



Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»



Кафедра физики элементарных частиц №40

Научная исследовательская работа студента на тему:

Подбор материалов для детектора beam-beam counter эксперимента SPD

Научный руководитель:
Тетерин П.Е.

Работа
студента 1-ого курса магистратуры
Захарова Арсения
Михайловича
ИЯФит

г. Москва 2022

Цель работы

- Ознакомление с теорией работы детекторов;
- Ознакомление с экспериментом SPD;
- подбор материалов для прототипа детектора beam-beam counter эксперимента SPD;

Взаимодействие частиц с веществом - ОСНОВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

При прохождении частицы через вещество, она затрачивает свою энергию на следующие процессы:

1. Ионизация атомов вещества (Ионизационные потери);
2. Тормозное излучение (Радиационные потери; Замедление частицы в поле ядра => э/м излучение);
3. Многократное рассеяние на ядрах и электронах;
4. Ядерное взаимодействие (Фотоядерные реакции);
5. Переходное излучение (э/м излучение, наблюдаемое при прохождении з. ч. через границу раздела фаз);
6. Черенковское излучение.

Сцинтилляция – короткая вспышка света, вызванная прохождением ионизирующей частицы (быстрые электроны, протоны, гамма-кванты, альфа-частицы и другие з.ч.) через сцинтиллятор.

В процессе сцинтилляции фотон вспышки может не покинуть сцинтиллятор, а попасть из центра свечения в центр поглощения. Требования к сцинтиллятору:

1. Прозрачность для фотонов видимого света или ультрафиолета;
2. Спектр излучения сцинтиллятора должен быть смещен относительно спектра поглощения.

Сцинтилляционные детекторы - устройство, основные сцинтилляторы, их разновидности

Сцинтиллятор – одна из двух обязательных частей сцинтилляционного детектора. Второй частью является фотоприемник, регистрирующий вспышку света, которая состоит из $10^3 - 10^6$ фотонов (видимого света или ультрафиолета) и преобразовывающий это в сигнал (рис. 4). Одна регистрируемая частица создает много фотонов в сцинтилляторе, но один сигнал на выходе. Фотоприемником может служить ФЭУ, кремниевый ФЭУ (SiPM), или фотодиод.

При попадании гамма-кванта на фотокатод ФЭУ, он выбивает с его поверхности электрон (фотоэффект), который под действием сильного электрического поля дрейфует к динодам. За счет вторичной электронной эмиссии на диноде происходит размножение электронов, которые впоследствии дрейфуют к следующему диноду и т.д. Коэффициент умножения ФЭУ - отношение числа электронов, достигших анода к числу электронов, выбитых с фотокатода - составляет около $M = 10^6 - 10^9$.

Однако ФЭУ обладает достаточно сильными недостатками:

1. Большие размеры;
2. Высокое напряжение питания;
3. Чувствительность к внешнему магнитному полю.

Основными особенностями SiPM являются:

1. Ячейки одинаковые и независимые;
2. Высокий коэффициент усиления;
3. Нечувствительность к магнитным полям;
4. Хорошие временные характеристики.

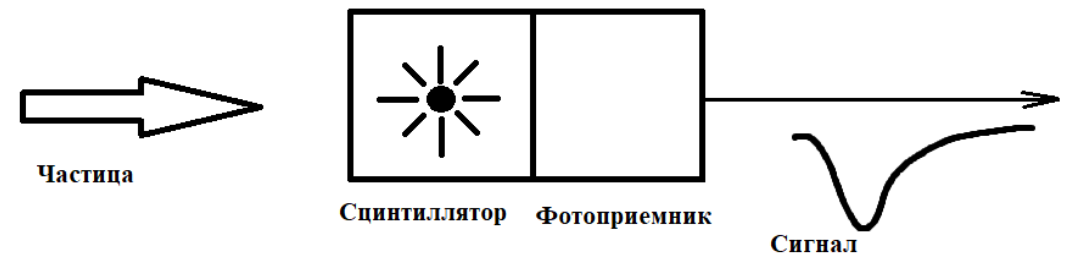


Рис. 4. Модель сцинтилляционного детектора

Основные задачи и устройство эксперимента SPD

Коллаборация Spin Physics Detector (SPD) предлагает установить универсальный детектор во второй точке взаимодействия коллайдера NICA (ОИЯИ, Дубна) для изучения спиновой структуры протона, дейтрона и других явлений, связанных со спином, с помощью поляризованных пучков протонов и дейтронов при энергии столкновения до 27 ГэВ.

В поляризованных протон-протонных столкновениях данный эксперимент покрывает кинематический разрыв между низкоэнергетическими измерениями в экспериментах ANKE-COSY и SATURNE, и высокоэнергетическими измерениями, полученными на БАК (рис. 5).

