

Министерство образования и науки Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ»
ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ
И КОСМОЛОГИИ

Отчет по НИР на тему:

Исследование α -активности в детекторе DEAR-3600

Научный руководитель

к.ф.-м.н.

_____ А.В. Гробов

Выполнил

студент гр. М19-115

_____ М.А. Семичева

г. Москва

2020

Аннотация

Данная работа содержит основные результаты исследования α -активности в детекторе DEAP-3600. В первой главе представлено описание детектора и ожидаемые фоновые события. Во второй главе описан анализ экспериментальных данных, а именно результаты применения ограничений для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po , результаты вычисления весов компонент, вносящих вклад в спектр ^{210}Po . Также был продемонстрирован полученный спектр α -распадов ^{210}Po и результаты его фитирования в разном диапазоне количества фотоэлектронов. Кроме того, в работе представлена формула для дальнейшего вычисления активности ^{210}Po в детекторе.

Annotation

This paper contains the main results of study the α -activity in DEAP-3600 detector. The first chapter provides a description of the detector and expected background events. The second chapter describes the analysis of experimental data, namely, the results of applying the restrictions to highlight the region of events with ^{210}Po α -decays, results of calculating the component weights contributing to the ^{210}Po spectrum. The obtained spectrum of ^{210}Po α -decays and the results of its fitting in different ranges of quantities were also demonstrated. In addition, a formula for further calculation of ^{210}Po activity in the detector is presented in the paper.

Содержание

Введение	4
Глава I Эксперимент DEAP-3600	
1.1 Описание детектора	6
1.2 Ожидаемые фоновые события	9
1.2.1 Общее количество ожидаемых фоновых событий	9
1.2.2 Фоновые события от α -распадов ядер	9
1.2.3 Распад ^{210}Po	10
Глава II Анализ экспериментальных данных	
2.1 Спектр α -распадов ^{210}Po	12
2.2.1 Ограничения для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po ...	12
2.2 Анализ данных	16
2.2.1 Вычисление активности	16
2.2.2 Вычисление весов компонент	18
Заключение	23
Список литературы	24

Введение

Проблема скрытой массы или темной материи (ТМ) во Вселенной остается одной из наиболее важных нерешенных задач в астрофизике и космологии. Исходя из космологической модели «Лямбда-CDM» нерелятивистское вещество составляет $\approx 30\%$ от общей плотности вещества во Вселенной, из которых только 5% – барионная материя, остальная же часть – несветящаяся форма материи, не описанная Стандартной Моделью [1]. Свидетельствами наличия ТМ являются: изучение кривых вращения галактик (зависимость скорости вращения галактических объектов от расстояния до центра галактики), пространственные флуктуации реликтового микроволнового фона, проблема формирования крупномасштабной структуры Вселенной, гравитационное линзирование и другие. Не смотря на большое количество свидетельств существования ТМ, она все еще не была обнаружена в наземных экспериментах по ее прямому поиску.

Многие теоретические модели предсказывают существование частиц со свойствами, соответствующими свойствам ТМ [2]. Одним из кандидатов на роль частиц ТМ является слабо взаимодействующая массивная частица WIMP (weakly interacting massive particle). Согласно этой модели упругое рассеяние WIMP на ядрах детектора производит низкоэнергетические (100кэВ) ядра отдачи. Текущие результаты экспериментов по прямому обнаружению поставили ограничение на спин-независимое сечение WIMP-ядро: его значение ожидается $< 9.0 \times 10^{-47} \text{ см}^2$ при энергиях 100 ГэВ/ c^2 (при доверительном уровне 90%) [3].

Одним из ведущих экспериментов по поиску темной материи является эксперимент DEAP-3600. Коллаборация DEAP – это группа из более чем 65 исследователей из 18 учреждений Канады, Великобритании, Мексики, Германии, Испании и России, разработавших один из самых чувствительных детекторов для прямого обнаружения темной материи.

Малую вероятность обнаружения столь редких низкоэнергетических сигналов предполагается компенсировать большой массой мишени и низким

уровнем фоновых сигналов (менее 1 события на тонну вещества в год). Предыдущие экспериментальные результаты продемонстрировали эффективность использования жидкого аргона (LAr) для достижения данных условий [4]. Простота очистки, высокая эффективность сцинтилляций и прозрачность для собственного сцинтилляционного света делают его подходящим материалом для работы в качестве WIMP-детектора с массой в несколько тонн. Низкий уровень фона достигается благодаря расположению эксперимента. Детектор DEAP находится в глубокой подземной лаборатории SNOLAB (Садбери, Онтарио, Канада), которая использует двухкилометровый (6 км в водном эквиваленте) слой горной породы для фильтрации мюонов космических лучей, что в противном случае мешало бы обнаружению частиц WIMP.

Большая редкость искомого события делает отделение сигнала от фона одной из важнейших задач эксперимента. События, подобные сигналу от частиц WIMP, могут быть получены от различных источников фона, включающих: β - и γ -излучение в LAr и акриле, индуцированные нейтронами ядра отдачи в LAr, а также α -распады с поверхностей, контактирующих с LAr.

Данная работа посвящена исследованию α -активности в различных частях детектора. Таким образом, главными целями работы стали:

- Получение спектра распада ^{210}Po ;
- Выделение региона событий с α -распадами ^{210}Po ;
- Определение вклада различных компонент в общую активность ^{210}Po .

Глава I Эксперимент DEAP-3600

1.1 Описание детектора

Схема поперечного сечения детектора DEAP-3600 показана на рисунке 1. Полная конструкция детектора подробно описана в [5].

