

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

УДК 539.12

ОТЧЕТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОЭЛЕКТРОННОГО ШУМА В
ДЕТЕКТОРЕ DarkSide-50

Научный руководитель
к.ф.-м.н., доц.

_____ А. В. Гробов

Выполнила

_____ В. В. Верзакова

Москва 2020

Содержание

Содержание	1
1 Введение	2
2 Описание детектора Darkside-50	3
3 Одноэлектронные события	5
3.1 Запаздывающие сигналы	5
3.2 Анализ данных	6
3.3 Критерий отбора	7
4 Заключение	10

1 Введение

В настоящее время в мире действуют около 15 детекторов на основе жидких благородных газов. Детекторы отличаются друг от друга геометрической формой, размерами, конструктивными особенностями и типом мишени (детектирующим веществом). В основном, детектирующее вещество – это жидкие инертные газы: жидкий неон (LNe), жидкий аргон (LAr) и жидкий ксенон (LXe). В эксперименте MIMAS в качестве мишени используется изотоп гелия ^3He , тоже инертный газ, но в другом агрегатном состоянии. Мишени представляют собой особое детектирующее вещество – сцинтиллятор.

Газовые сцинтилляторы применяются главным образом для регистрации сильно ионизирующих короткопробежных частиц (осколков деления тяжелых ядер). В качестве газовых сцинтилляторов используются в основном чистые благородные газы (гелий, аргон, криптон, ксенон) и их смеси.

Время высвечивания сцинтилляторов $\sim 10^{-8}$ с и зависит от давления газа. Длины волн излучаемого света лежат в области «жесткого» (дальнего) ультрафиолета. Поэтому световые вспышки, возникающие в газе при прохождении заряженной частицы, не могут быть непосредственно зарегистрированы при помощи обычных ФЭУ (имеется ввиду ФЭУ серийного производства). Так, например, окно для фотокатода ФЭУ изготавливают из фторида магния (MgF_2), который пропускает диапазон длин волн $112 \div 830$ нм.

Основными характеристиками сцинтилляторов являются конверсионная эффективность, спектр излучения и время высвечивания

Конверсионная эффективность – это отношение энергии световой вспышки, к энергии, оставленной заряженной частицей в сцинтилляторе. Конверсионная эффективность характеризует эффективность преобразования сцинтиллятором энергии заряженной частицы в световую. Количество света, испускаемое сцинтиллятором, характеризуется световым выходом. Световой выход – это отношение энергии среднего числа фотонов люминесценции к энергии, потерянной ионизирующей частицей в сцинтилляторе. Временем высвечивания сцинтиллятора называется величина, характеризующая длительность свечения, – это время, в течение которого интенсивность свечения одной возбужденной структурной единицы вещества сцинтиллятора падает в e раз [1].

2 Описание детектора Darkside-50

Детектор Darkside-50 представляет собой двухфазную аргоновую время-проекционную камеру, схематически представленную на рис. 1. В качестве рабочего вещества используется 50 кг ^{40}Ar высокой степени очистки. Жидкая фаза аргона кипит, образуя слой газообразной фазы толщиной 1 см. В жидкой фазе поддерживается однородное поле напряженностью 200 В/см, на границе раздела фаз для экстракции электронов поле имеет напряженность 2,8 кВ/см, в газовой фазе поддерживается ускоряющее поле 4,2 кВ/см. На верхней и нижней поверхности расположены массивами 19 фотоэлектронных умножителей

Боковая поверхность активного объема LAr представляет собой тефлоновый отражатель. Внутренние поверхности тефлонового рефлектора покрыты тетрафенилбутадиеном, который смещает 128 нм аргонового сцинтилляционного света до 420 нм, позволяя обнаруживать ФЭУ [2].

При взаимодействии частицы с рабочим веществом в жидкой фазе, её энергия передается атомам и молекулам аргона путем возбуждения и ионизации. Фотоны регистрируются фотоумножителями и таким образом регистрируется сцинтилляционный сигнал (S1). Ионизационные электроны, выжившие после рекомбинации на месте событий, дрейфуют к границе раздела жидкой и газообразной фазы, где экстракционное поле впрыскивает их в газовую фазу, после чего в газовой фазе ускоряются за счет поля экстракции, возбуждая атомы аргона, которые также снимают возбуждение, испуская УФ фотоны. Так образуется ионизационный сигнал (S2) рис. 2.