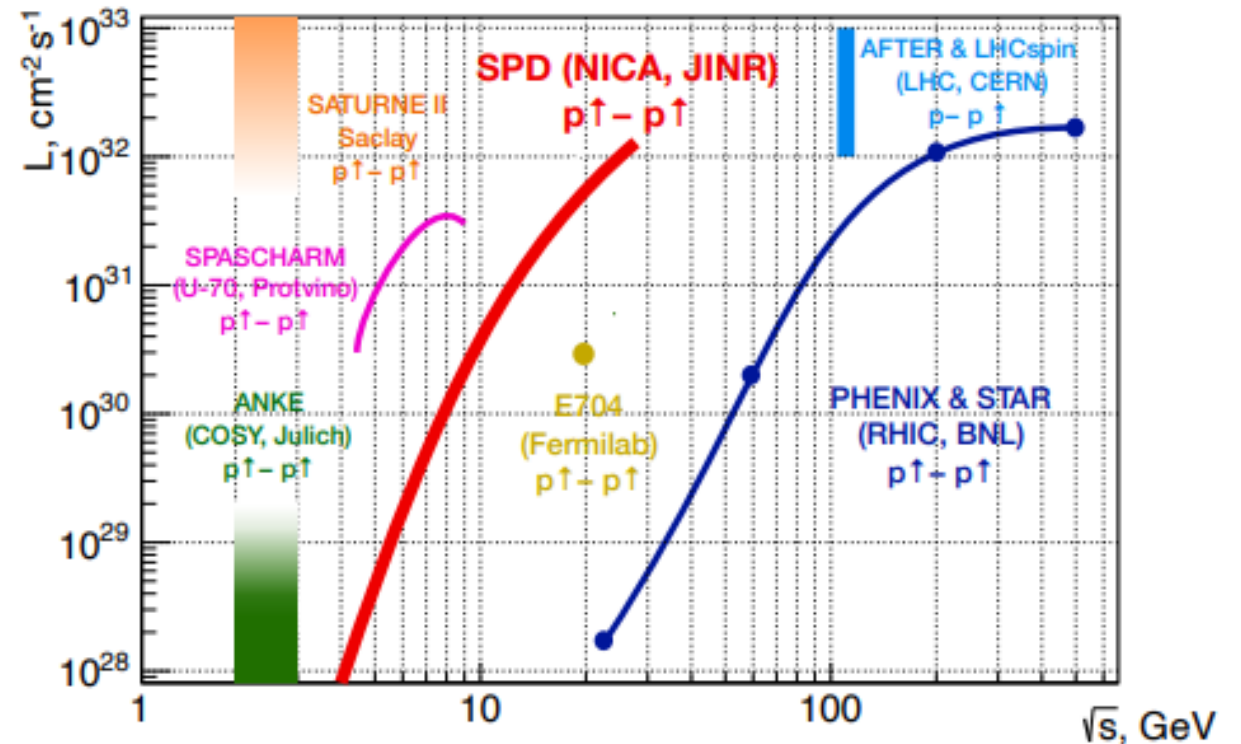


Рис. 5. SPD NICA и другие прошлые, современные и будущие эксперименты с поляризованными протонами

Основные задачи и устройство эксперимента SPD

Эксперимент SPD выполнен как универсальный 4π детектор с улучшенной трекинг и идентификационной системами. Кремниевый координатный детектор предоставляет разрешение вершин на уровне менее 100 нм. Straw трекинг система расположена в магнитном поле до 1Тл, и расположена вдоль оси детектора, что должно давать разрешение поперечного импульса $\sigma_{p_T}/p_T \approx 2\%$ для частиц с импульсом 1 ГэВ. Времяпролетная система (PID) с разрешением около 60 пс способна предоставить разрешение 3σ при разделении π/K и K/p пучков с энергиями от 1.2 до 2.2 ГэВ соответственно. Детектирование фотонов происходит по средствам электромагнитного калориметра. Счетчик пучков (Beam-Beam counters) и калориметры нулевого угла отвечают за контроль светимости (рис. 6).

