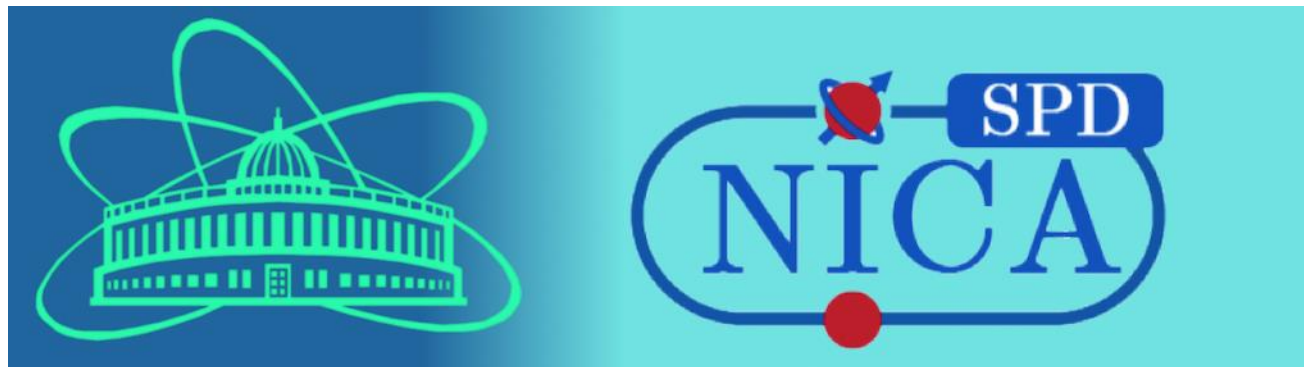




Национальный исследовательский ядерный университет
«МИФИ»

Кафедра физики элементарных частиц №40

Научная исследовательская работа студента на тему:

Прототипирование детектора поляризации пучка и плоскости событий для эксперимента SPD NICA

Научный руководитель:
Тетерин П.Е.

Работа
студента 1-ого курса магистратуры
Захарова Арсения
Михайловича
ИЯФ и Т

г. Москва 2023

Эксперимент Spin Physics Detector

Коллаборация Spin Physics Detector 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 покроет кинематический разрыв между низкоэнергетическими измерениями в экспериментах ANKE-COSY и SATURNE, и высокоэнергетическими измерениями, полученными на БАК (рис. 1).

Два счетчика пучков планируется разместить перед системой PID в торцевых камерах SPD (рис. 2).

Основными целями Beam-Beam Counters (BBC) являются:

1. Локальная поляриметрия на основе измерений азимутальных асимметрий в столкновениях поперечно поляризованных пучков;
2. Мониторинг столкновения пучков;
3. Участие в точном определении времени столкновения.

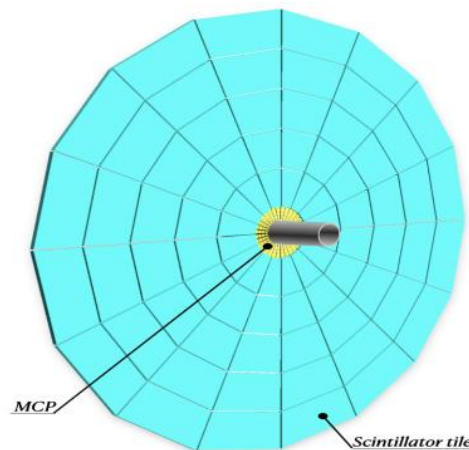


Рис. 2. Строение BBC

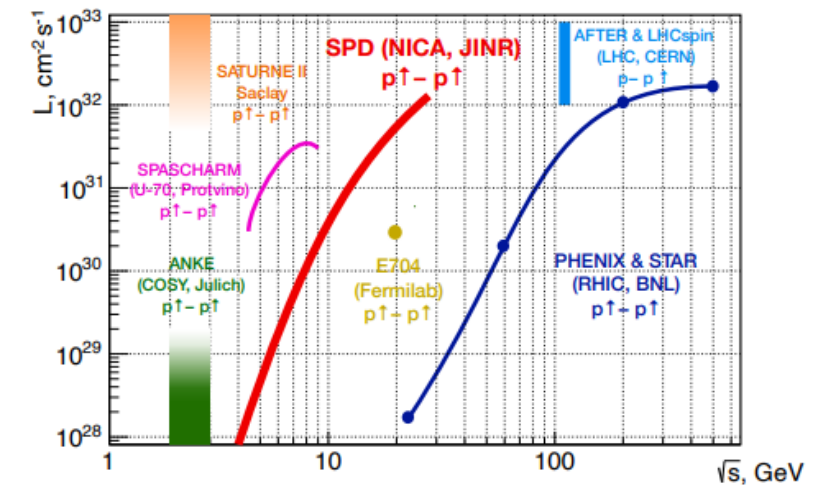


Рис. 1. SPD NICA и другие эксперименты с поляризованными пучками

Задачи и мотивация

Для исследования зависимости световыхода сцинтиллятора по каналам WLS-волокна от места прохождения излучения, вызвавшего сцинтилляцию, используется координатный стол. Он также подходит для дальнейших исследований более подходящей оптической смеси, задача которой состоит в увеличении светосбора квантов волокном, путем уменьшения влияния оптических эффектов при переходе тайл-волокно.