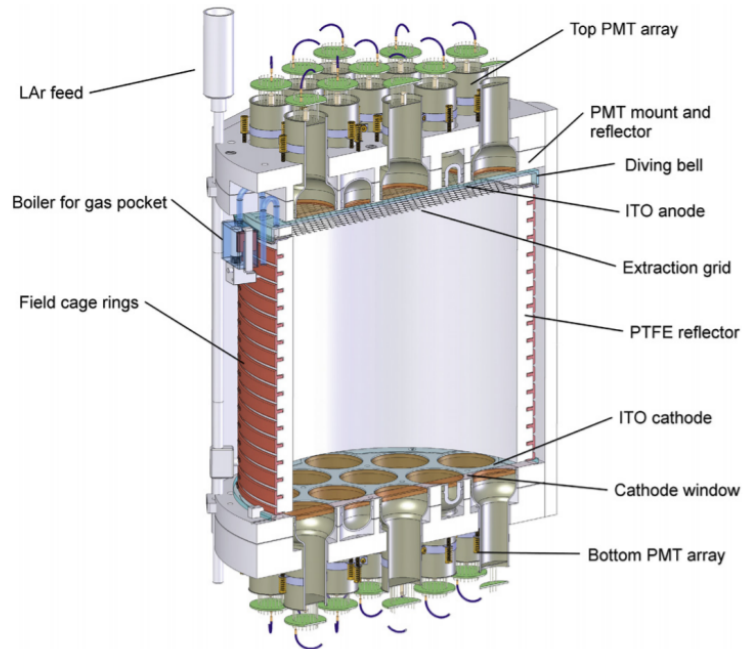


Рисунок 1 — Устройство детектора Darkside-50

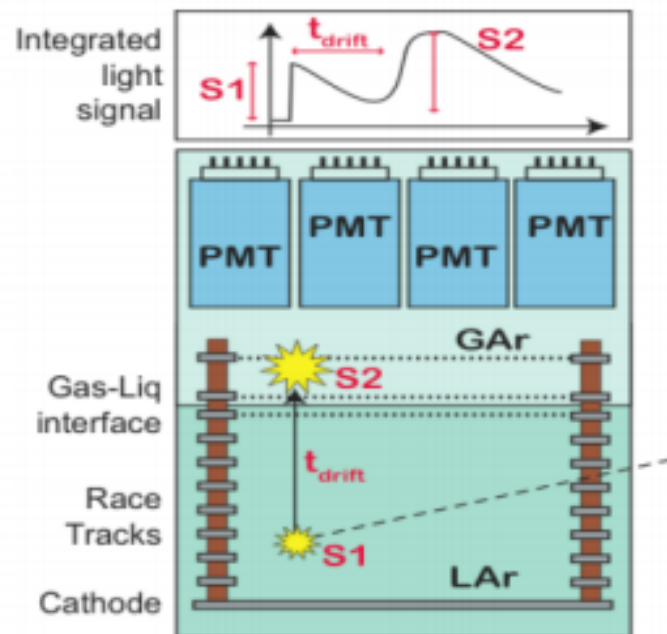


Рисунок 2 — Принцип работы времяпроекционной камеры детектора

3 Одноэлектронные события

3.1 Запаздывающие сигналы

Самым слабым сигналам S2 соответствуют события, в которых после взаимодействия из жидкой фазы извлекается только один электрон. Такие сигналы могут соответствовать не только взаимодействиям с рабочим веществом частиц с низкой энергией, но и электронам, которые по каким-либо причинам попадали в газовую фазу с задержкой относительно прочих электронов, образовавшихся в этом событии. Одной из причин возникновения данных событий может являться наличие в рабочем веществе примесей. Проверяется гипотеза, подтверждающая наличие примесей в рабочем веществе детектора. После взаимодействия частицы с ядром аргона дрейфующие в электрическом поле электроны могут на некоторое время присоединиться к молекулам примесей. Отделившийся электрон доставляется полем в газовую фазу, где происходит люминесценция и срабатывает триггер событий. Таким образом, запаздывающий электрон регистрируется как отдельное событие. Схематично процесс образования таких сигналов изображен на рис. 3 [3].