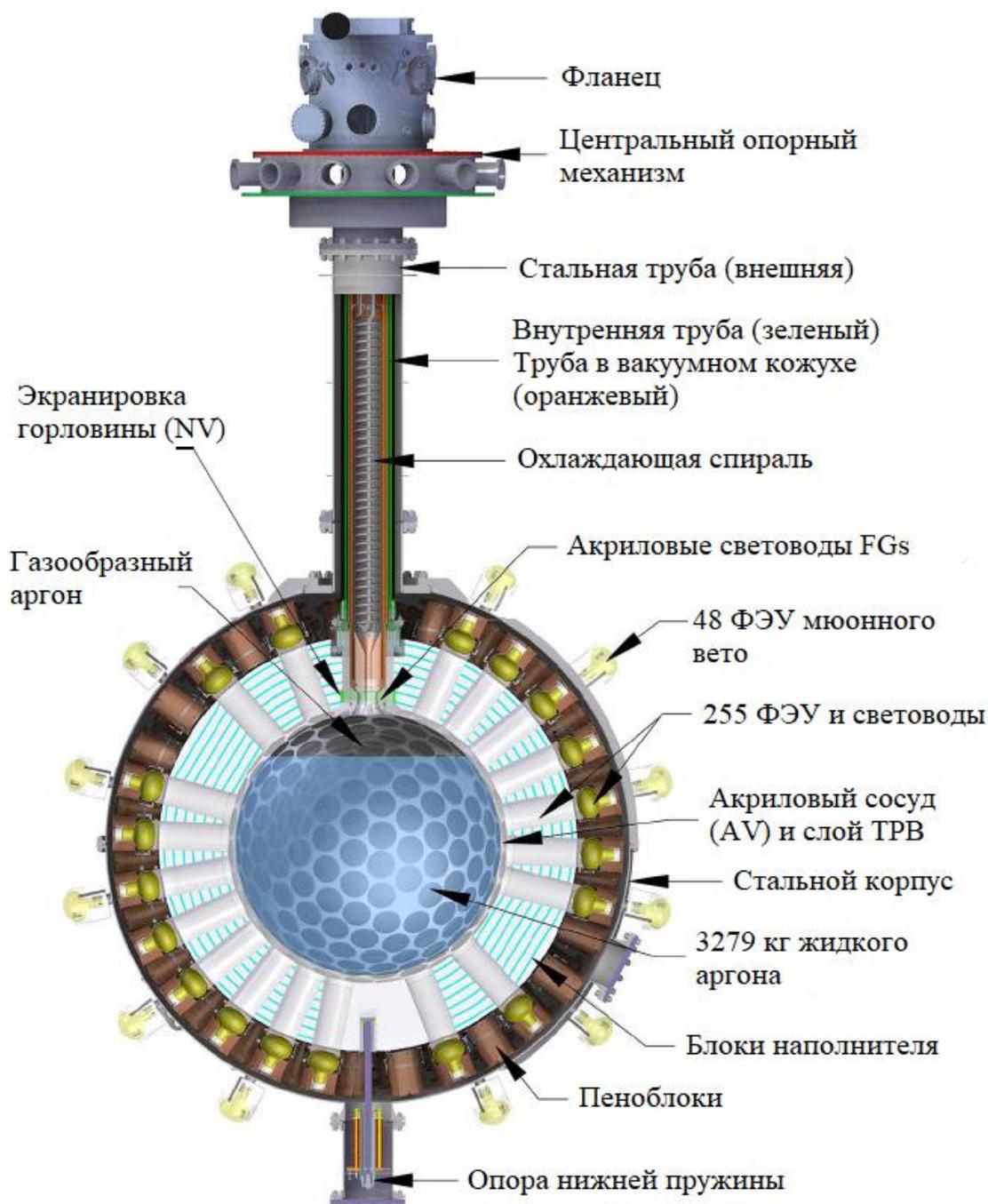


Рисунок 1 Схема поперечного сечения детектора DEAP-3600.

Детектор расположен внутри водного резервуара (на рисунке не показан). Основной компонентой является ультрачистый жидкий аргон LAr, содержащийся в акриловом сосуде (AV) толщиной 5 см с поглотителем ультрафиолета (UVA) внутреннего диаметра 1,7м. Этот UVA был выбран для уменьшения черенковского света, излучаемого из акрила. Верхние 30 см AV заполнены газообразным аргонном (GAr). Поверхность соприкосновения двух сред GAr/LAr расположена на 55 см выше экватора сосуда. Области газообразного и жидкого аргона просматриваются матрицей из 255 обращенных внутрь сферы фотомножителей (PMT) с низкой радиоактивностью Hamamatsu R5912 HQE диаметром 80 мкм. Характеристики этих PMT описаны в [6]. ФЭУ оптически связаны с акриловыми световодами (LGs) длиной 45 см, которые транспортируют видимые фотоны от AV к PMT. Объем между световодами заполнен чередующимися слоями полиэтилена высокой плотности и пенополистирола, которые обеспечивают пассивное экранирование нейтронов от компонентов детектора, таких как PMT.

Внутренняя поверхность акрилового сосуда покрыта слоем 1,1,4,4-тетрафенил-1,3-бутадиена (TPB) толщиной 3 мкм, который преобразует сцинтилляционный свет с длиной волны 128 нм, генерируемый LAr, в свет в видимом диапазоне с длиной волны, максимум которой достигается при 420 нм. После прохождения TPB свет достигает акрилового сосуда и светодиодов и далее попадает на поверхности ФЭУ. Эти соединенные с LG ФЭУ обеспечивают 76% покрытия поверхности сосуда детектора. На поверхности резервуара имеется 11 различных «пятиугольных» областей с меньшим покрытием световодами: диаметр каждого меньше, чем LG. За исключением этих пятиугольных областей, световоды равномерно покрывают внешнюю поверхность резервуара. Внешние поверхности между AV и LG и между самими LG соответственно покрыты диффузными отражателями Tyvek и Mylar для увеличения светосбора.

Сферическая симметрия объема детектора нарушается отверстием в верхней части AV, которое ведет к акриловой горловине и фланцу. Этот фланец

соединен с более длинной горловиной с вакуумной рубашкой из нержавеющей стали, заканчивающейся в герметизированном боксе. Горловина содержит охлаждающую спираль из нержавеющей стали, заполненную жидким N₂ (LN₂), который конденсирует газообразный аргон во время наполнения и эксплуатации. Конденсированный жидкий аргон поступает в объем детектора, направляемый набором акриловых токопроводов (FGs), расположенных в отверстии горловины. Эти токопроводы направляют поток аргона к охлаждающей спирали и от нее во время работы детектора.

Два пучка непокрытых оптических волокон Kuraray Y11, сдвигающих длину волны, обернуты вокруг основания внешней поверхности горловины сосуда. Оба конца каждой связки соединяются с ФЭУ Hamamatsu R7600-300. Всего имеется 4 ФЭУ для экранировки горловины (NV). Они расположены над блоками наполнителя, окружающими горловину сосуда. Расстояние от центра сосуда до блоков такое же, как и до ФЭУ. Экранировка горловины используется для маркировки любого видимого света, генерируемого вблизи горловины, относительно нечувствительной к фотонам области детектора.