Для реализации исследований ставятся следующие задачи:

- Проектирование модели координатного стола (рентгеновского сканера) на основе ЧПУ станка;
- Написание программного обеспечения для управления движения рентгеновского источника;
- Сборка и тесты для оптимизации работы прототипа детектора.

Тайл система

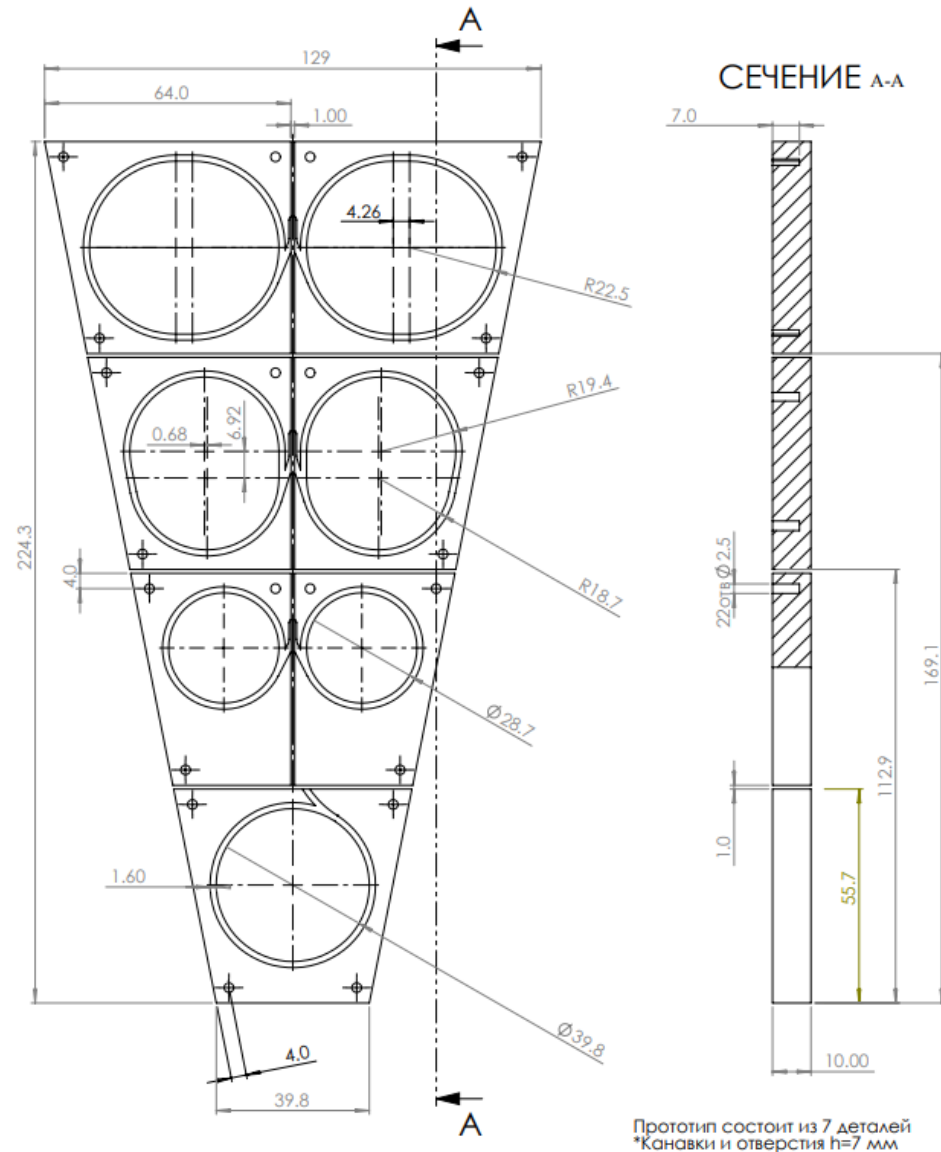


Рис. 3. Геометрия тайл системы

На рисунке 3 изображена модель тайл системы, которая будет использована в данной работе.

Размеры системы из 4 тайлов – $224.3 \times 129 \text{ мм}^2$

Оптический клей – СКТН МЕД марки Е, его характеристики приведены на рисунок 4.