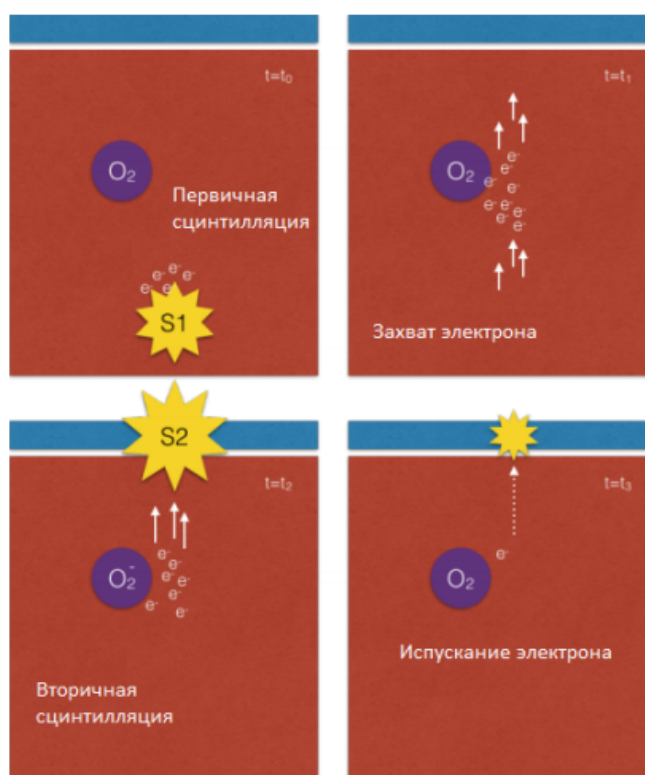


Рисунок 3 — Схематичное изображение механизма возникновения запаздывающего сигнала

3.2 Анализ данных

Анализ данных с эксперимента проводился с помощью программных пакетов объектно-ориентированной программы CERN ROOT. Данные, полученные в ходе эксперимента собираются в SLAD-файл. В работе рассматривался период работы детектора при выключенном фильтрующем устройстве (геттере). В период отключения геттера аргон циркулирует без прохождения фильтрации, поэтому со временем растет концентрация примесей. Соответственно, наблюдается рост количества одноэлектронных событий со временем. Принцип записи данных о событии таков, что если событие S1 имело недостаточно высокую энергию для регистрации, то сигнал S2 записывается как сигнал S1, а переменной, соответствующей энергии сигналу S2 присваивается нулевое значение. Так как в случае одноэлектронных событий сигнал S1 в силу малой энергии не регистрируется, для учета таких событий был применен отбор по форме сигнала. Он применим, потому что в случаях сцинтилляции в жидкой фазе и электролюминесценции в газовой фазе времена жизни соответствующих возбужденных состояний различаются.

