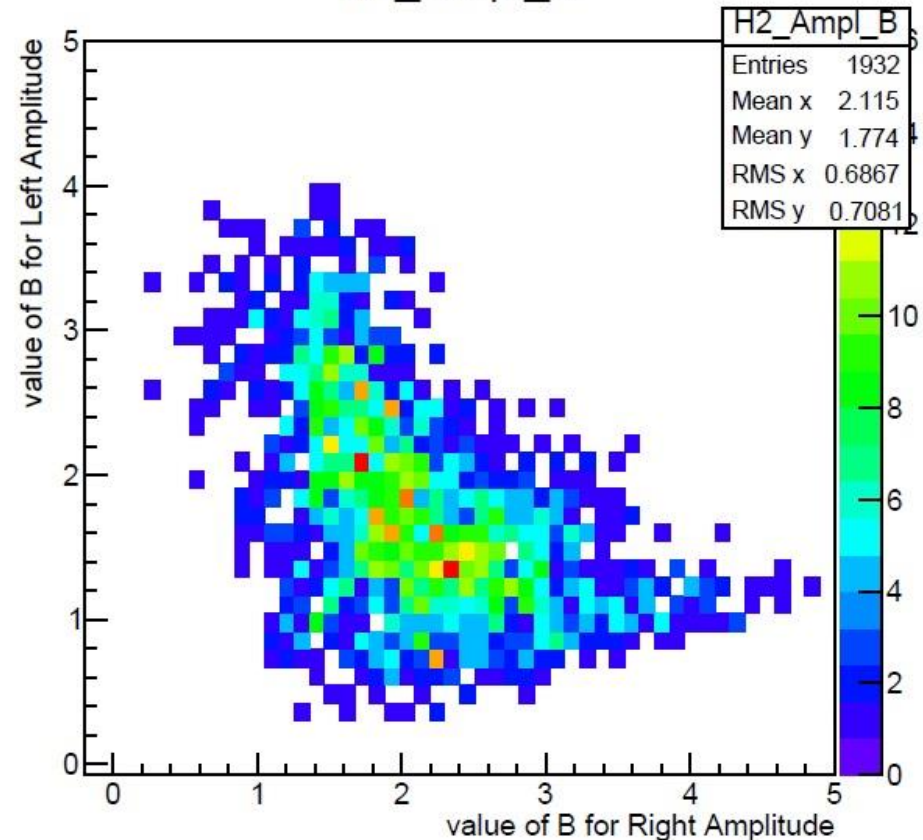


Окончательный результат можно сделать только для правого ФЭУ: амплитуда уменьшается на 2,8% в год, что свидетельствует о старении сцинтиллятора.

H2_Ampl_A



H2_Ampl_B



Разброс по параметру А объясняется разными условиями измерения и разным качеством кусочков сцинтилляционных полос, а также положением этих кусочков относительно ФЭУ.

Для параметра В видна антикорреляционная зависимость, так как амплитуда связана с расстоянием до ФЭУ.

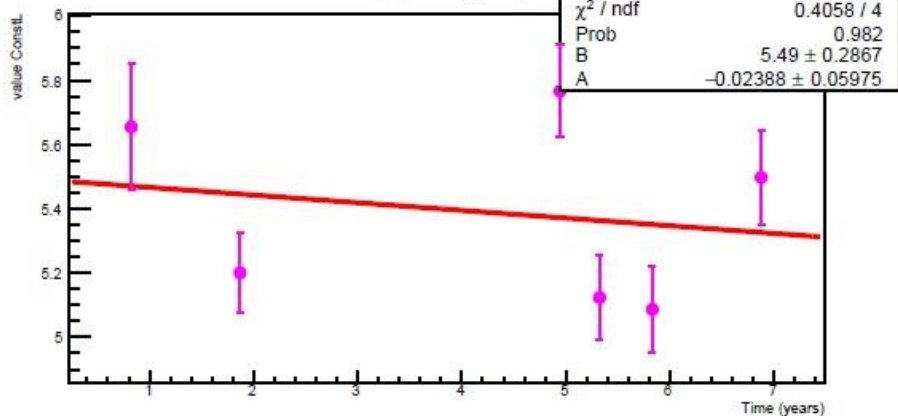
Графики зависимостей значений параметров аппроксимирующей функции от времени