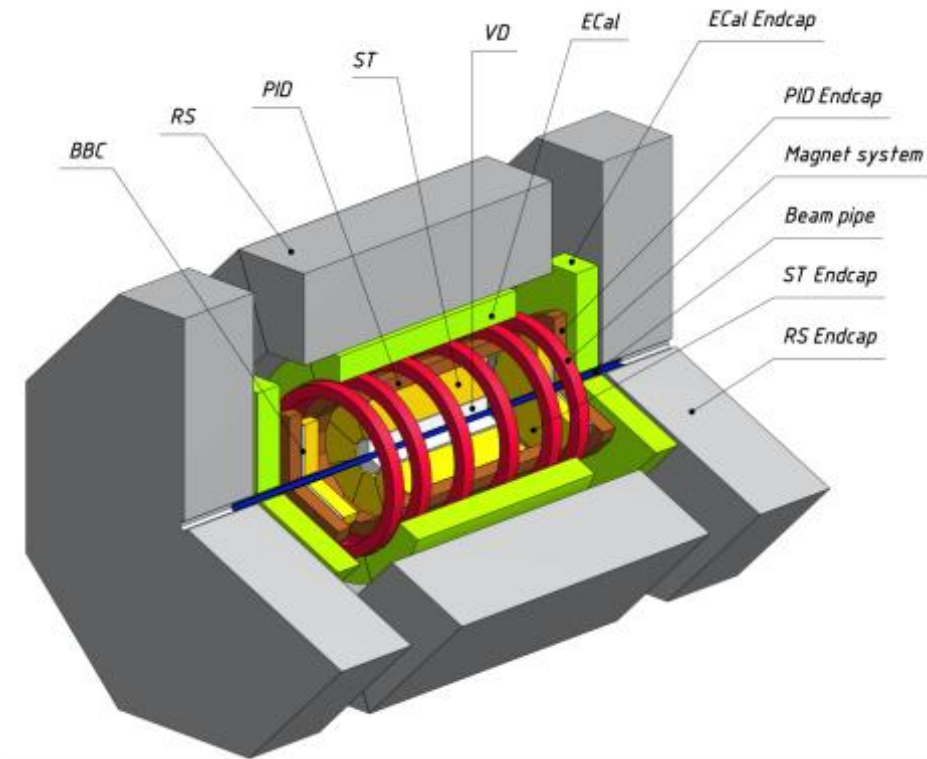


Рис. 6. Строение детектора SPD

Beam-Beam Counters

Два счетчика пучков планируется разместить перед системой PID в торцевых камерах SPD. Детектор будет состоять из внутренней и внешней частей, которые основаны на разных технологиях. Внутренняя часть ВВС будет использовать быстрые сегментированные MicroChannel Plate (MCP) детекторы и должна работать внутри пучковой трубы, в то время как внешняя часть ВВС будет изготовлена из быстрых пластиковых сцинтилляционных тайлов. Внутренняя часть охватывает acceptance $30 \div 60$ мрад и должна быть разделена на 4 слоя, состоящих из 32 азимутальных секторов. Внешняя часть, охватывающая полярные углы между 60 и 500 мрад, будет разделена на 6 concentric слоев с 16 азимутальными секторами (рис. 7).

Основными целями ВВС являются:

1. Локальная поляриметрия в SPD на основе измерений азимутальных асимметрий в столкновениях поперечно поляризованных пучков протонов;
2. Мониторинг столкновений пучков;
3. Участие в точном определении времени столкновения t_0 для событий, в которых другие детекторы не могут быть использованы.