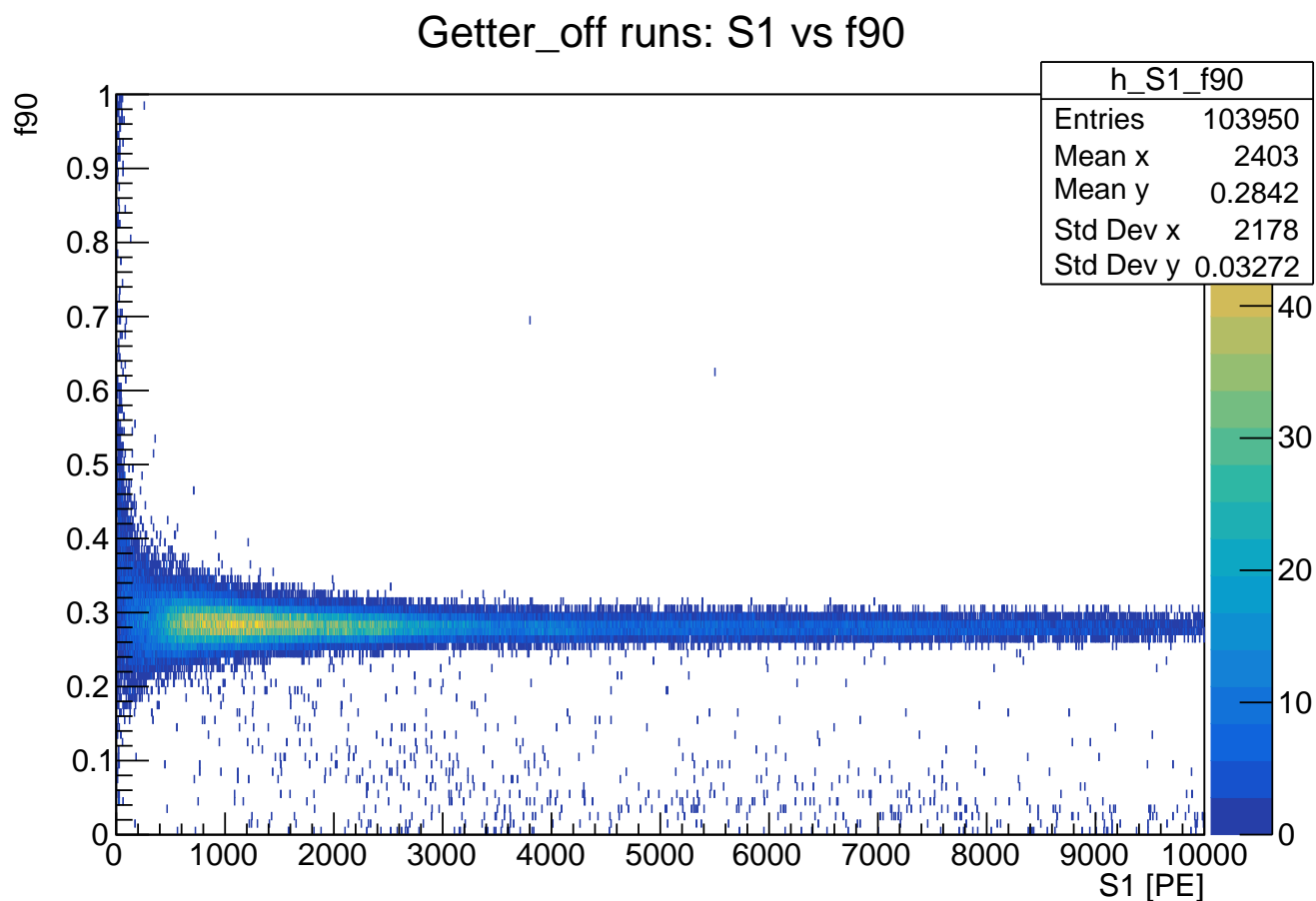


Рисунок 4 — f_{90} сигнала S1: одноэлектронным событиям соответствует область с $f_{90} < 0.15$.

Для отбора по форме сигнала используется параметр f_{90} , который равен отношению интегралу сигнала за первые 90 нс к интегралу сигнала за полное время события. (1)

$$f_{90} = \frac{\int_0^{90ns} s_1 dt}{\int_0^{7mcs} s_1 dt} \quad (1)$$

3.3 Критерий отбора

Для выделения одноэлектронных событий необходимо найти характерную величину сигнала S_2 , приходящуюся на извлечение одного ионизационного электрона в газовую фазу. Ожидается, что запаздывающие события будут возникать преимущественно после взаимодействий с частицами, имеющими достаточно большую энергию для возникновения существенного количества ионизационных электронов, так как с ростом числа электронов увеличивается вероятность их объединения с примесными частицами, что служит одной из причин регистрации запаздывающих сигналов.