Для левого ФЭУ

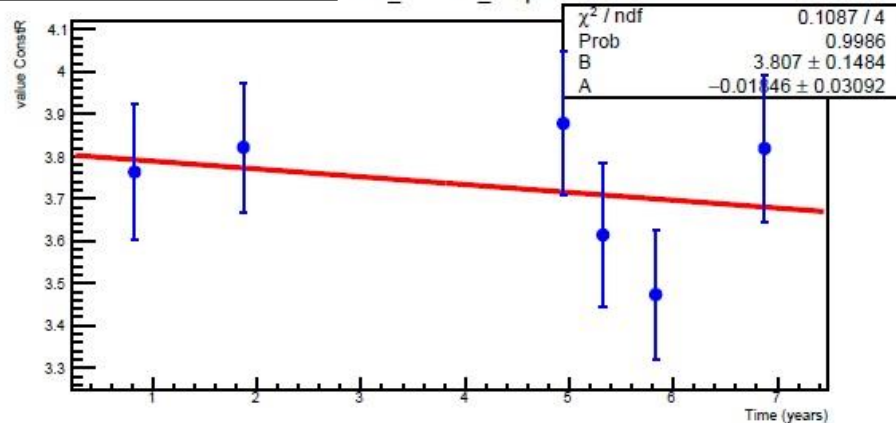
Функция фитирования: $Ax + B$

Для правого ФЭУ

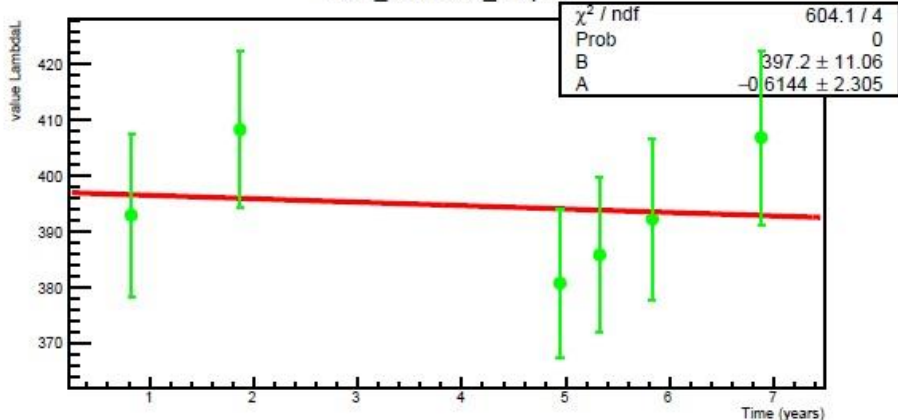
mGE_ConstL_Strip36



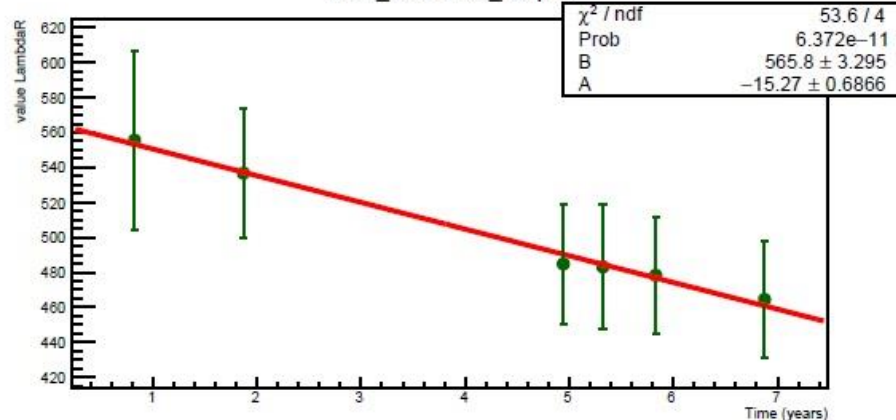
mGE_ConstR_Strip36



mGE_LambdaL_Strip36



mGE_LambdaR_Strip36



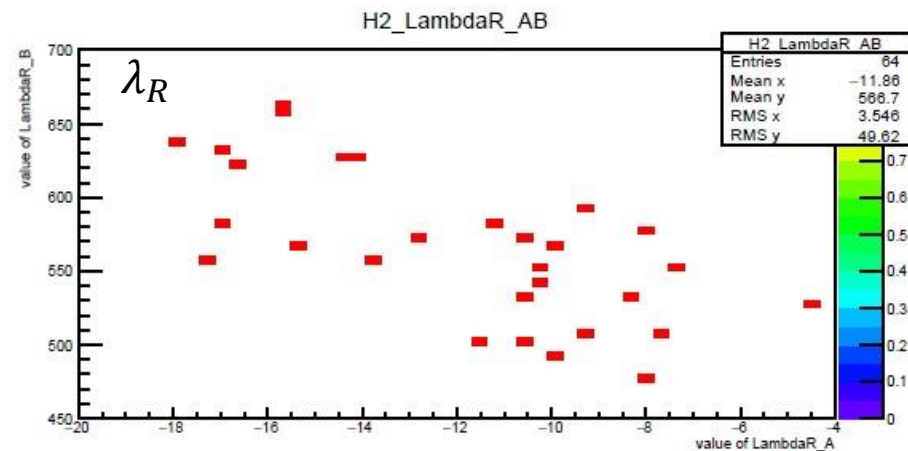