Вся сборка содержится в сфере из нержавеющей стали, которая продувается постоянным потоком очищенного от радона Rn газа N₂. Эта сфера погружена в резервуар для воды, имеющий размеры 7,8 м в высоту и 7,8 м в диаметре, с 48 наружными ФЭУ Hamamatsu R1408, установленными на его внешней поверхности. Совместно эти ФЭУ и резервуар для воды составляют черенковское мюонное вето (MV), используемое для мечения космогенно-индуцированных фонов, в то время как защитная вода обеспечивает подавление нейтронного и гамма-фона от стен лаборатории.

Сверху мюонного вето вокруг сферы из нержавеющей стали размещена серия калибровочных трубок. Эти трубки позволяют устанавливать радиоактивные источники в MV вокруг детектора для его калибровки с помощью источников нейтронов и γ -излучения. Калибровочные источники могут быть размещены с набором детекторов, просматриваемых дополнительной парой

калибровочных ФЭУ, позволяющих выделять события, совпадающие с радиоактивным распадом источника.

1.2 Ожидаемые фоновые события

1.2.1 Общее количество ожидаемых фоновых событий

Общее количество прогнозируемых фоновых событий в интересующей области поиска WIMP может быть выражено следующим образом:

$$N_{\text{bkg}} = N_{\text{er}} + N_{\text{Cher}} + N_{\text{n, rdg}} + N_{\text{n, csg}} + N_{\alpha, AV} + N_{\alpha, \text{neck}},$$

где N_{er} – ожидаемое количество фоновых событий от электронов отдачи, N_{Cher} – ожидаемое количество фоновых событий, произведенных черенковским излучением в акриловой поверхности, $N_{\text{n, rdg}}$, $N_{\text{n, csg}}$ – количество событий от радиогенных и космогенных нейтронов, $N_{\alpha, AV}$, $N_{\alpha, \text{neck}}$ – число α -распадов в акриловом сосуде AV и в направляющей трубе.

В данной работе рассматриваются фоновые события, возникающие от α -распадов, а именно от α -распадов ^{210}Po .

1.2.2 Фоновые события от α -распадов ядер

α -активные ядра из уранового (^{238}U) и ториевого (^{232}Th) рядов, вносящие вклад в фоновые события в детекторе DEAP-3600, представлены в таблицах 1 и 2:

Таблица 1 Урановый радиоактивный ряд

Родительские ядра	Дочерние ядра	Период полураспада	Энергия распада (МэВ)	Мода распада
^{222}Rn	^{218}Po	3,832 д	5,590	α
^{218}Po	^{214}Pb	3,10 мин	6,114	α
^{214}Pb	^{214}Bi	26,8 д	1,024	β

^{214}Bi	^{214}Po	19,9 мин	3,272	β
^{214}Po	^{210}Pb	164,3 мкс	7,833	α
^{210}Pb	^{210}Po	22,3 г	0,0635	β
^{210}Po	^{206}Pb	138,376 д	5,407	α

Таблица 2 Ториевый радиоактивный ряд

Родительское ядро	Дочернее ядро	Период полураспада	Энергия распада (МэВ)	Мода распада
^{222}Ra	^{220}Rn	3,66 д	5,788	α
^{220}Rn	^{216}Po	55,6 с	6,404	α
^{216}Po	^{212}Pb	0,145 с	6,906	α
^{212}Pb	^{212}Bi	10,64 ч	0,573	β
^{212}Bi (35,94%)	^{212}Po	60,55 мин	6,207	α
^{212}Bi (64,06%)	^{208}Tl	60,55 мин	2,254	β, γ
^{212}Po	^{208}Pb	0,299 мкс	8,954	α
^{208}Tl	^{208}Pb	3,053 мин	5,001	β, γ

Рассмотрим фоновые сигналы от α -распадов ^{210}Po .

1.2.3 Распад ^{210}Po

Выборку событий α -распадов ^{210}Po , сгенерированную с помощью метода Монте-Карло, можно увидеть на рисунке 2. Ряд пиков представляют собой распады, произошедшие в разных частях детектора (в зависимости от удаленности до центра резервуара ГМС):

- На поверхности акрилового сосуда AV ($r_{\text{ГМС}} = 851,000$ мм)
- В толще акрилового сосуда ($851,000 < r_{\text{ГМС}} < 851,050$ мм)

- В толще TPB ($850,997 < r_{MC} < 851,000$ мм)
- На поверхности раздела LAr/TPB ($r_{MC} = 850,997$ мм)

