

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное автономное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

**ОТЧЁТ
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ**

**Подбор материала сцинтиллятора для детектора
плоскости событий эксперимента SPD на NICA**

Научный руководитель
к.ф.-м.н., ведущий инженер

_____ П. Е. Тетерин

Выполнил

_____ А. Д. Манаконов

Москва 2021

Оглавление

1	Цели работы	2
2	ВВС и SPD	2
3	Сцинтилляторы	4
4	Экспериментальная часть и результаты обработки	6
4.1	Установка САЕН	6
4.2	Результат обработки	8
	Список использованных источников	11

1 Цели работы

Основной задачей является проведение подбора материалов для сцинтилляционного детектора для эксперимента SPD на коллайдере NICA в Дубне. Освоить сцинтилляторы, которые уже есть, а затем образцы других. В дальнейшем задача заключается в подборке оптоволоконна, клея и фотоумножителя, для данного проекта.

2 ВВС и SPD

Два счетчика лучей (ВВС) будут расположены непосредственно перед системой PID в торцевых чашках установки SPD. Детектор должен состоять из двух частей: внутренней и внешней, которые на основе разных технологий. Внутренняя часть ВВС будет использовать быстросегментированную пластину MicroChannel. Концептуальный проект Детектора спиновой физики 99 (MCP) детекторы и должны работать внутри лучевой трубы, в то время как внешняя часть ВВС будет производиться из быстрых пластиковых сцинтилляционных плиток. Внутренняя часть охватывает приемку $30 \div 60$ мрад и должна быть разделен на 4 слоя, состоящих из 32 азимутальных секторов.

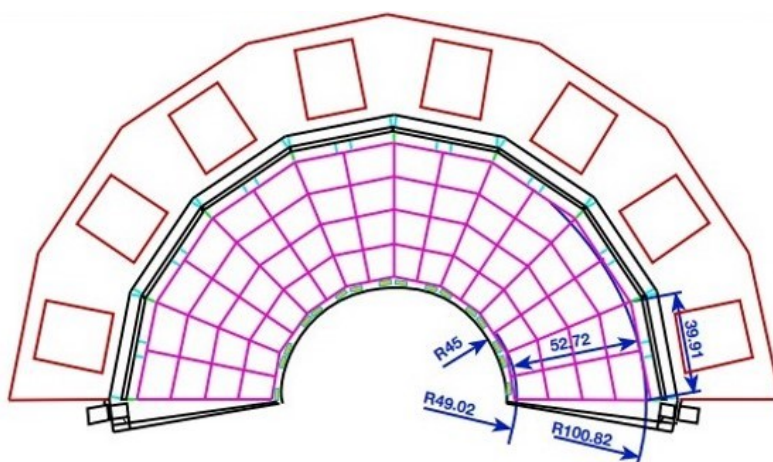


Рисунок 1 – ВВС: сегментизация по азимуту и полярному углу. Все размеры в миллиметрах.[2]

Внешняя часть, закрывающая полярные углы от 60 до 500 мрад будут разделены на 5 или 6 концентрических слоев с 16 азимутальными секторами в каждый из них. Окончательная степень детализации зависит от дальнейшей оптимизации для всего диапазона энергий. столкновения на SPD. Пурпурная часть представляет MCP детектор, в то время как внутренний слой внешней части показан красным цветом. Основными задачами Beam-Beam Counters являются:

1. Локальная поляриметрия в SPD на основе измерений азимутальных асимметрий в инклюзивном рождении заряженных частиц в столкновениях;

2. Мониторинг столкновений пучков ;
3. Участие в точное определение времени столкновения t_0 для событий, в которых другие детекторы не могут быть использованы для этого (например, в случае упругого рассеяния) ;[4]