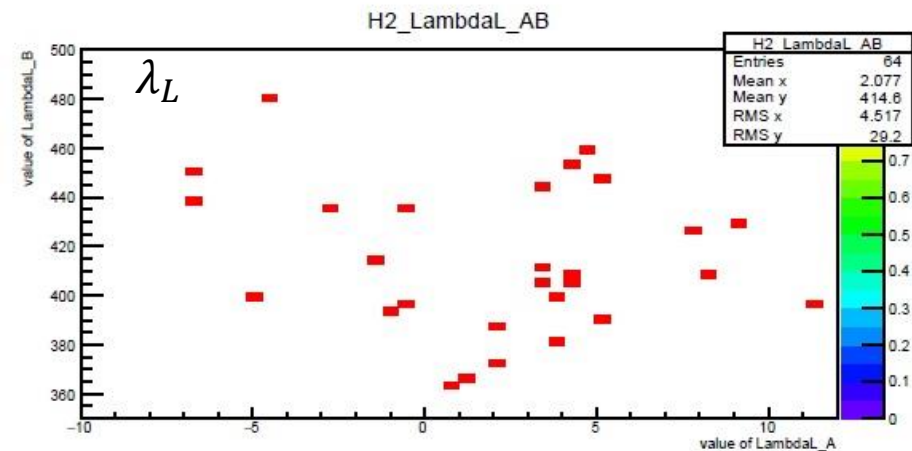
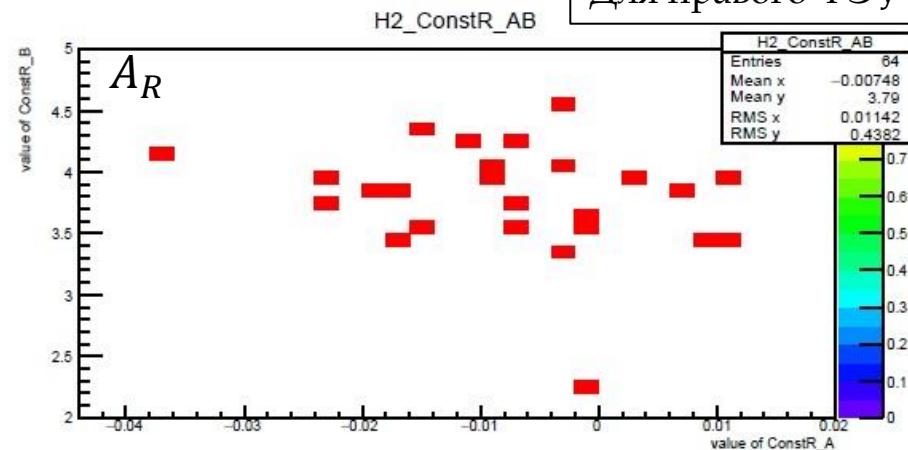
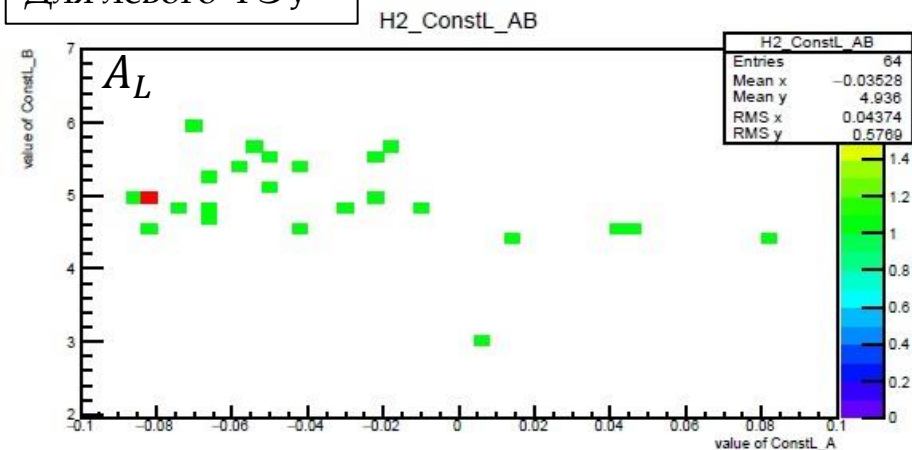
В результате фитирования получены параметры прямых, из которых можно получить информацию о том, как изменялись значения параметров функции, аппроксимирующей зависимость амплитуды от расстояния, со временем.