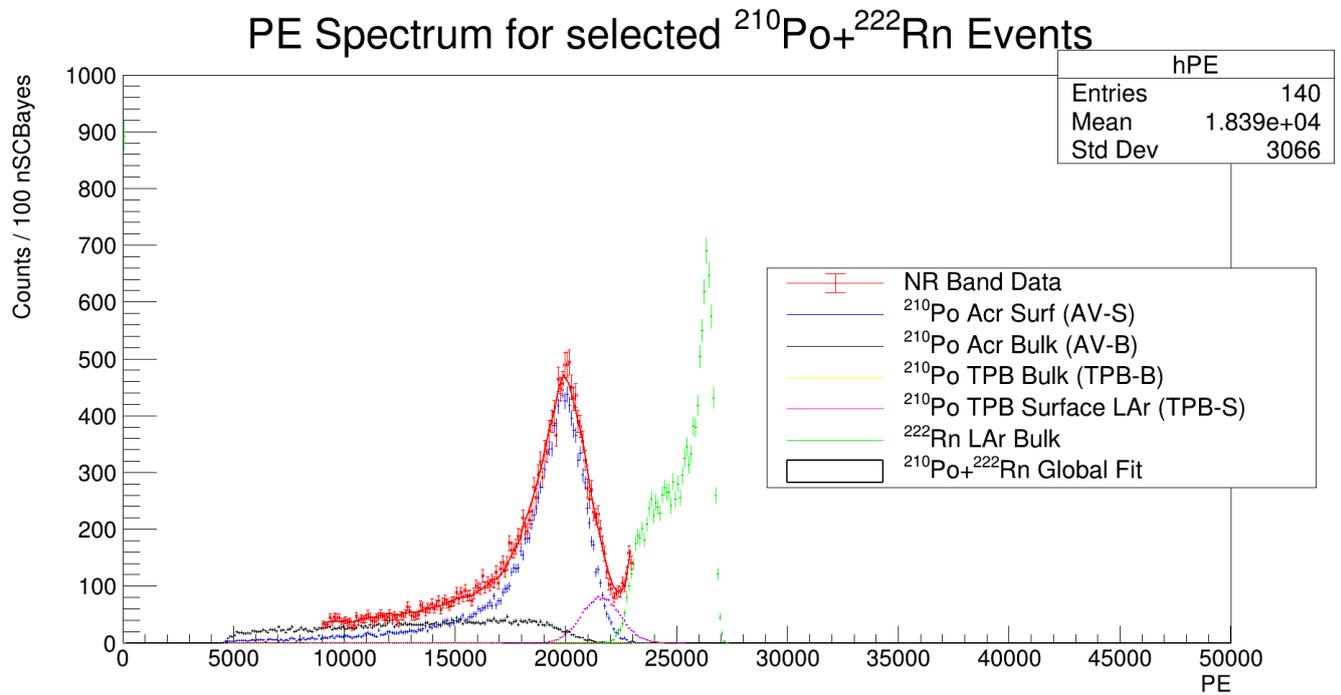


Рисунок 2 Распределения фотоэлектронов от α -распадов ^{210}Po в разных частях детектора, а также близлежащее распределение фотоэлектронов от α -распадов ^{222}Rn в объеме LAr: синим обозначены события от ^{210}Po на поверхности AV, черным – события от ^{210}Po в объеме AV, желтым – в объеме TPB, фиолетовым – на поверхности раздела TPB/LAr, зеленым – события от ^{222}Rn в объеме LAr, красным – суммарное количество событий.

Из распределения видно, что распределение фотоэлектронов от α -распадов ^{222}Rn в объеме LAr частично перекрывается с распределением фотоэлектронов от α -распадов ^{210}Po .

Глава II Анализ экспериментальных данных

2.1 Спектр α -распадов ^{210}Po

2.1.1 Ограничения для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po

Согласно данным совокупность α -распадов от ^{210}Po на акриловой поверхности AV, в объеме AV, а также в объеме ТРВ и на поверхности раздела ТРВ/LAr находится рядом с распределением α -распадов от ^{222}Rn .

Дискриминация формы импульса может быть использована для подавления электронов отдачи. Определим параметр дискриминации формы импульса F_{prompt} как долю фотоэлектронов, обнаруженных вблизи времени события. Максимальное разделение событий электронов отдачи (событий, вызванных β - и γ -излучением) и ядер отдачи было получено при использовании временного промежутка $[-28, 60]$ нс вокруг времени события.

На рисунке 3 представлено двумерное распределение α -распадов ^{210}Po . Из графика видно, что спектр ^{210}Po имеет широкое распределение по фотоэлектронам с хвостом, распространяющимся в область низких энергий.

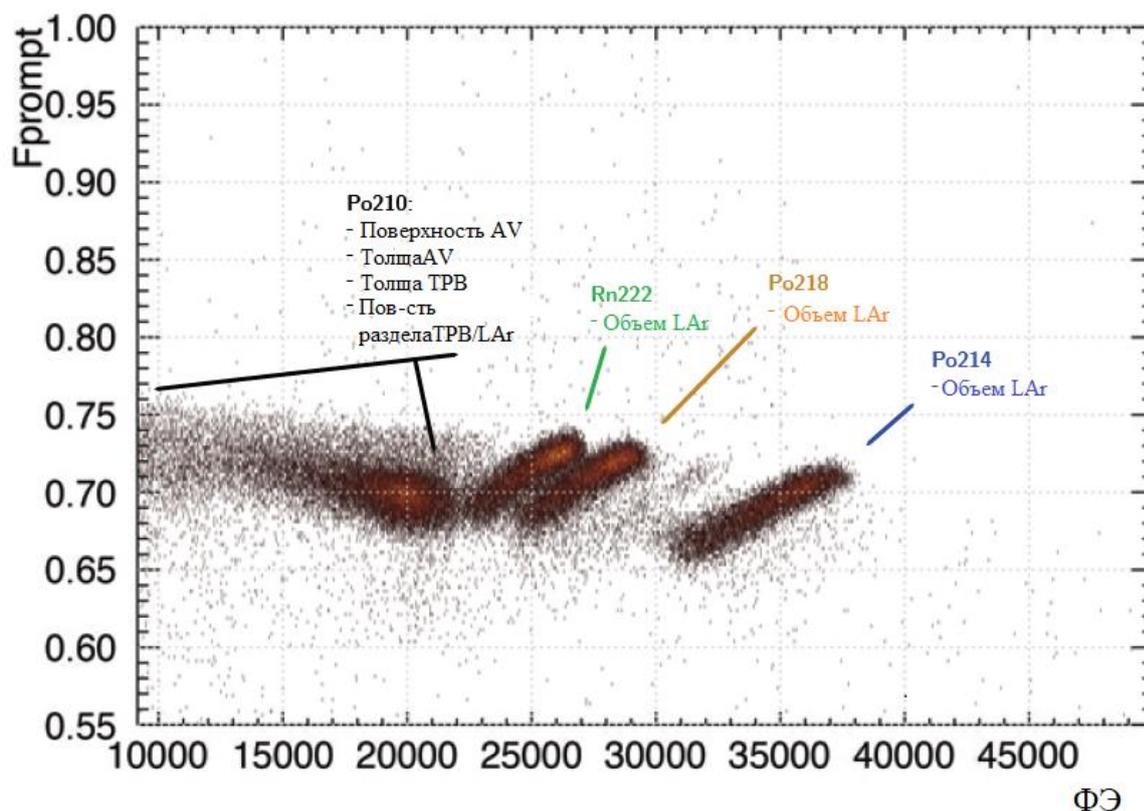


Рисунок 3 Распределение экспериментальных событий в координатах (F_{prompt} , $\Phi Э$ (количество фотоэлектронов)).

Для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po (а также для отделения его от близлежащих событий α -распадов ^{222}Rn) при анализе данных предлагается использовать следующие ограничения:

- $9,000 < \Phi Э < 23,000$: нижний предел 9,000 выбран так, что с одной стороны он имеет достаточно низкое значение, чтобы хвост распределения был идентифицирован и включен в анализ, а с другой стороны это значение на ~ 5000 фотоэлектронов больше «граничной» точки α -распадов ^{210}Po в горловине. Под «граничной» точкой имеется в виду то число $\Phi Э$, начиная с которого в сигнал не дают вклад распады ^{210}Po из горловины сосуда, которые отражаются от нижней части детектора и дают отдельный низкоэнергетический фон. Это вызвано тем, что на верхней поверхности сосуда присутствует тонкая пленка LAr. Верхний предел в 23,000 выбран с

учетом включения событий α -распада ^{222}Rn в фит и исключения событий α -распадов ^{218}Po , которые начинаются в районе $\sim 23,500$ ФЭ;

- $F_{\text{prompt}} > 0,55$: это ограничение выбрано так, что события электронной отдачи при более низких значениях F_{prompt} исключаются;
- $(!(\text{calcut}\&0x31f8))$, $(!(\text{dtmTrigSrc}\&0x82))$: ограничения, гарантирующие, что наблюдаемый в контрольной области сигнал был инициирован, когда система сбора данных работала оптимально, то есть, что сигнал не является внутренним триггером, связанным с внешним триггером мюонного вето, а так же не является результатом случайного срабатывания триггера;
- $\text{subeventN}==1$: удаление наложенных событий;
- $f_{\text{maxpe}} < 0,75$: ограничение, предназначенное для исключения черенковских событий.