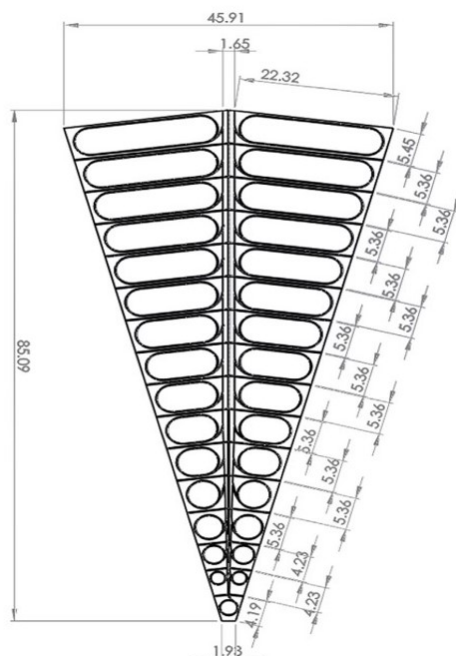


Рисунок 2 – Детальный эскиз одного сектора с масштабом в см [1]

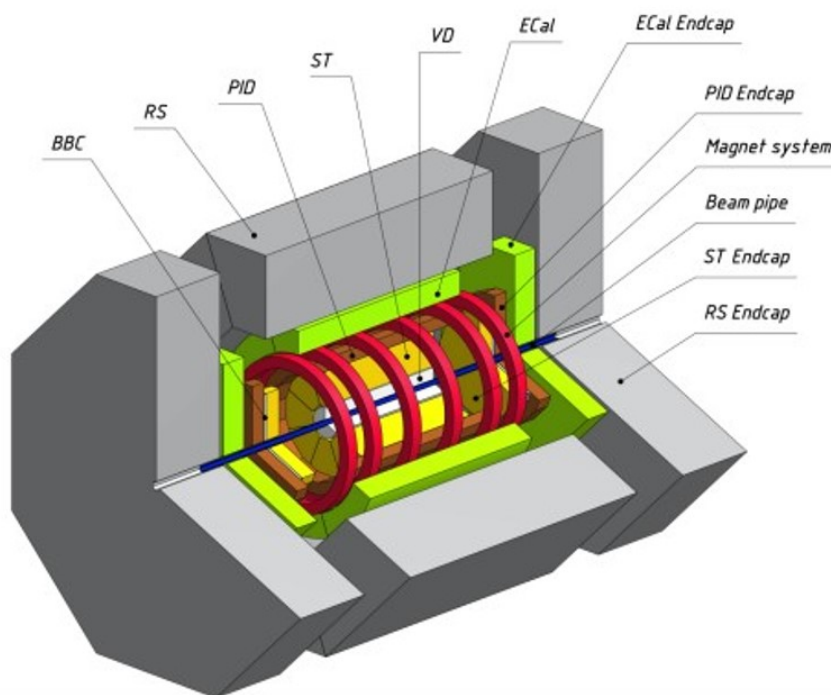


Рисунок 3 – Общий план SPD [2]

Пояснение к Рисунку 3.

1. BBC – луч-луч счетчик
2. RS – мюонная система детектирования
3. PID -Система учета времени полета
4. ST- Система слежения на основе тонкой трубки
5. VD – детектор амплитуд
6. Ecal -пробоотборным электромагнитным калориметром
7. Ecal Endcap –торцевая крышка Ecal
8. PID Endcap - торцевая крышка PID
9. Magnet system –магнитная система
10. ENDcap – торцевая крышка системы слежения на основе тонкой трубки

3 Сцинтилляторы

Сцинтилляторы — это особые вещества, обладающие способностью излучать свет при поглощении ионизирующего излучения, например, гамма-кванты. В отличие от, например, люминесценции, здесь возбуждение происходит именно за счет ионизации, а не за счет механического воздействия. Высвечивание света происходит быстро, в форме мгновенной вспышки. Также особенностью сцинтилляторов является то, что излучаемое количество фотонов для данного типа излучения имеет близкую к пропорциональной зависимость от поглощённой энергии излучения. Благодаря этим свойствам можно выделить энергетические спектры излучения по энергии вспышек.