Марка	Вязкость, сРс	Диапазон рабочих температур	Спектральные характеристики	Показатель преломления
СКТН МЕД Марки Е	$15 \cdot 10^3$	—	92-96% 500 nm	1.606

Рис. 4. Характеристики оптического клея СКТН МЕД Е

Модель координатного стола

Модель представлена на рис. 5. Она представляет собой прямоугольник размерами $486 \times 336 \text{ мм}^2$ в основании, выполненного на основе $20 \times 20 \text{ мм}^2$ профилей, с креплением 6 вертикальных держателей движущихся кареток.

Рабочая область стола – $230 \times 222.5 \text{ мм}^2$ (модель)
 $317.5 \times 217.5 \text{ мм}^2$ (расчетная);

Для фиксации профилей в исходном положении используются стальные соединительные пластины и наружные уголки (рис. 6).

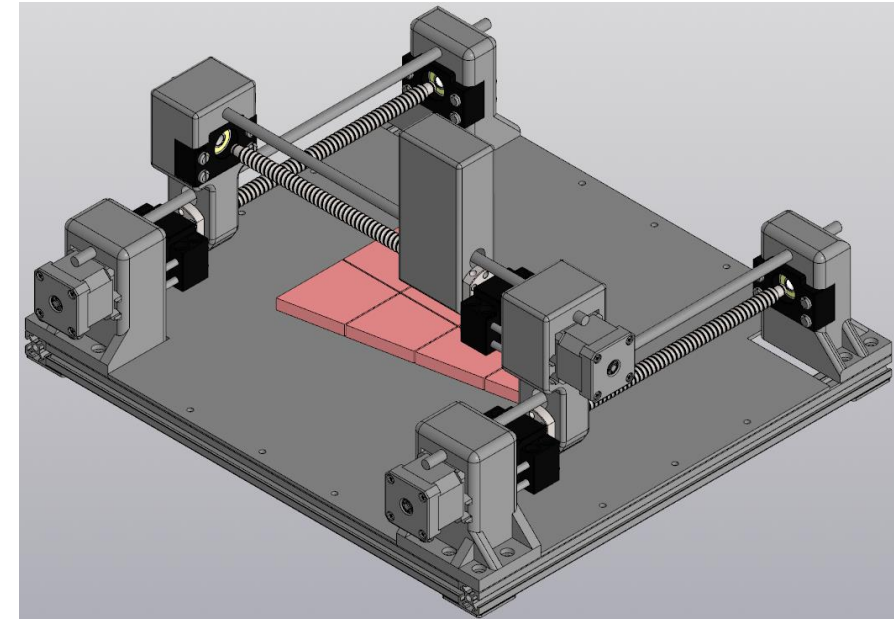


Рис. 5. Модель в сборке

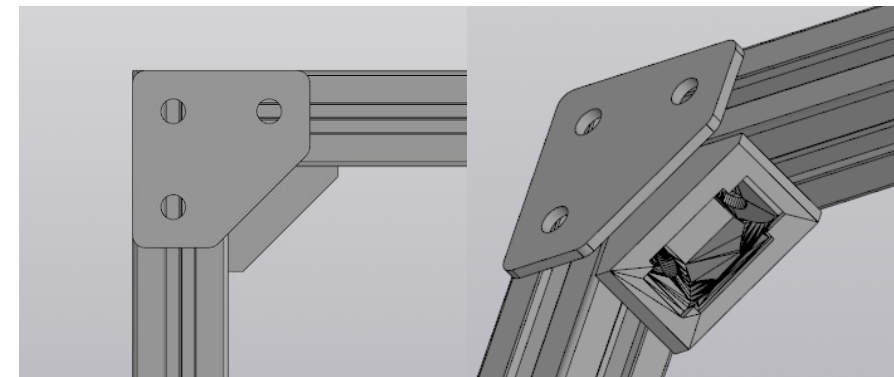


Рис. 6. Крепеж профилей в основании

Модель координатного стола

Движение кареток осуществляется за счет их крепления к гайке шарико-винтовой передачи SFU1204 (ШВП) (рис. 7). ШВП является наиболее прецизионной передачей и позволяет добиться координатного разрешения от 20 до 2.5 мкм.

Однако, есть и недостатки: в силу большой тяжести ШВП, по его краям располагаются опорные подшипники, занимающие много места (рис. 8, 9) и требующие фиксации. В обратном случае, если их не использовать, ШВП будет нагружать подшипники шагового двигателя, что потенциально приводит к уменьшению срока службы последнего, а также и к другим проблемам, связанных с провисанием гайки ШВП.