В таблице 3 перечислены вышеизложенные ограничения, а также представлено количество событий α -распадов ^{210}Po , оставшихся после их применения.

Таблица 3 Ограничения, используемые для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po

№	Ограничивающая переменная	Используемые ограничения	Кол-во оставшихся событий	% оставшихся событий от изначального кол-ва
1	nSCBayes	$9,000 < PE < 23,000$	-	-
2	+fprompt	>0.55	22,391	-
3	+dtmTrigSrc	$(!(\text{dtmTrigSrc}\&0x82))$	22,377	-0.06
4	+calcut	$(!(\text{calcut}\&0x31f8))$	22,227	-0.67
5	+fmaxpe	<0.75	22,227	-0.00
6	+mblikelihoodZ	$<500. \text{ mm}$	21,728	-2.25
7	+subeventN	$==1$	20,814	-4.21

Итого:		20,814	-7.10%
--------	--	--------	--------

После наложения ограничений распределение событий в координатах (Fprompt, ФЭ) приняло следующий вид:

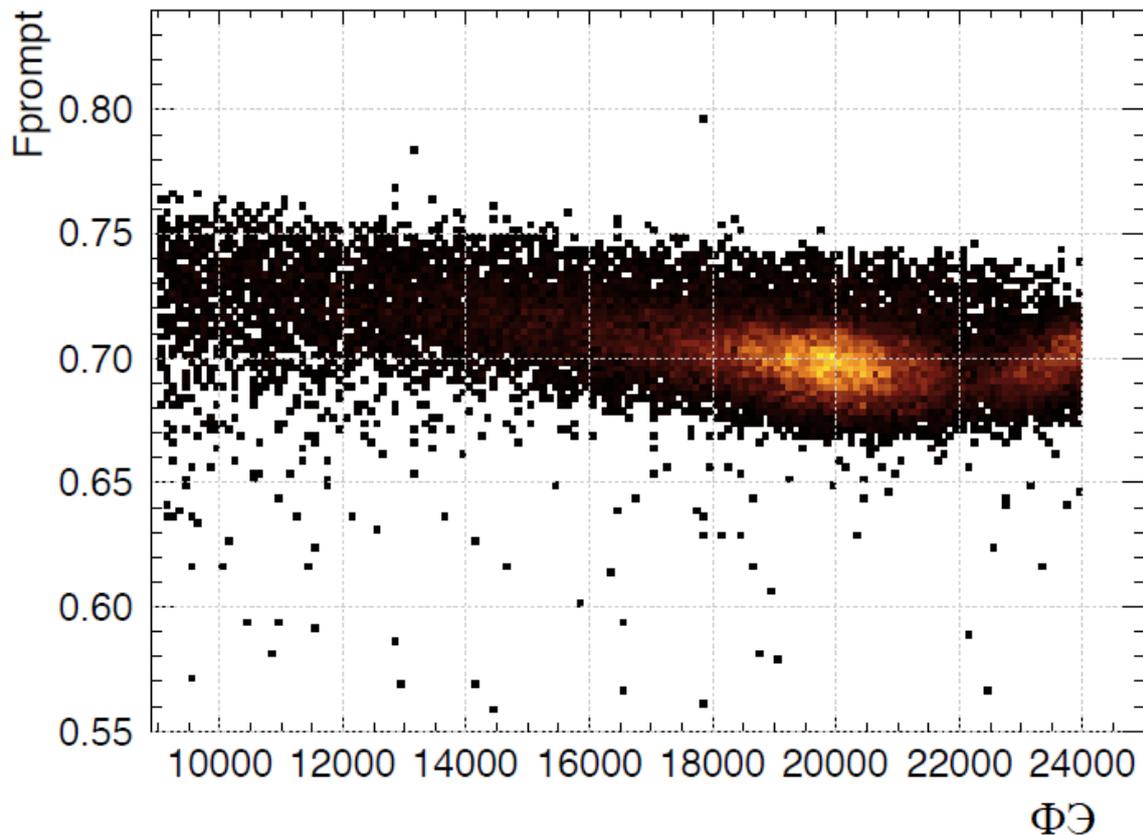


Рисунок 4 Распределение оставшегося количества событий после применения ограничений для выделения интересующей области событий от α -распадов ^{210}Po .

Для вычисления активности источника α -распадов и фита разных компонент (вклад распадов с поверхности AV, объема AV, объема TPB и поверхности раздела LAr/TPB) был построен одномерный график, представляющий те же данные, что и на рисунке 4.