Сцинтилляторы бывают разных типов в зависимости от вещества, из которого они сделаны. В целом это деление на типы можно представить как деление в органические и неорганические сцинтилляторы. Неорганические сцинтилляторы — это чаще всего неорганические монокристаллы. Есть также еще газовые сцинтилляторы и стекла. Органические сцинтилляторы — это органические кристаллы, а также пластики и жидкие сцинтилляторы. Все эти типы характеризует, прежде всего, разный механизм сцинтилляций. Неорганические сцинтилляторы характеризуются большим световыходом, однако, также и большим временем высвечивания (порядка микросекунд).

Органические же наоборот характеризуются небольшим световыходом, но их время высвечивания мало (порядка десятков наносекунд). Примером неорганического сцинтиллятора является NaI(натрий-йод), гигроскопичное вещество, с огромным световыходом. Пример органических —

антрацен (C_4H_{10}). Кроме различных свойств светимости есть и другое важное практическое отличие. Неорганические кристаллы трудно вырастить большого размера. Как и кристаллы вообще.

Таблица 1: Характеристики неорганических сцинтилляторов. Время затухания (τ), длина волны максимального излучения (λ_{max}), коэффициент преломления (n), плотность (ρ) [3]

Вещество	Световыход,	τ ,нс	t,нс	λ_{max} ,нм	n	ρ , g/(cm) ³
CsI(Na)	54	45	630	420	1,84	4,51
CsI(Ti)	41	85	1000	550	1,79	4,51
LYSO	33	87	36	420	1,81	7,1
BGO	8-10	20	300	480	2,15	7,13
CdWO ₄	12-15	14000	1,9	475	2,3	7,9

Так же нужно рассказать о том, что представляют собой органические сцинтилляторы - это виды органических материалов, которые обеспечивают обнаружение фотонов в видимой части светового спектра после прохождения заряженной частицы или фотона. Механизм сцинтилляции в органических материалах сильно отличается от механизма в неорганических кристаллах. В неорганических сцинтилляторах, например, NaI, CsI, сцинтилляция возникает из-за структуры кристаллической решетки. Механизм флуоресценции в органических материалах возникает в результате переходов энергетических уровней одной молекулы. Следовательно, флуоресценцию можно наблюдать независимо от физического состояния (пар, жидкость, твердое вещество).

Таблица 2: Характеристики органических сцинтилляторов. Время затухания (τ), длина волны максимального излучения (λ_{max}), коэффициент преломления (n), плотность (ρ) [5]

Вещество	Световыход,	τ ,нс	t,нс	λ_{max}	n	ρ , g/(cm) ³
Нафталин	$4 * 10^3$	45	11	348	1,58	1,15
Антрацен	$4 * 10^4$	85	30	448	1,59	1,25
n-Терфенил	$1.2 * 10^4$	87	6-12	391	1,65	1,23
Полистирол	$1.2 * 10^4$	20	2,2	400	1,58	1,06-1,15

Органические сцинтилляторы обычно имеют быстрое время затухания (обычно 10^{-8} с), в то время как неорганические кристаллы обычно

работают намного медленнее (10^{-6} с), хотя у некоторых также есть быстрые компоненты в их реакции. Существует три типа органических сцинтилляторов:

1. **Чистые органические кристаллы.** Чистые органические кристаллы включают кристаллы антрацена, стильбена и нафталина. Время распада этого типа люминофора составляет приблизительно 10 наносекунд. Этот тип кристалла часто используется для обнаружения бета-частиц. Они долговечны, но их реакция анизотропна (что ухудшает разрешение по энергии, когда источник не коллимирован). Они не поддаются легкой механической обработке и не могут быть выращены в больших размерах. Поэтому они не очень часто используются.;
2. **Жидкие органические растворы.** Жидкие органические растворы получают путем растворения органического сцинтиллятора в растворителе.;
3. **Пластиковые сцинтилляторы.** Пластиковые люминофоры изготавливаются путем добавления сцинтилляционных химикатов в пластиковую матрицу. Константа затухания является самой короткой из трех типов люминофоров, приближаясь к 1 или 2 наносекундам. Пластиковые сцинтилляторы больше подходят для использования в средах с высоким потоком и для измерения мощности высокой дозы. Пластик имеет высокое содержание водорода. Поэтому он полезен для детекторов быстрых нейтронов. Для получения детектируемого фотона в сцинтилляторе требуется значительно больше энергии, чем в электронно-ионной паре путем ионизации (обычно в 10 раз). Поскольку неорганические сцинтилляторы излучают больше света, чем органические, они лучше подходят для применения при низких энергиях.;

4 Экспериментальная часть и результаты обработки

4.1 Установка CAEN

Данная установка на которой производились измерения состоит из цифровизатора, разделителя, усилителя и спектрометра. Спектрометр детектирует частицу и посылает аналоговый сигнал на разделитель, он в свою очередь разделяет его на два. Один из них попадает на усилитель другой на цифровизатор, последний преобразует кодирует цифровой сигнал из аналогового, только когда придет на цифровизатор сигнал с усилитель, затем данные отправляются на ПК с усилителя и цифровизатора. Так же перечислены характеристики указанных установок. Что мы видим ниже.

В начальной фазе эксперимента на установке CAEN мы проводили измерения на 3-х сцинтилляторах, в частности: BGO, LYSO, CsI. С помощью них мы собрали энергетические дифференциальные спектры ^{137}Cs

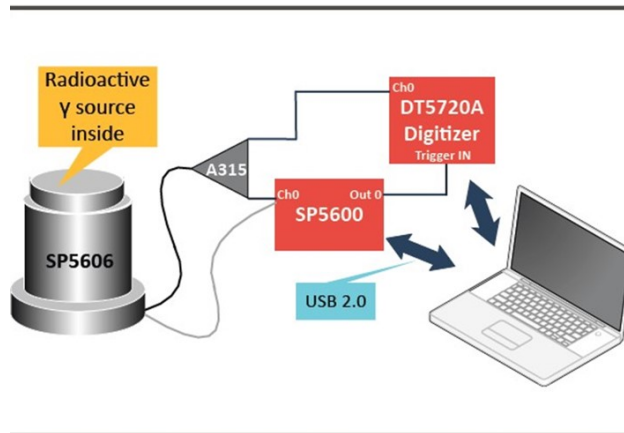
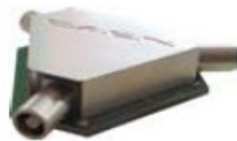


Рисунок 4 – Блок схема эксперимента

A315 - Splitter



а

SP5606 - Mini Spectrometer



б

Рисунок 5 – Сплитер(слева), мини-спектрометр(справа) [?]

DT5720A - Desktop Digitizer



- 2 Channel 12 bit 250 MS/s Digitizer
- Digital Pulse Processing for Charge Integration DPP-CI
- Best suited for PMT and SiPM/MPPC readout at low and high rates
- Mid-High speed signals (Typ: output of PMT/SiPM)
- Good timing resolution with fast signals (rise time < 100 ns)
- Optical Link and USB 2.0 interfaces
- Dimension: 154 x 50 x 164 mm³ (WxHxD)

Рисунок 6 – Цифровизатор и фровизатора

SP5600 - Power Supply and Amplification Unit



- Variable amplification gain (up to 50 dB)
- Low noise, not to spoil the sensor performances for small signals
- Wideband, to comply with the fast sensor response
- Fast leading edge discriminator and time coincidence
- Provides the bias for the sensors with gain stabilization
- USB 2.0 interface
- Dimension: 150 x 50 x 70 mm³ (WxHxD)