Рис. 7. Шарико-винтовая передача

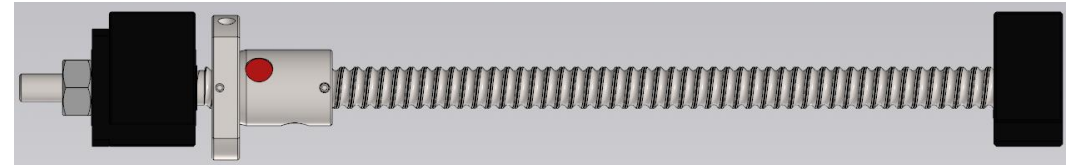


Рис. 8. ШВП с опорами

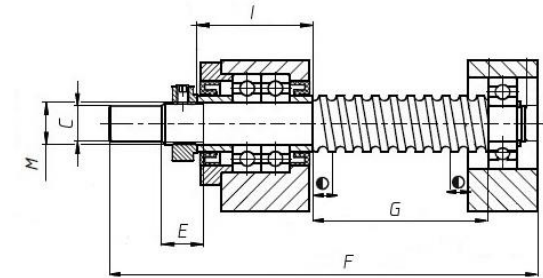


Рис. 9. ШВП с опорами в сечении

Модель координатного стола

Крепление опор осуществляется с помощью держателей. Они представляют из себя вертикальные объекты с креплениями не только под опоры, но также под шаговый двигатель и муфту (рис. 10). Опоры будут выполнены на основе PETG пластика на 3D-принтере, с высокой степенью заполнения для большей прочности.

В основании держателя выполнены отверстия для крепления к профилям; В задней части держателя - отверстия под гайки для поддержки опор ШВП (рис. 10, 11), а так же углубление для улучшенной фиксации шагового двигателя. В передней части выполнено углубление для муфты. Также, выполнено сквозное отверстие для 8 мм направляющей.

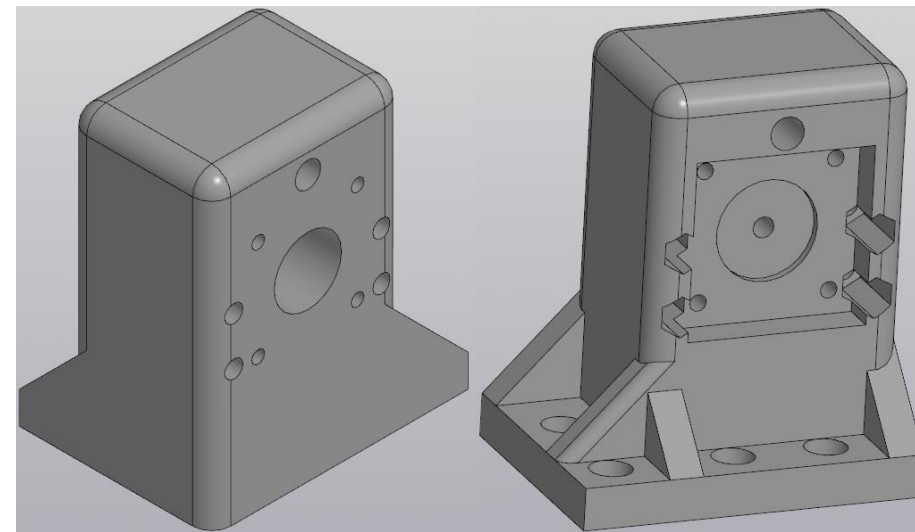


Рис. 10. Держатель двигателя

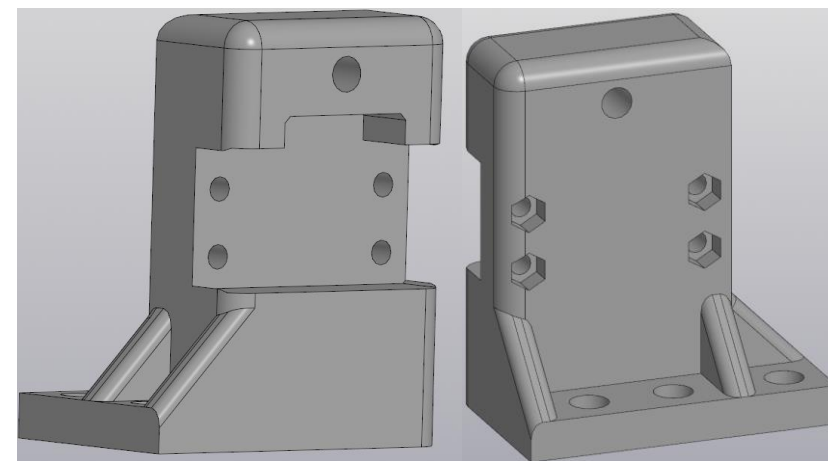


Рис. 11. Держатель подшипника

Модель координатного стола

Каретки, обеспечивающие движение вдоль оси ОУ, выполнены практически по такому же принципу. Однако нижняя часть каретки выполнена с учетом экономии пространства, соответственно, для увеличения рабочей области (рис. 12).