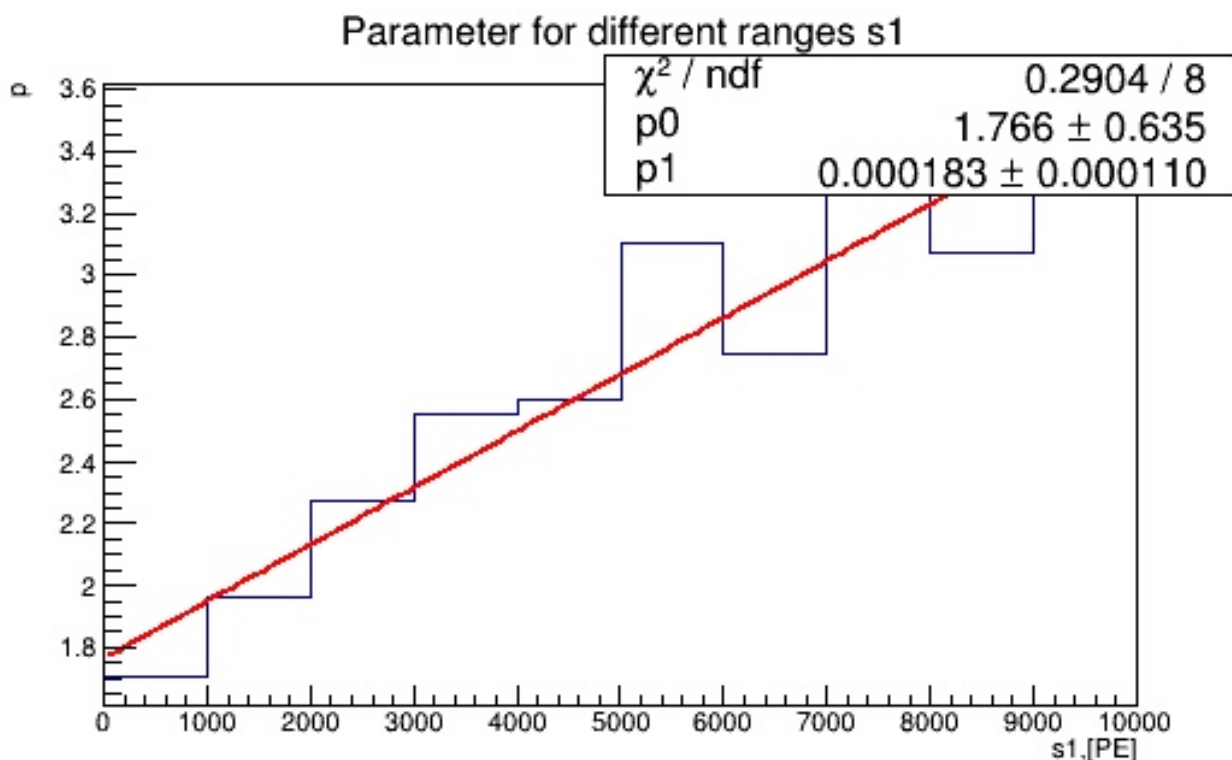


Рисунок 5 — График зависимости величины параметра от величины соответствующих энергетических выходов сигналов S_1

В качестве критерия отбора использовалось значение энергетического выхо-

да сигналов S1 исходного события. Был определен параметр p , соответствующий отношению количества одноэлектронных событий, приходящихся на общее число предшествующих этому событию сигналов S1. Было рассчитано 10 значений, относящихся к 10 различным диапазонам величины S1, с шагом в 1000PE. Посторен соответствующий график, представленный на рисунке 5.

По графику наблюдается рост значения параметра для больших диапазонов, а, следовательно, для большим энергиям S1 соответствует большее число одноэлектронных событий.