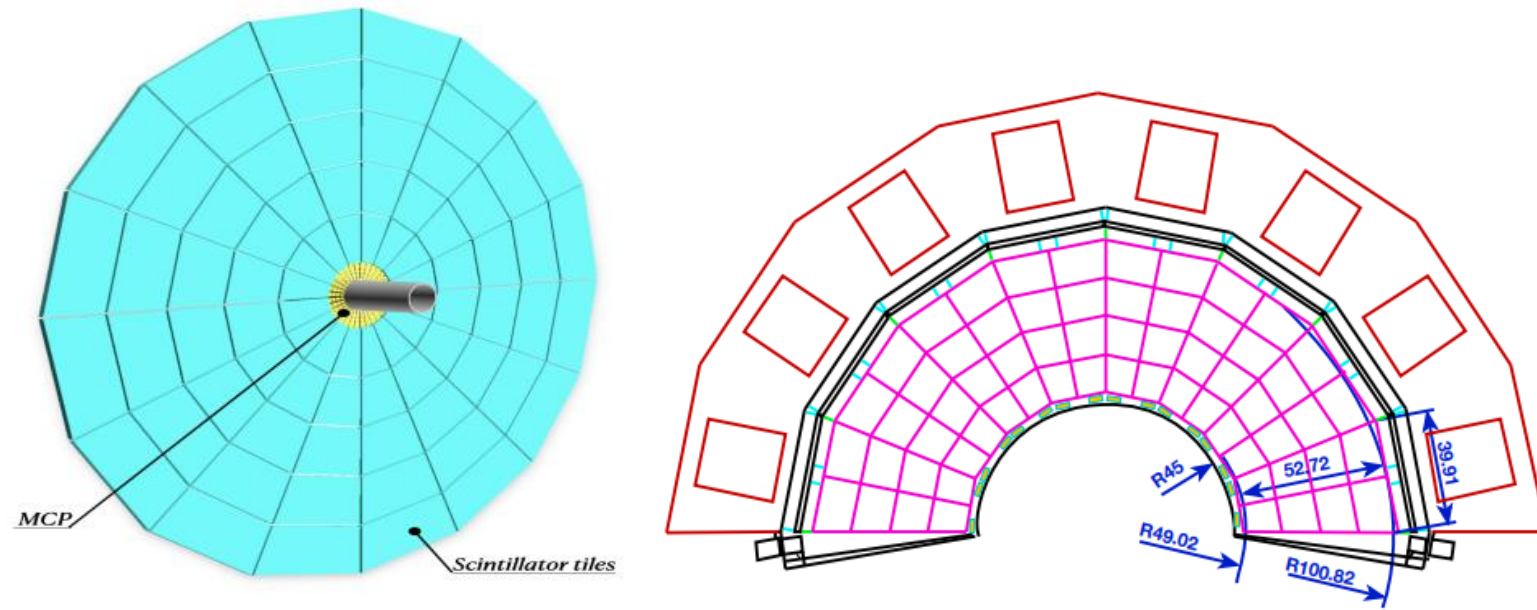


Рис. 7. Строение ВВС – внутренняя и внешняя части

Моделирование тайл-системы

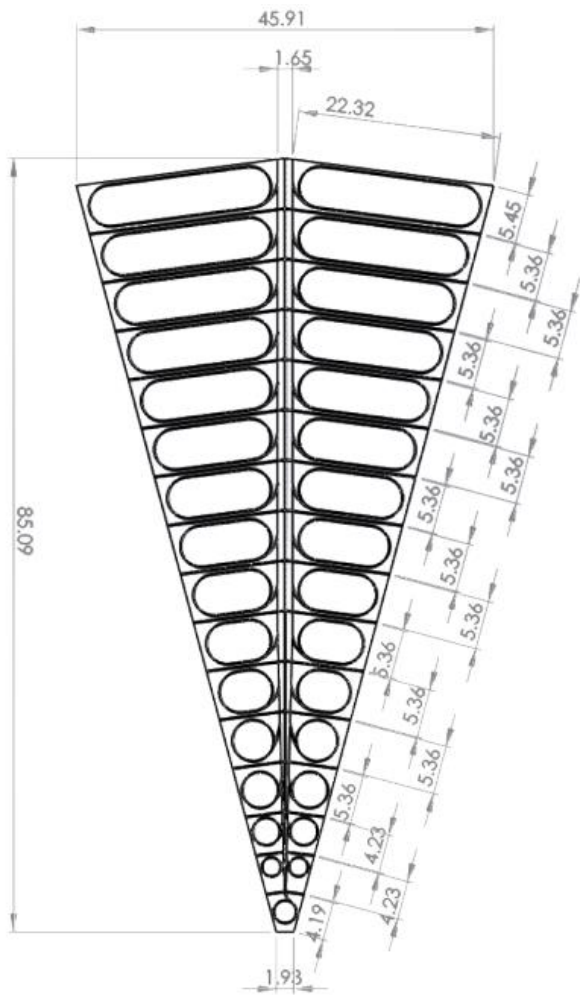


Рис 8. Тайл система эксперимента STAR EPD, RHIC