Движение передачи осуществляется с помощью шаговых двигателей 17HS4401 (42HS4401) 1,7А. Размеры представлены на рисунке 13. Характеристики двигателя:

- Угол одного шага: 1.8°
- Номинальный рабочий ток: 1700 мА
- Момент удержания: 4 кг х см
- Диаметр оси: 5 мм
- Рабочая температура: $-20^\circ + 50^\circ\text{C}$
- Масса: 280 грамм

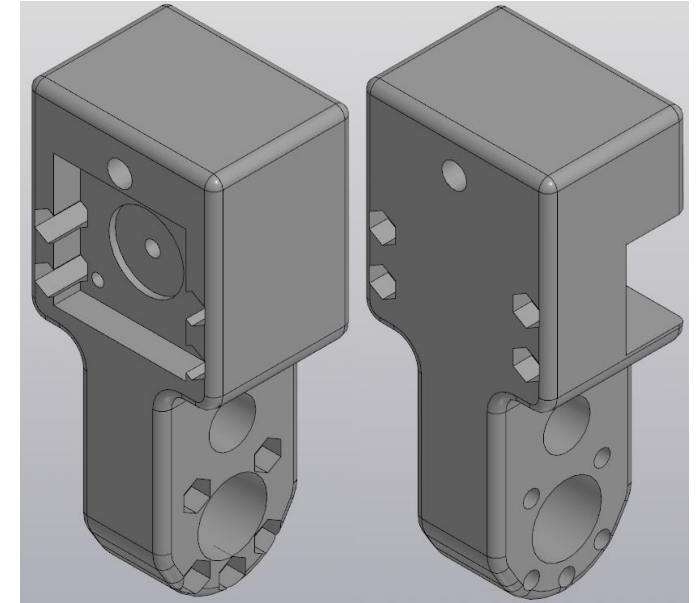


Рис. 12. Каретки для движения по ОУ

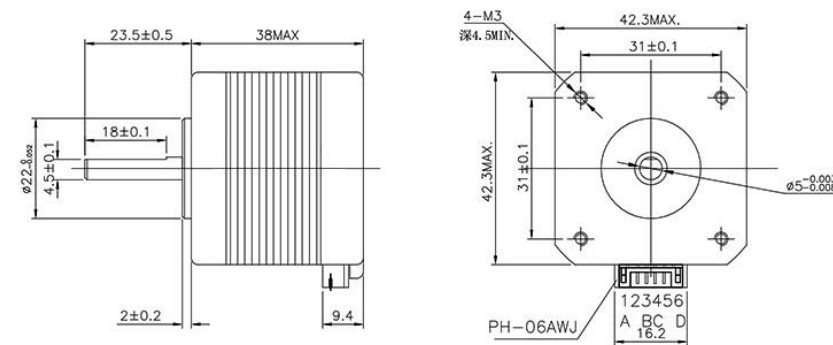


Рис. 13. Шаговый двигатель 17HS4401

Модель координатного стола

Управление двигателями осуществляется с помощью АЦП-ЦАП микроконтроллера Arduino Uno с платой CNC Shield (рис. 14).

Драйвера, располагаемые на шилде, позволяют управлять шаговыми двигателями после преобразования сигнала от компьютера (рис. 15). Arduino имеет большое количество уже написанных библиотек для различных целей, а также имеет удобную среду для собственных разработок.

Софт для управления двигателями существует, однако для данной задачи он сырой. Подходящее исполнение библиотеки находится в разработке.

На рис. 16 приведен пример ожидаемой картины распределений.