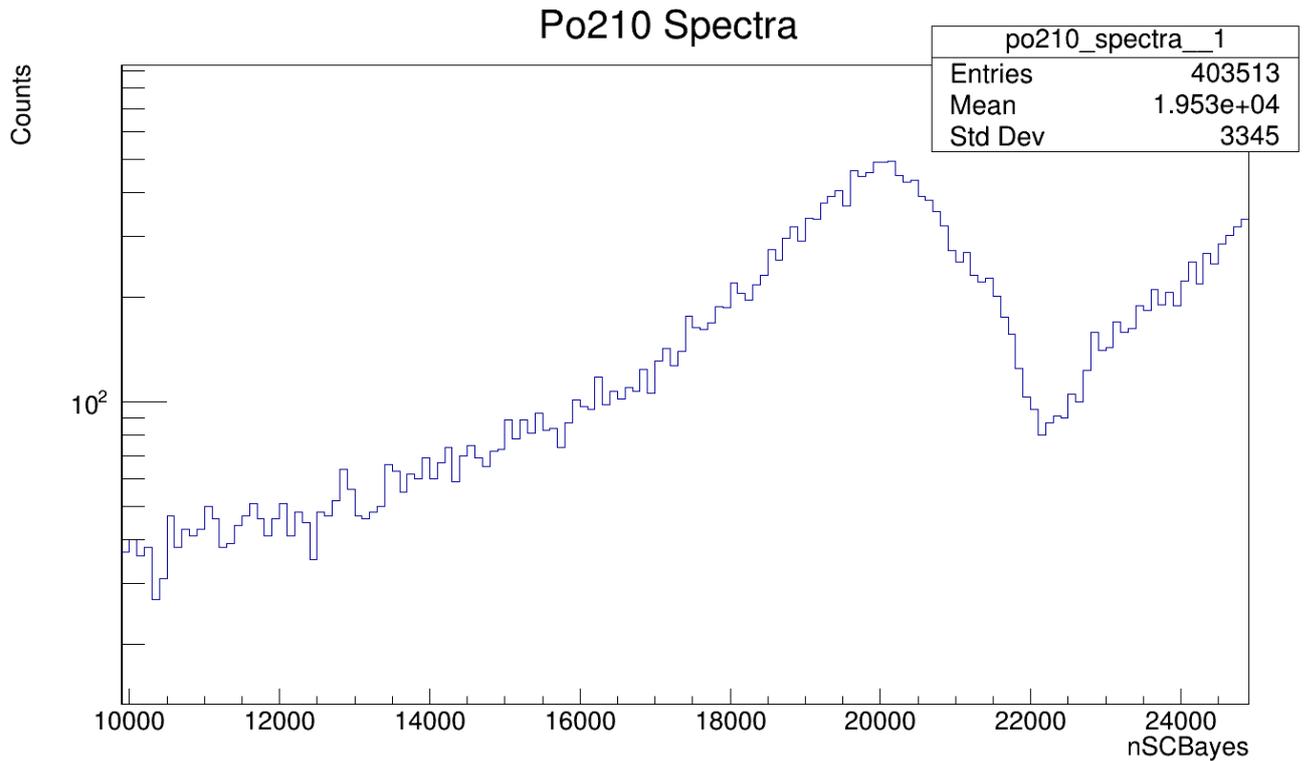


Рисунок 5 Распределение оставшегося количества событий после применения ограничений для выделения интересующей области событий от α -распадов ^{210}Po (одномерное распределение)

2.2 Анализ данных

2.2.1 Вычисление активности

Выражение, позволяющее определить вклад различных компонент в общую активность (здесь активность представлена как число срабатываний триггера детектора):

$$N_{trig} = \sum_u^{N_{comp}} (w^u \cdot f_{pileup} \cdot N_{trig}) = t_{live} \times \left(\sum_u^{N_{comp}} (\mathcal{A}^u \cdot \epsilon^u \cdot A^u) \right),$$

где $\sum_u^{N_{comp}} w^u = 1.0$

где N_{trig} – количество срабатываний триггера: полное число распадов, произошедших в детекторе, которые вызвали его срабатывание. Количество наблюдаемых событий в данных;

w^u – веса компонент: вклад каждого источника (сумма вкладов всех источников = 1);

f_{pileup} – коррекция наложений: учет триггеров, не учтенных при выборе ограничения $\text{subeventN}=1$;

A^u – активность: полное число распадов в единицу времени на единицу площади (или объема), которые произошли в детекторе, не зависимо от того, вызвали они срабатывание триггера или нет;

ϵ^u – вероятность срабатывания триггера: вероятность того, что данный распад вызовет срабатывание триггера детектора после учета всех наложенных ограничений из таблицы 3;

A^u – площадь поверхности (или объем) и масса: в зависимости от источника событий это либо площадь поверхности (распады ^{210}Po на акриловой поверхности AV, в ТРВ (аппроксимируется как поверхность) или на поверхности раздела ТРВ/LAr), либо объем (распады ^{210}Po в объеме AV или распады ^{222}Rn в объеме жидкого аргона), где происходили распады;

t_{live} – время набора данных: время, в течение которого проводились наблюдения.

Здесь u – индекс для каждой из компонент, вносящей вклад в спектр фотоэлектронов в выбранной области (с рисунков 4, 5). Как уже было сказано, для фитирования предполагается использовать 5 компонент:

- ^{210}Po на поверхности AV;
- ^{210}Po в объеме AV;
- ^{210}Po в объеме ТРВ;

- ^{210}Po на границе раздела LAr/TPB;
- ^{222}Rn в объеме LAr.

Таким образом, активность будет вычисляться по формуле:

$$\mathcal{A}^u \cdot A^u = \frac{w^u f_{pileup} N_{trig}}{\epsilon^u t_{live}} \quad [\text{Бк}]$$

2.2.2 Вычисление весов компонент

Чтобы определить значения весов компонент (w^u), выполняется фитирование каждой из компонент, как показано на рисунке 2 и одномерного спектра, полученного при анализе данных (рисунок 5). Фит состоит из двух наборов «размазывающих» параметров $(\sigma; \mu)_{\text{TPB}}$, $(\sigma; \mu)_{\text{LAr}}$ и пяти весовых коэффициентов w^u для каждого источника распадов. Параметры размытия $(\sigma; \mu)_{\text{TPB}}$ используются для определения гауссовой модели шероховатости поверхности слоя TPB. При Монте-Карло моделировании слой TPB реализован в виде идеального слоя толщиной 3 мкм, который локально параллелен как поверхности акрила со стороны AV, так и границе раздела с областью жидкого аргона на другой стороне. В действительности эта поверхность не идеально ровная, она имеет возвышения и впадины, которые образуют шероховатость поверхности слоя TPB. Это означает, что распределение энергии, выделяемой в жидком аргоне от распадов ^{210}Po с поверхности AV, является более широким, чем предсказывает моделирование Монте-Карло. Кроме того, фактическая толщина TPB в среднем может быть немного больше или меньше 3 мкм, что приводит к сдвигу числа зарегистрированных фотоэлектронов, поскольку количество энергии, потерянной в TPB, может быть меньше или больше предсказанного моделированием. Аналогично второй набор параметров размытия используется для учета не идеальной сферичности объема LAr. Эти параметры используются

только для вклада распадов ^{222}Rn в объем LAr. Полученные значения параметров представлены в таблице 5.