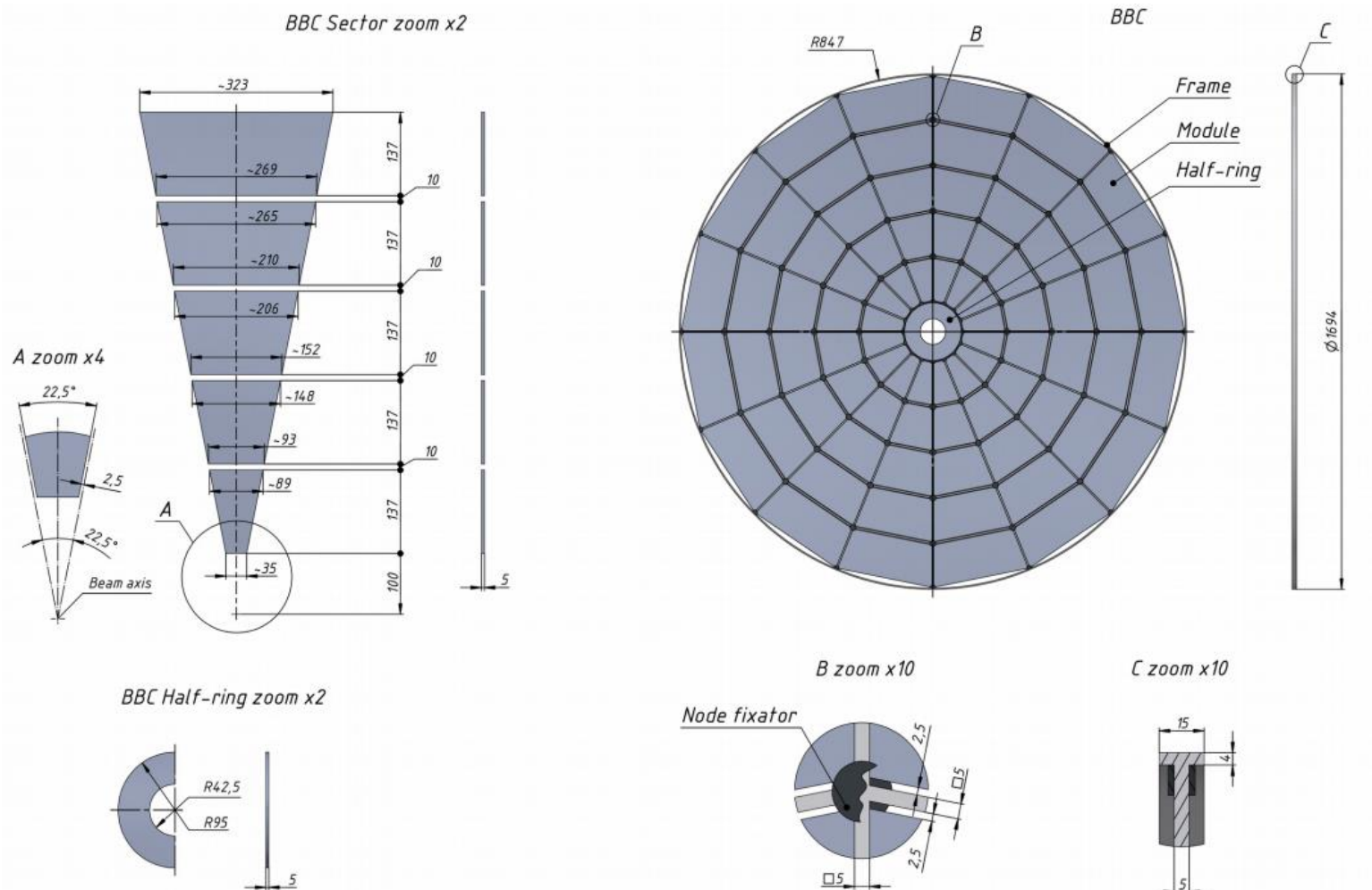


Рис. 9. Геометрия счетчика пучков, предложенная SPD

Моделирование тайл-системы

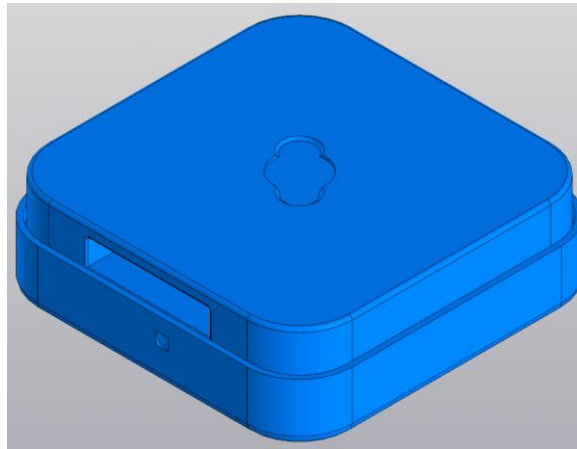
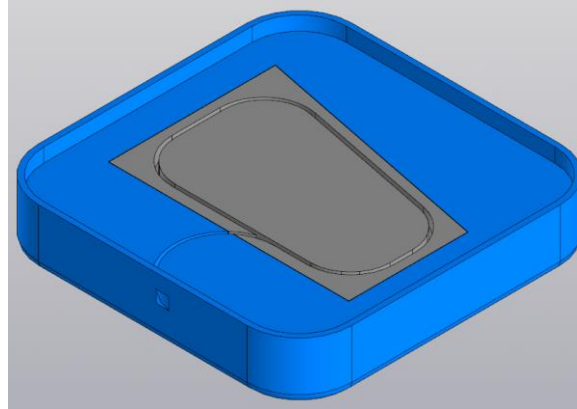
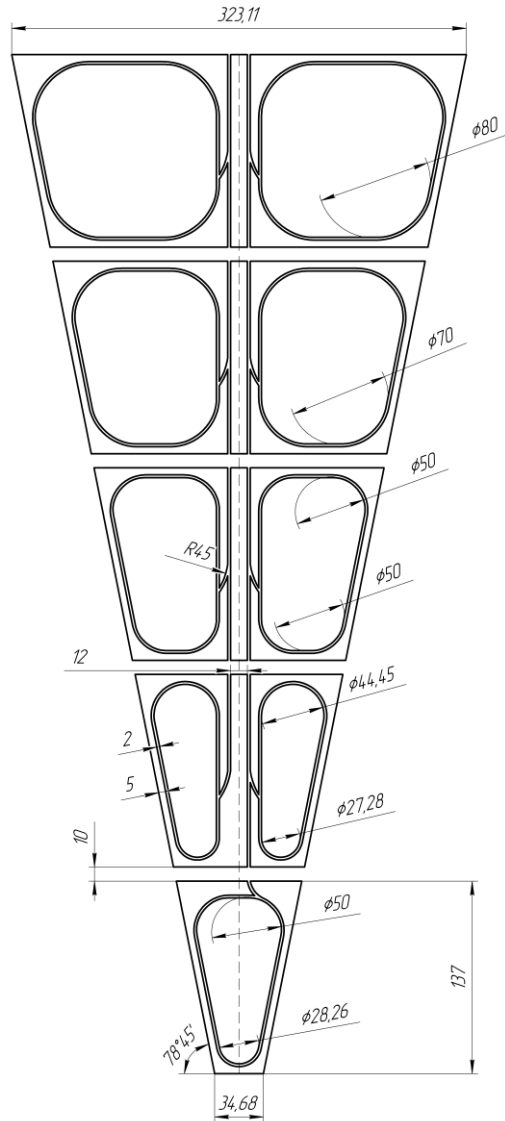