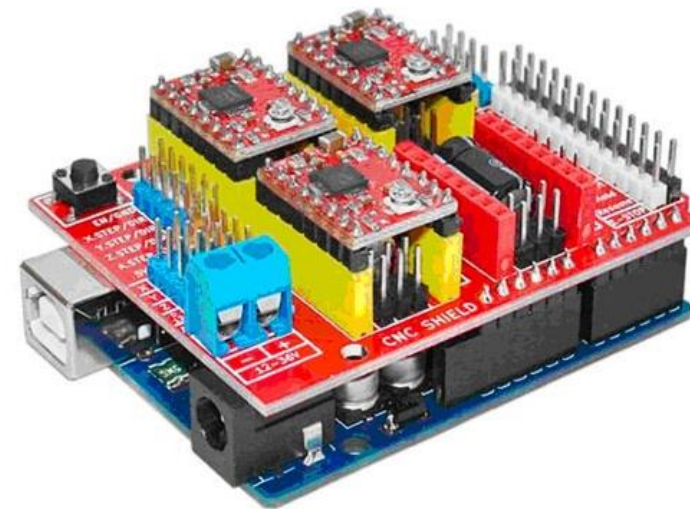


Рис. 14. Arduino (снизу) и CNC Shield для ЧПУ

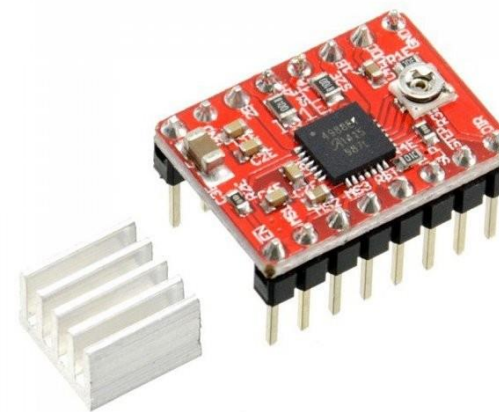


Рис. 15. Драйвер A4988 с радиатором

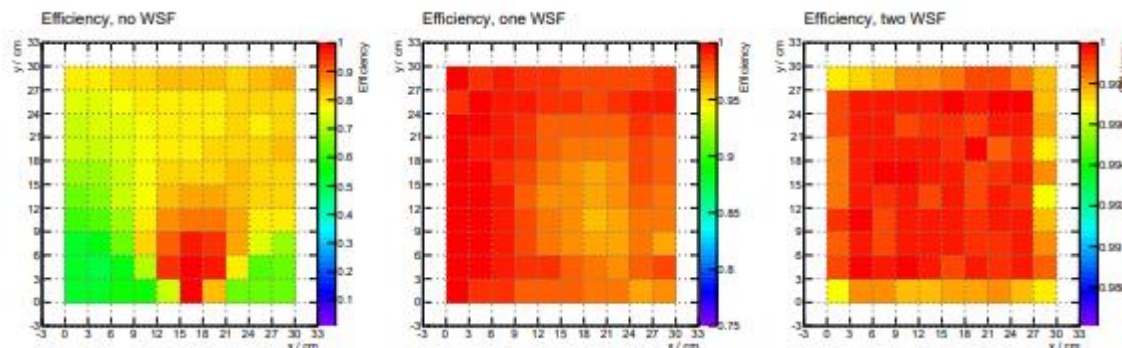


Рис. 16. Пример ожидаемой картины распределений

Заключение

- Представлена модель тайл системы прототипируемого детектора, а также используемый оптический клей;
- Представлена модель координатного стола, рабочая область которого покрывает размеры исследуемой системы тайлов;
- Сборка модели ожидается после печати всех держателей;
- Программное обеспечение находится в разработке;
- Помимо основной задачи, планируется провести контроль качества сцинтилляторных тайлов на предмет шероховатостей, а также тестирование различных оптических клеев с целью добиться максимальной эффективности прототипа детектора ВВС.