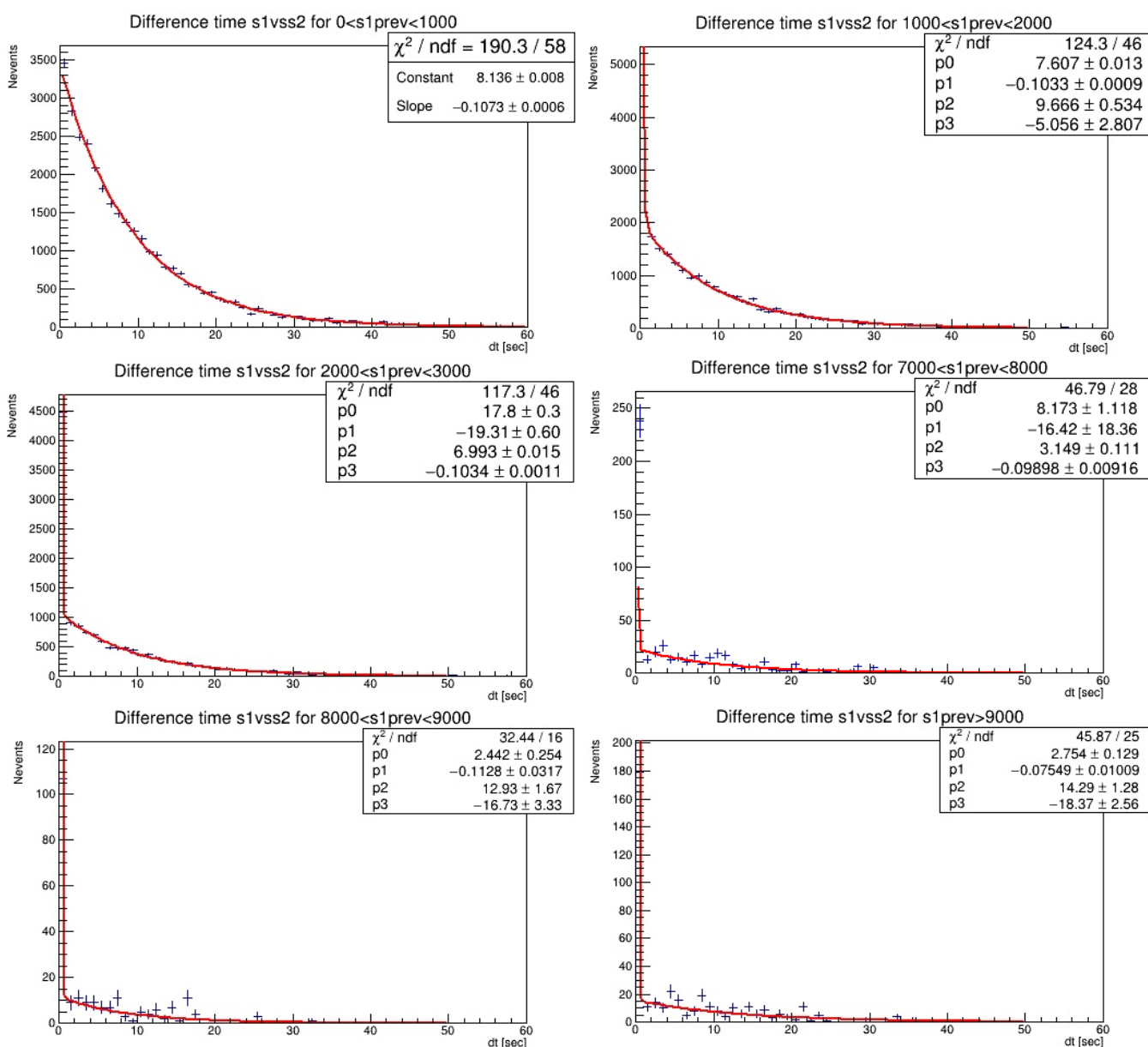


Рисунок 6 — Графики зависимости числа запаздывающих событий от времени, прошедшего после исходного события для различных диапазонов предшествующих сигналов S1. Красной кривой соответствует аппроксимация данных суммой двух затухающих экспонент

Было рассчитано время, прошедшее с момента предшествующего сигнала S_1 и построены графики зависимости числа запаздывающих одноэлектронных событий от полученного времени для 10 диапазонов величины S_1 . Графики для различных диапазонов величины S_1 качественно не отличаются друг от друга; все они аппроксимируются суммой двух затухающих экспонент, поэтому на рисунке 6 представлены зависимости для 3 первых и 3 последних диапазонов.

Из параметров аппроксимации можно оценить характерное время задержки электронов на атомах примесей, содержащихся в рабочем веществе. Время задержки - величина вероятностная, поэтому предполагается, что некоторые электроны могут оделяться от атомов примесей довольно быстро, в то время как другие могут подниматься на газовую поверхность спустя некоторое более продолжительное время. Для первой экспоненты оно варьируется в пределах 7-14 секунд, для второй - в районе 50-500 миллисекунд.

4 Заключение

В ходе исследовательской работы рассматривались фоновые одноэлектронные события в эксперименте Darkside-50, обусловленные наличием в рабочем веществе примесей. Для анализа данных был выбран период работы детектора во время отключения фильтрующего устройства, при котором наблюдается увеличение доли одноэлектронных событий со временем.

В работе проверялась гипотеза о зависимости количества одноэлектронных событий от величины энерговыхода событий S1. Получен график, на котором представлена зависимость величины относительного числа запаздывающих одноэлектронных событий к числу предшествующих им сигналов S1 для различных диапазонов сигналов S1. Полученная зависимость имеет линейный характер. Угол наклона графика:

$$k = (1.83 \pm 1.10) \cdot 10^{-4}$$

Было установлено, что событиям с большим энергетическим выходом S1 соответствует экстакция большего числа ионизационных электронов на поверхность газовой фазы. Дальнейшее изучение позволит разработать критерий отбора, исключаяющий фоновые события, которые обусловлены наличием примесей в рабочем веществе.

В результате работы было оценено характерное время задержки электрона на примеси. Данная оценка поможет при составлении критерия отбора, позволяющего выделить из анализа фоновые запаздывающие одноэлектронные события.

$$\tau_1 \in (7; 14)s$$

$$\tau_2 \in (50; 500)ms$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Лукьяшин А.* Детекторы для регистрации частиц корпускулярной темной материи на основе благородных (инертных) газов : тех. отч.
2. *DarkSide C. T.* DarkSide-50 532-day Dark Matter Search with Low-Radioactivity Argon // *Physical Review D.* — 2018. — P. 18.
3. *DarkSide C. T.* Low-Mass Dark Matter Search with the DarkSide-50 Experiment // *Physical Review Letters.* — 2018. — P. 9.