Таблица 4 Параметры компонент, вносящие вклад в спектр ^{210}Po

Параметр	Описание параметра	Начальное значение	Диапазон
σ_{TPB}	Размытие ширины пика для распадов ^{210}Po	1.0	[0.9,1.1]
μ_{TPB}	Размытие среднего для распадов ^{210}Po	0.0	[0,0.1]
σ_{LAr}	Размытие ширины пика для распадов ^{222}Rn в LAr	1.0	[0.9,1.0]
μ_{LAr}	Размытие среднего для распадов ^{222}Rn в LAr	0.0	[0,0.1]
w^0	Вес компоненты для ^{210}Po на поверхности AV	0.70	[0.01,1.0]
w^1	Вес компоненты для ^{210}Po в объеме AV	0.20	[0.01,1.0]
w^2	Вес компоненты для ^{210}Po на поверхности TPB	10^{-5}	[0.0,3.0]
w^3	Вес компоненты для ^{210}Po на поверхности раздела TPB/LAr	10^{-5}	[0.0,3.0]
w^4	Вес компоненты для ^{222}Rn в объеме LAr	10^{-5}	[0,0.1]

Таблица 5 Полученные значения весов компонент

Компонента	Значение, %
w^0	63.97

w^1	18.32
w^2	14.39
w^3	10^{-5}
w^4	3.31

Из сравнения графиков 2 и 5 становится ясно, что в зависимости от верхнего значения ФЭ, используемого для выполнения фитирования, будут получены разные результаты фита. Это можно объяснить тем, что для любого диапазона (бина) ФЭ вклад от различных компонент будет разным. Чтобы проиллюстрировать это, фитирование было выполнено несколько раз с использованием разных верхних значений ФЭ. Нижняя граница в 9000 ФЭ оставалась фиксированной. На рисунках 6,7 и 8 показаны три примера, в которых верхняя граница ФЭ была установлена равной 22000, 23000 и 24000 соответственно.