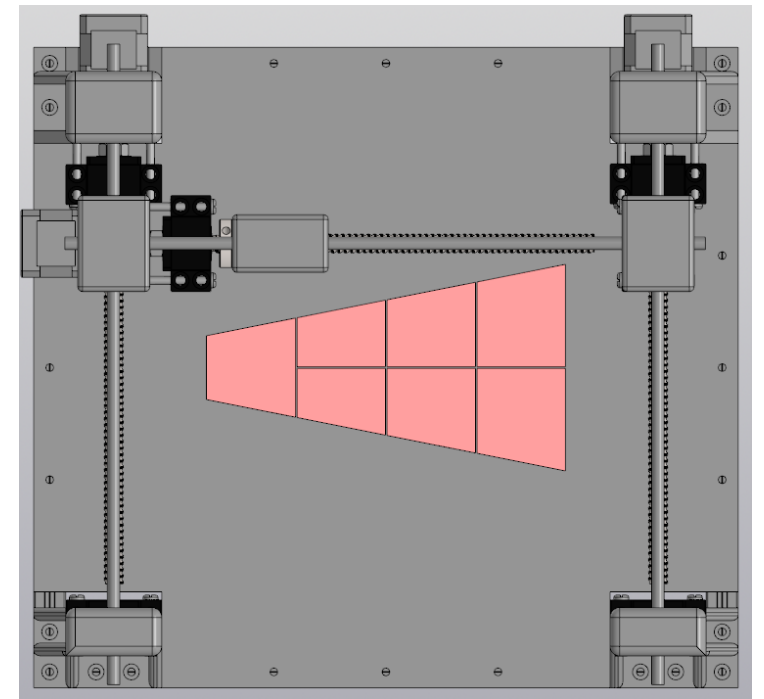


Рис. 17. Модель координатного стола, вид сверху

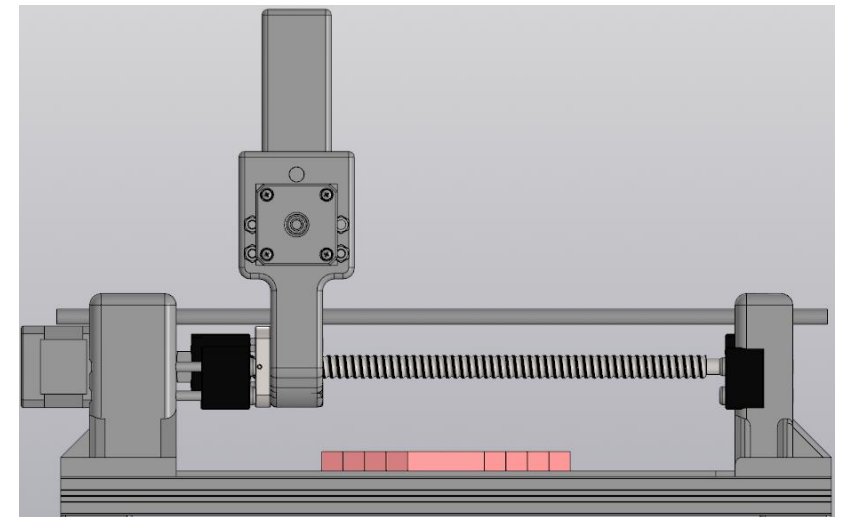
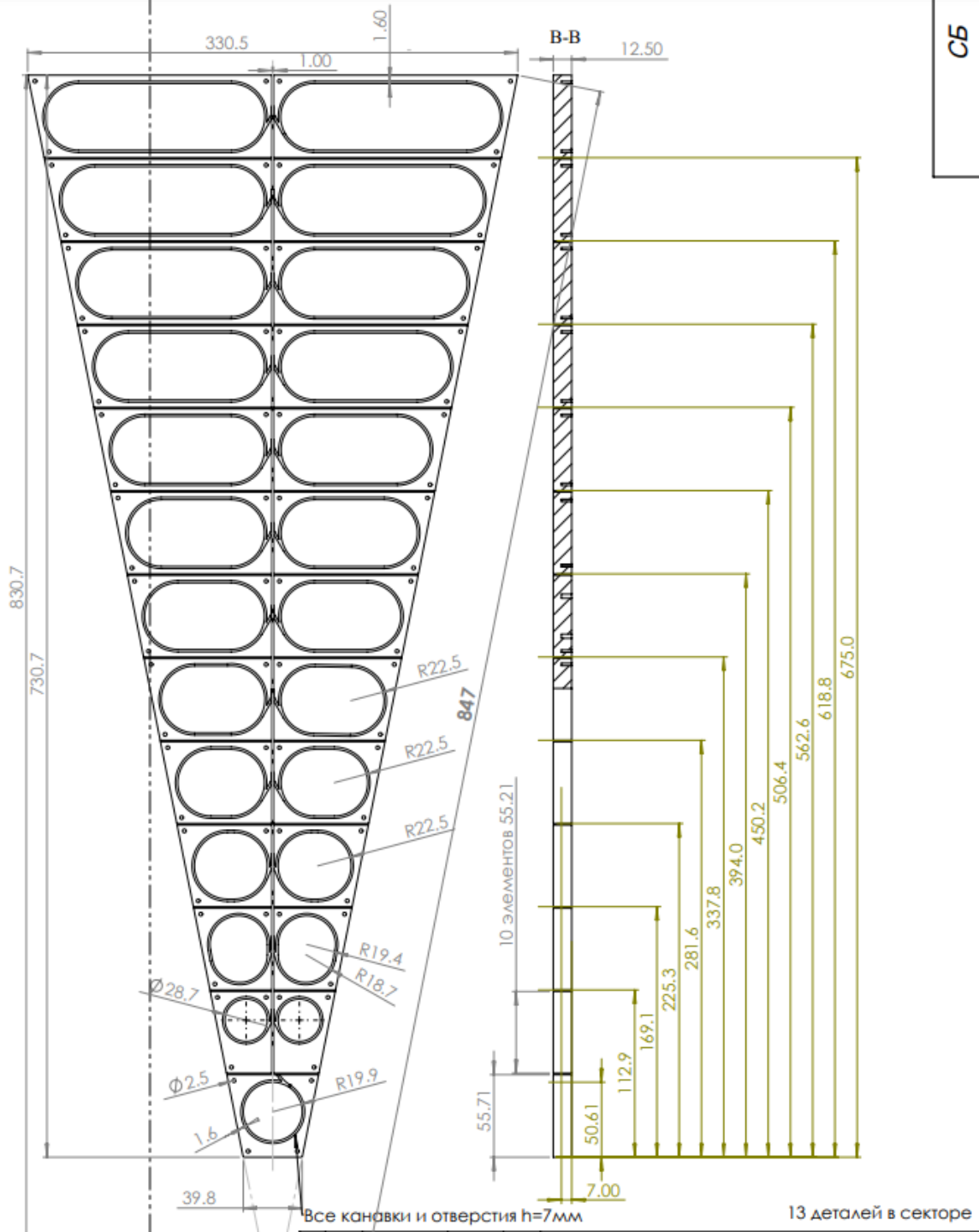


Рис. 18. Модель координатного стола, вид сбоку

Спасибо за внимание!