Рисунок 7 – Усилитель

Пояснение к Рисунку 6: 1) есть 2 канала 12 бит 250; 2) Цифровая обработка импульсов для интеграции заряда; 3) Лучше всего подходит для считывания; 3) Лучше всего подходит для считывания ФЭУ и SiPM/MPPC на низких и высоких скоростях; 4) Сигналы подъема на средней-высокой скорости; 5) Хорошее разрешение по времени с быстрыми сигналами (время нарастания < 100нс); 6) Оптическая связь и USB 2.0; 7) Размеры: 154 × 50 × 164³.

Пояснение к Рисунку 7: 1) переменный коэффициент усиления (до 50Дб); 2) Низкий уровень шума чтобы не испортить характеристики датчика для небольших сигналов; 3) Широкополосный вместе с быстрым датчиком; 4) Быстрый дискриминатор и совпадение по времени; 5) Обеспечивание смещения для этих датчиков со стабилизацией; 6) USB 2.0; 7) Размер: 150 × 50 × 70³;

4.2 Результат обработки

По итогу своей работы я могу показать что собрал спектр ^{137}Cs с помощью сцинтилляторов BGO LYSO CsI, а так же недостаточного качества примерный спектр на пластиковом сцинтилляторе (полистирол), в связи с нехваткой времени для данного этапа работы, потому что для полноценного спектра на пластике необходимо 5-6 часов. Это объясняется их малым световыходом относительно предыдущих 3-х кристаллов. Спектр на полистироле был получен благодаря собственному разработанному рабочему экземпляру сцинтиллятора.