Параметры (А и В) линейной зависимости коэффициентов аппроксимирующей функции от времени

Анализ полученных результатов дает нам знание об изменении характеристик самого сцинтиллятора или спектросмещающего волокна со временем.

Для левого ФЭУ

Для правого ФЭУ





Выводы

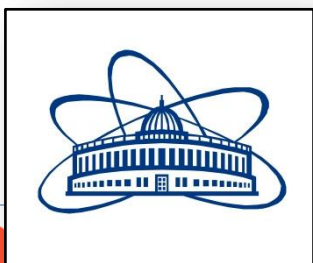
- В результате анализа данных, полученных на специальном прототипе для исследования изменения характеристик ТТ детектора со временем в нестабильных условиях, было получено изменение амплитуды сигнала в образцах сцинтиллятора в среднем на 2.8% в год. Ранее, в эксперименте OPERA, в условиях постоянной температуры и влажности наблюдалось изменение амплитуды на уровне 1.7% в год, согласующееся с оценками производителя, сделанными косвенными методами (1.68%/год).
- Параметр затухания света в фибере изменяется на $(2.0 \pm 0.6)\%$ в год.
- Из полученных в данной работе результатов следует вывод о необходимости соблюдения контроля температуры и влажности в помещении в период хранения детекторов ТТ до начала эксперимента. Также важную роль может сыграть проведение мониторинга отклика детекторов ТТ на космические мюоны, которое должно быть запущено после доставки детекторов в Китай в середине 2017 года.



Дальнейшие цели

- До запуска Top Tracker детектора в 2020 году коллаборация JUNO собирается контролировать изменение его свойств в результате процесса старения, регистрируя мюоны в период хранения детекторов в Китае.
- В настоящее время разрабатывается программное обеспечение для сбора данных от космических мюонов и их обработки для контроля за изменением характеристик детектора ТТ. Система должна быть запущена этим летом.

Прототип ТТ детектора в ОИЯИ



Список использованной литературы:

- Background suppression in the JUNO experiment, Yury Gornushkin, Vit Vorobel, 2016
- JUNO Conceptual Design Report, 2015
- Neutrino Physics with JUNO, 2016
- The Performance and Long Term Stability of the D0 Run II Forward Muon Scintillation Counters, V. Bezzubov, D. Denisov, V. Evdokimov, V. Lipaev, A. Shchukin, I. Vasilyev
- The White Book. JINR neutrino program, Vadim Bednyakov, Dmitry Naumov, 2014
- Физика нейтрино и ОИЯИ, В.А. Бедняков, Д.В. Наумов, О.Ю. Смирнов, 2016