Рис 10. Модель тайл-системы, выполненная в геометрии SPD

Рис. 11. Сборка штатива

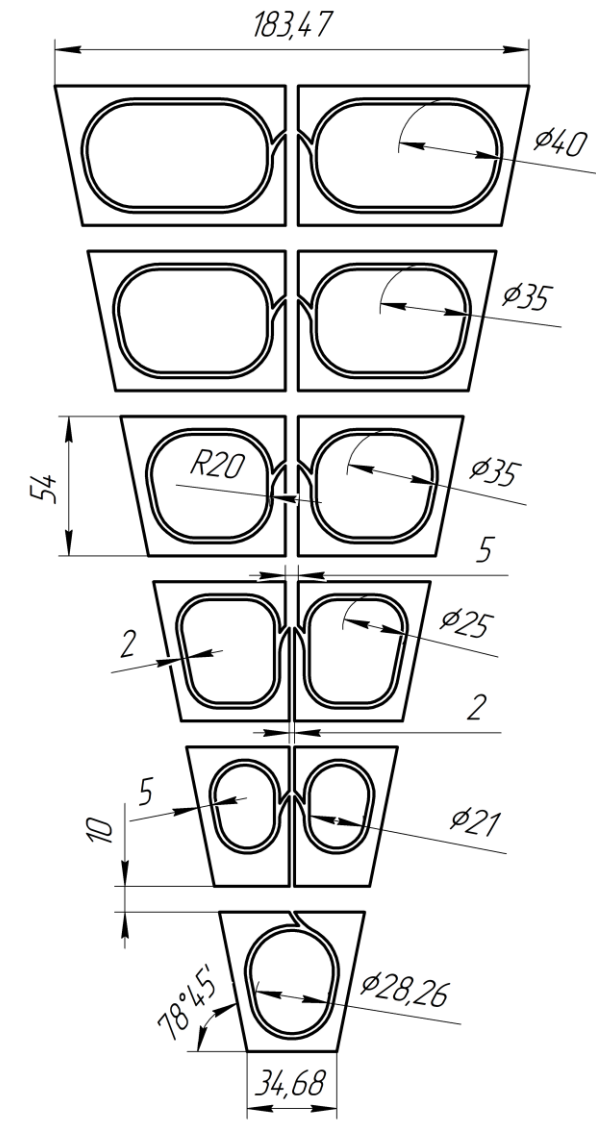


Рис. 12. Модель тайл-системы в Non-SPD геометрии

ОПТИЧЕСКИЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Съем света с тайлов происходит с помощью спектросмещающих волокон WLS, которые поглощают свет, излучаемый сцинтиллятором, и переизлучают его в диапазоне, близком к максимуму спектральной чувствительности фотоприемника. При использовании достаточно длинных сцинтилляционных стрипов с WLS-волокнами, вставленными в проточки, может оказаться недостаточным количество света, поступающего на фотоприемник, так как свет из сцинтиллятора захватывается волокнами через воздушный зазор. Вклеивание волокон внутри проточек увеличивает светосбор.