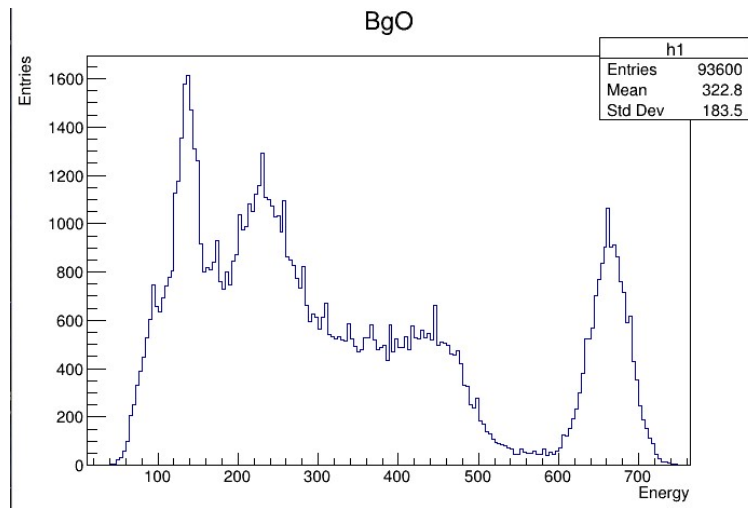


Рисунок 8 – Спектр ^{137}Cs на сцинтилляторе BGO

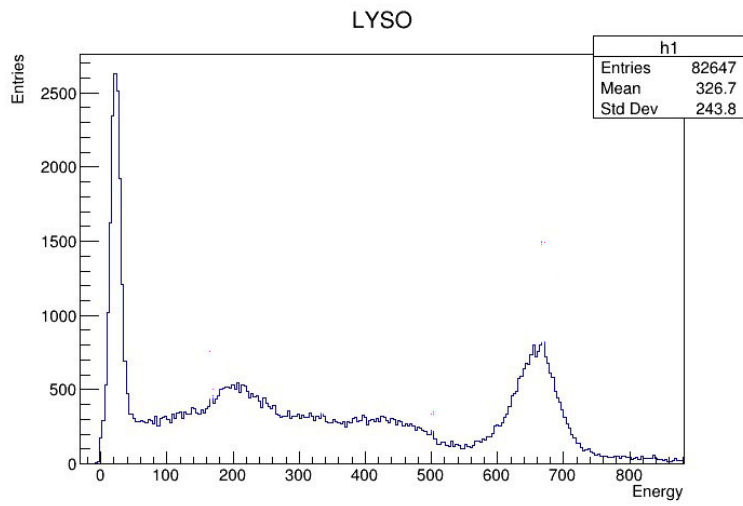


Рисунок 9 – Спектр ^{137}Cs на сцинтилляторе LYSO

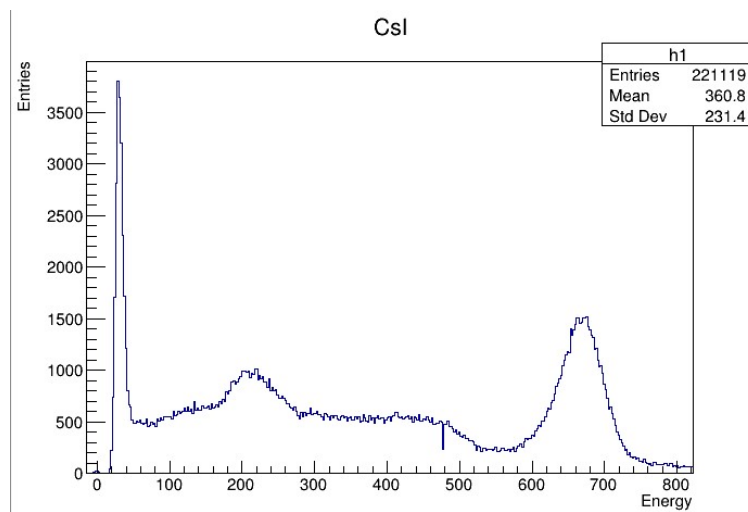


Рисунок 10 – Спектр ^{137}Cs на сцинтилляторе CsI

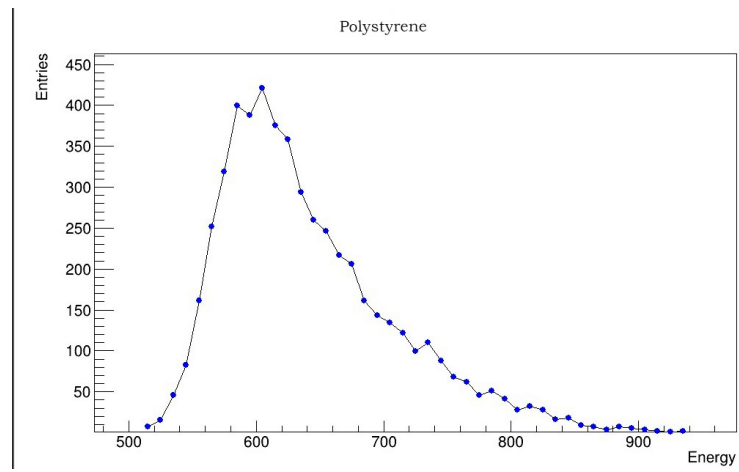


Рисунок 11 – График зависимости количество входов от энергии фотона ^{137}Cs на сцинтиляторе Polystyrolle

Список используемых источников

- [1] S. Garrett W. He T. Huang P.M. Jacobs J. Adams, A. Ewigleben. Nuclear inst. and methods in physics research, a. *Nuclear medicine communications*, 2020.
- [2] V.P. Ladugin. Bbc status report. 2022.
- [3] LUXIM SOLUTIONS. Scintillation crystals. 2022.
- [4] A.Guskov. Conceptual design of the spin physics detector. 2021.
- [5] И.Б Немченко. Разработка и исследование пластмассовых и жидких сцинтилляторов для детекторов экспериментов в области нейтринной физики. Дубна. *Диссертация на соискание ученой степени.*