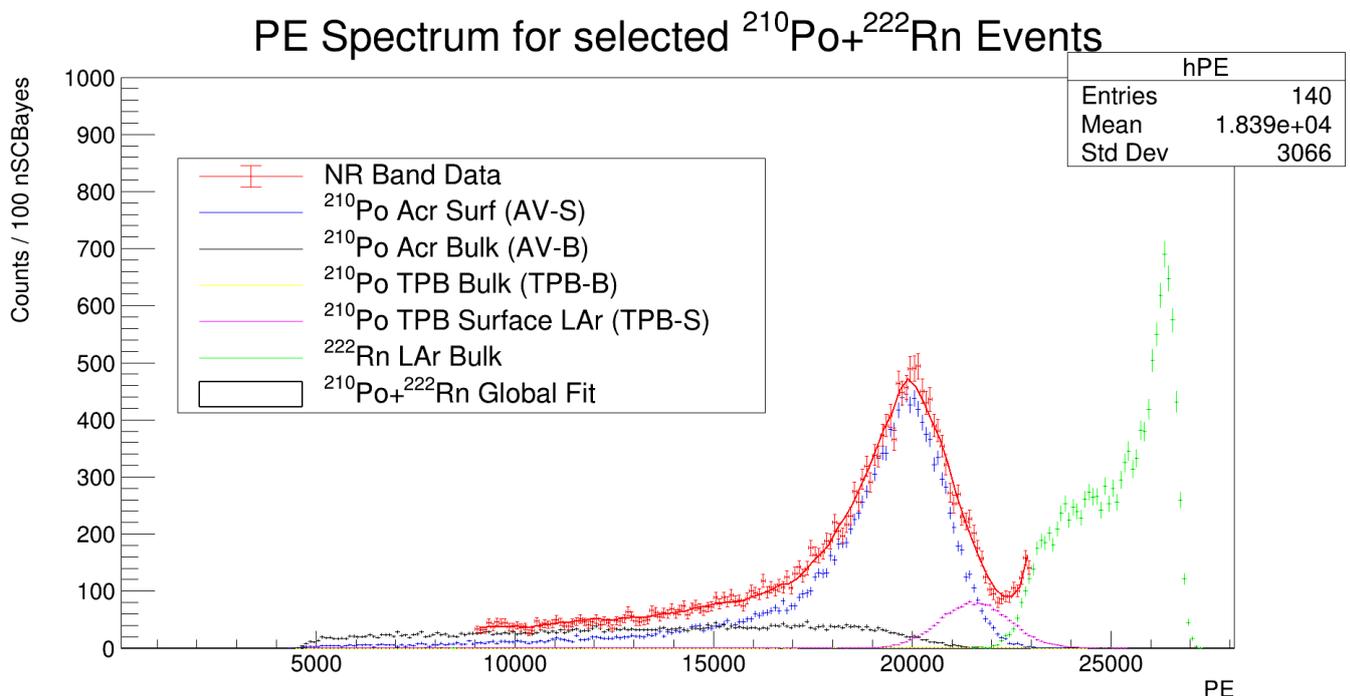


Рисунок 6 Фитирование спектра ^{210}Po в диапазоне 9,000-22,000 ФЭ

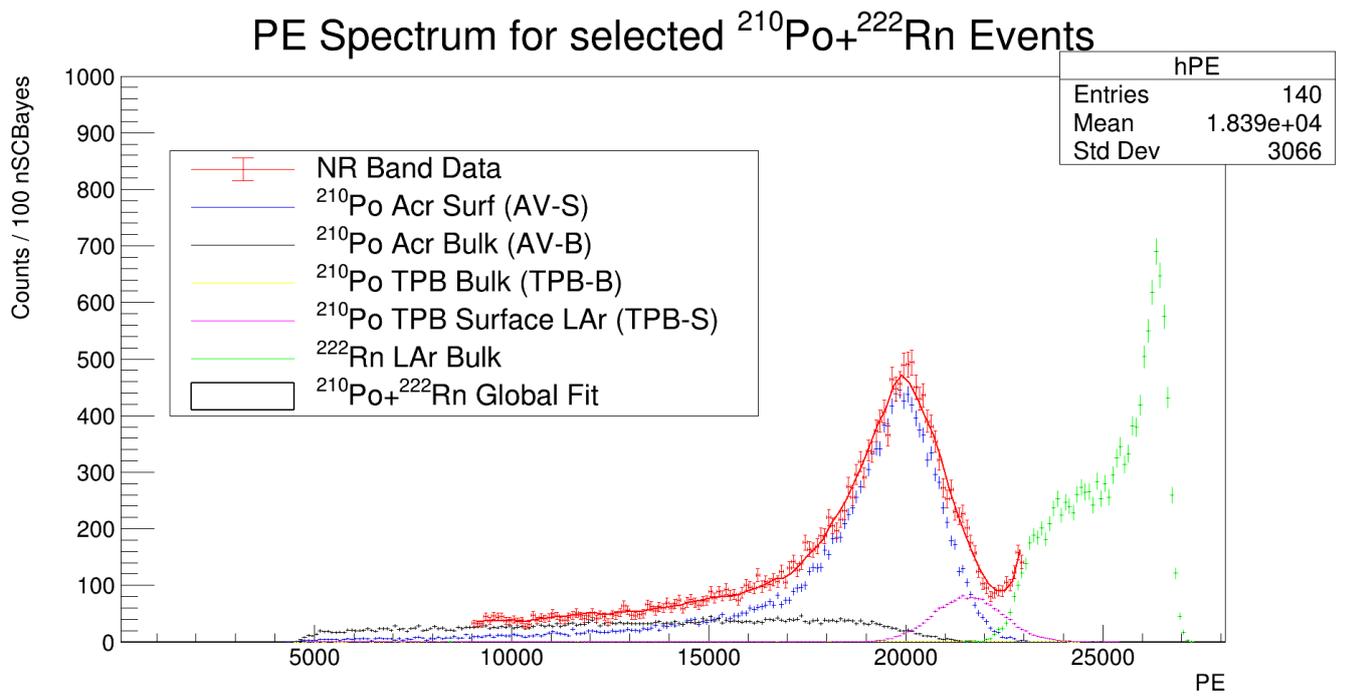


Рисунок 7 Фитирование спектра ^{210}Po в диапазоне 9,000-23,000 ФЭ

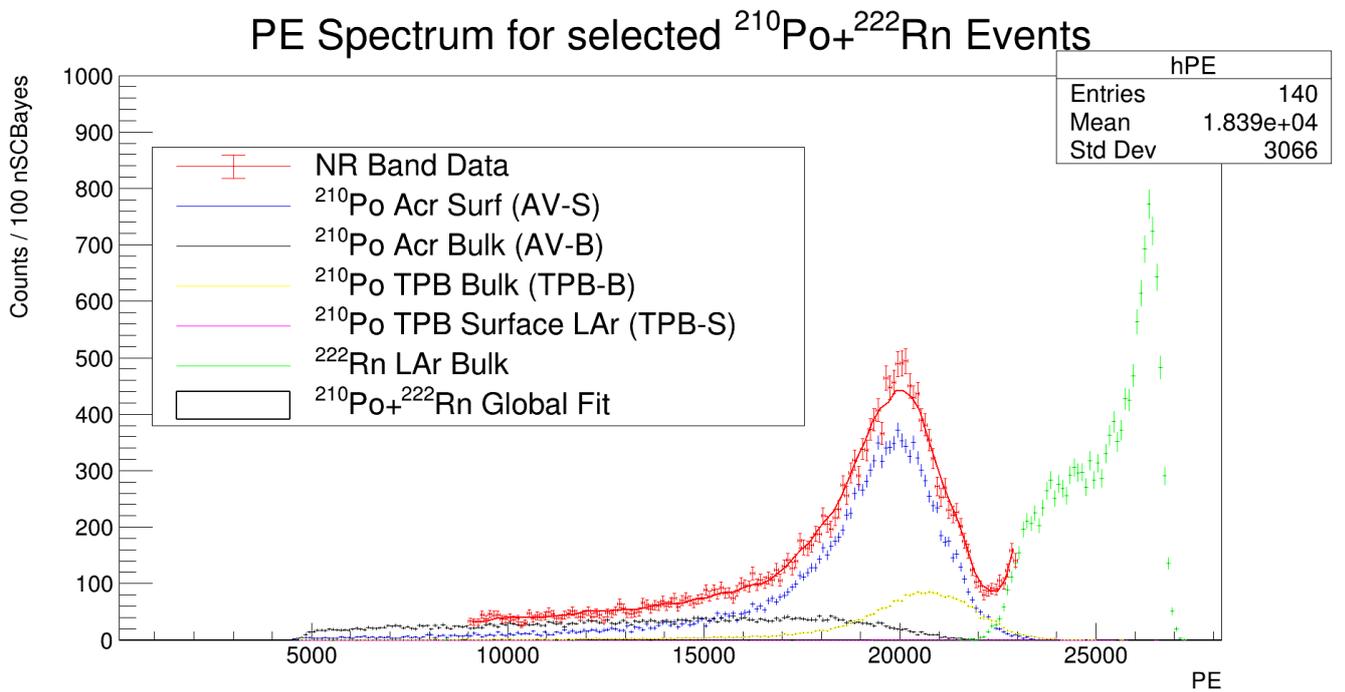


Рисунок 8 Фитирование спектра ^{210}Po в диапазоне 9,000-24,000 ФЭ

При дальнейшем увеличении диапазона ФЭ вклад акриловой поверхности AV в фит остается устойчивым к изменениям верхней границы ФЭ. Наибольшие изменения можно увидеть для компоненты поверхности раздела TPB/LAr в результате вклада от распадов ^{222}Rn .

В итоге весовые компоненты, используемые в дальнейшем, это те, которые были получены с верхним пределом в 23000 ФЭ ($\chi^2/\text{ndf} = 1.62$). Такой диапазон позволяет при фитировании наложить ограничения на вклад от ^{222}Rn в хвост распределения распадов ^{210}Po .

Заключение

Основными результатами проведенной работы стали:

- Ознакомление с экспериментом DEAP-3600, основными компонентами детектора и ожидаемыми фоновыми событиями;
- Применение ограничений для выделения региона событий с α -распадами ^{210}Po ;
- Вычисление весов компонент, вносящих вклад в интересующий регион событий;
- Построение и фитирование спектра α -распадов ^{210}Po .

В дальнейшем предполагается продолжить исследование α -активности в детекторе DEAP-3600 и рассчитать активность каждой из компонент исследуемого спектра ^{210}Po .

Список литературы

1. Горбунов Д.С., Рубаков В.А. Введение в теорию ранней Вселенной: Теория горячего Большого взрыва. Изд. 3-е, суц. перераб. и значит. доп. – М.: ЛЕНАНД, 2016. – 616 с.; цв. вкл. (стр.84)
2. G. Bertone, D. Hooper, and J. Silk, *Phys. Rep.* 405, 279 (2005).
3. E. Aprile et al. (XENON Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* 121, 111302 (2018).
4. P.-A. Amaudruz et al. (DEAP-3600 Collaboration), *Phys. Rev. Lett.* 121, 071801 (2018).
5. P.-A. Amaudruz et al. (DEAP-3600 Collaboration), *Astropart. Phys.* 108, 1 (2019).
6. P.-A. Amaudruz et al. (DEAP-3600 Collaboration), *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A* 922, 373 (2019).