BACK UP



СБ

Наименование параметра	Норма для типа							
	ОК-50ПК	ОК-72ФТ ₅	ОК-72ФТ _н	ОК-90М	УФ-235М	УФ-215	УФ-215М	ТКС-1
1. Спектральный коэффициент пропускания клеяющего слоя при толщине 10 мкм в интервале длин волн, нм, %, не менее:								
от 215 до 220 вкл.	—	—	—	—	—	85	—	—
св. 220 до 235 »	—	—	—	—	От 40 до 80	От 87 до 95	75 (интегральный)	—
» 235 до 250 »	—	—	—	—	80	От 95 до 97	—	—
» 250 до 260 »	—	—	—	—	От 80 до 95	—	—	—
» 260 до 1200 »	—	—	—	—	От 95 до 99	97	—	—
300—400	От 80 до 96	—	—	—	—	—	—	—
350—1000	—	—	—	—	—	—	—	99
350—2650	—	—	—	—	—	—	—	—
400—2700	99	99	99	—	—	—	—	—
420—2700	—	—	—	98	—	—	—	—
430—2700	—	—	—	—	—	—	—	—

Наименование параметра	Норма для типа					
	Бальзам пихтовый типов О и О _п	Бальзамин	Бальзамин-М	Бальзамин-М2	Акриловый	ОК-50П
2. Показатель преломления при 20°C для клея:						
жидкого	—	1,483—1,490	1,481—1,489	—	—	1,523—1,528
твердого	1,520—1,540	1,517—1,519	1,517—1,519	1,513—1,514	1,485—1,487*	1,578—1,582
3. Нагревостойкость клеяющего слоя, °C, не ниже	30—50 (в зависимости от марки)	60	110	120	80	130
4. Холодостойкость клеяющего слоя, °C, не выше	От минус 40 до минус 60 (в зависимости от марки)	Минус 60	Минус 90	Минус 90	Минус 60	Минус 170
5. Механическая прочность на разрыв, Па, не менее	39,2·10 ⁵	39,2·10 ⁵	39,2·10 ⁵	93,1·10 ⁵	98,0·10 ⁵	98,0·10 ⁵

В свою очередь, трапецевидные винты позволяют добиваться такой же точности, однако не будут использованы в данной работе. Во-первых, физика процесса просто не требует такого координатного разрешения. Рентгеновская трубка используется вместе с коллиматором, ограничивающим область облучения квантов до отверстия диаметром 2 мм, внутренняя часть которого выполнена из алюминиевого цилиндра, хорошо рассеивающего кванты. Допустимое разрешение составляет от десятой миллиметра, то есть разрешение 20 мкм просто не внесет вклада. Во-вторых, трапецевидные винты имеют большое количество недостатков. Для начала, их КПД составляет около 50%, так как механизм основан на трении скольжения, а не на трении качения, как в ШВП. В следствие этого требуются более мощные двигатели и большее время исполнения команд, а также дополнительные затраты на электроэнергию. Принимая во внимание так же то, что для трапецевидных винтов повышен износ, люфт и нагрев рабочей области, выбор в пользу ШВП становится очевиден. ШВП плохо работают с вертикальными перемещениями: в силу особенности данной передачи, гайка не может находиться в фиксированном положении, и поэтому она самопроизвольно, под действием силы тяжести, начинает движение. Однако в данной работе проводится исследование зависимости световыхода от положения источника в плоскости XOY, а потому этот недостаток можно игнорировать. КПД шарико-винтовой передачи составляет от 90\%, передача дает дополнительную жесткость конструкции, а как следствие - основание для более редкой калибровки установки. Последним достоинством выбора ШВП является тот факт, что собираемый координатный стол может в будущем быть использован для других целей, требующих такие координатные разрешения, либо же может быть пересобран в ЧПУ фрезер.

Таблица 2.1 — Оптические наполнители и их характеристики

Марка	Вязкость, cPs	Диапазон рабочих температур	Спектральные характеристики	Показатель преломления
EJ-500	800	От -65 до +105 °C	60-95% 300-350 nm, 95-100% 350-600 nm	1.574
ЕРО-ТЕК 301-2	225 - 425	Комнатная температура - +65 °C	94% 320 nm, 99% 400-1200 nm, 98% 1200-1600 nm	1.5318 589 nm
ЕРО-ТЕК 301	100 - 200	Комнатная температура - +65 °C	99% 382-980 nm, 97% 980-1640 nm, 95% 1640-2040 nm	1.519 589 nm
Оптический клей Луч-2	—	От -60 до +125 °C	98% 400-950 nm	1.54
СКТН МЕД Марки Е	15 · 10 ³	—	92-96% 500 nm	1.606