STAR EPD, RHIC – Eljen EJ-500

PROPERTIES	EJ-500
Mixed Viscosity (cps)	800
Bond Strength (psi)	1800
Dielectric Strength (volts/mil)	420
Specific Gravity, Cured	1.17
Service Temperature (°C)	-65 to +105
Volume Resistivity, 25°C (ohm-cm)	10^{14}
Coefficient of Thermal Expansion (per °C)	7.2×10^{-5}
NASA Outgassing Properties	
Mass Loss (%)	1.69
Condensed Volatiles (%)	0.04

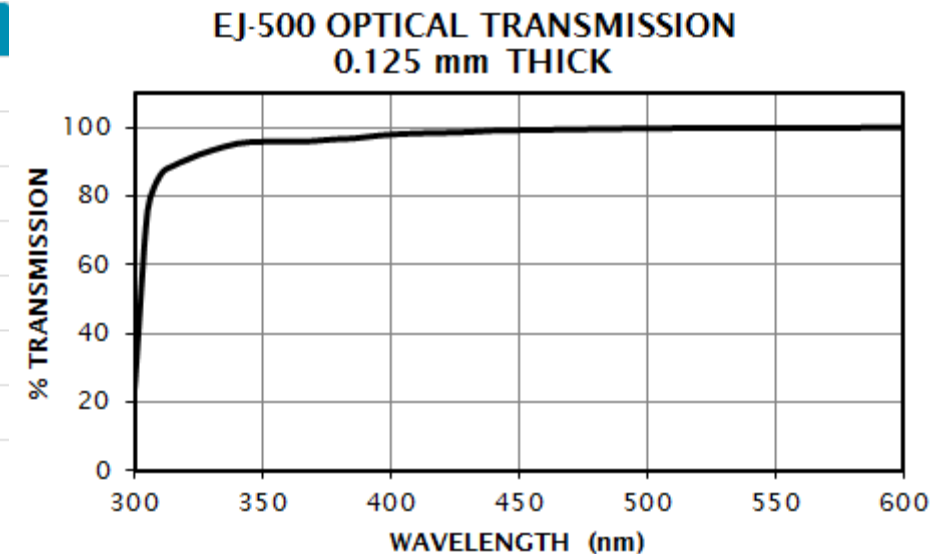


Рис. 13. Характеристики оптического наполнителя Eljen EJ-500

ОПТИЧЕСКИЕ НАПОЛНИТЕЛИ

Среди всех представленных вариантов, были отобраны три потенциальных наполнителя. Их характеристики приведены на рисунке 15.

Марка	Вязкость, сPs	Диапазон рабочих температур	Спектральные характеристики	Показатель преломления
EJ-500	800	От -65 до +105 °С	60-95% 300-350 nm, 95-100% 350-600 nm	1.574
ЕРО-ТЕК 301-2	225 - 425	Комнатная температура - +65 °С	94% 320 nm, 99% 400-1200 nm, 98% 1200-1600 nm	1.5318 589 nm
ЕРО-ТЕК 301	100 - 200	Комнатная температура - +65 °С	99% 382-980 nm, 97% 980-1640 nm, 95% 1640-2040 nm	1.519 589 nm
Оптический клей Луч-2	—	От -60 до +125 °С	98% 400-950 nm	1.54

Рис. 13. Оптические наполнители и их характеристики

Наполнитель ЕРО-ТЕК 301-2 имеет наиболее схожие с EJ-500 спектральные характеристики и малую вязкость, однако сильно различается в диапазоне рабочих температур. Наполнитель марки ЕРО-ТЕК 301 имеет еще более низкую вязкость и более хорошее разрешение для малых длин волн $\lambda = 380$ нм, но имеет худший показатель преломления. В свою очередь "Луч-2" имеет более устойчивый диапазон температур, чем EJ-500, самый близкий к искомому показатель преломления, однако сильно проигрывает спектральным характеристикам. Так как ЕРО-ТЕК 301 является менее удовлетворяющим аналогом 301-2, в будущем планируется заменить его на низкомолекулярный каучук «СКТН-МЕД» марки Е и провести детальное сравнение наполнителей, с целью выявить наиболее подходящий для данной работы.

Заключение

В данной работе :

1. Освещены теоретические сведения о принципе работы сцинтилляционных детекторов;
2. Освещены теоретические сведения о целях и строении эксперимента SPD и счетчика пучков;
3. Построена предполагаемая модель тайл-системы для счетчика пучков, а так же модель штатива, с помощью которого будет проведено тестирование подбираемых материалов;
4. Подобраны несколько оптических наполнителей, подходящих под цели работы.

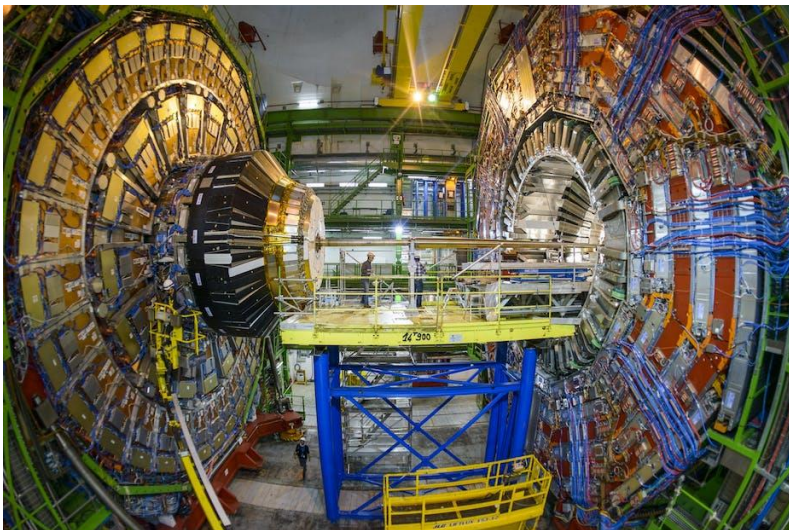
В будущем планируется изготовление прототипов и тестирование сцинтилляторов на реальных источниках ионизирующего излучения, сравнение отобранных оптических наполнителей, а так же моделирование всей тайл-системы в программном пакете GEANT4.

Спасибо за внимание!

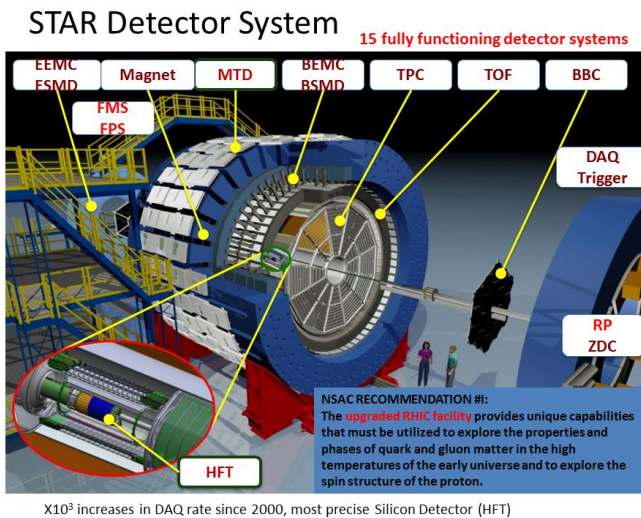
BACK UP

Введение

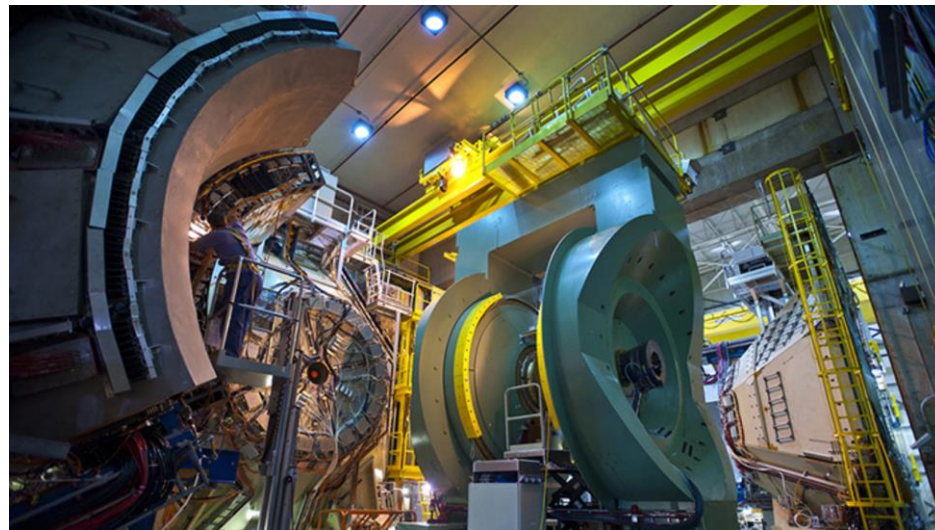
В настоящее время существует большое количество экспериментов в области физики высоких энергий, каждый из которых специализируется на различных промежутках энергии столкновений, изучаемой физической величине, поиску новых частиц или открытию новых элементов и т.д. Первым шагом на пути анализа полученных данных, или же проектировании детектирующей установки, является изучение процессов, происходящих в слоях этих установок по средствам взаимодействия частиц с мишенями или средой объема детектора.



ATLAS, LHC (CERN)



STAR, BNL



PHENIX, RHIC