

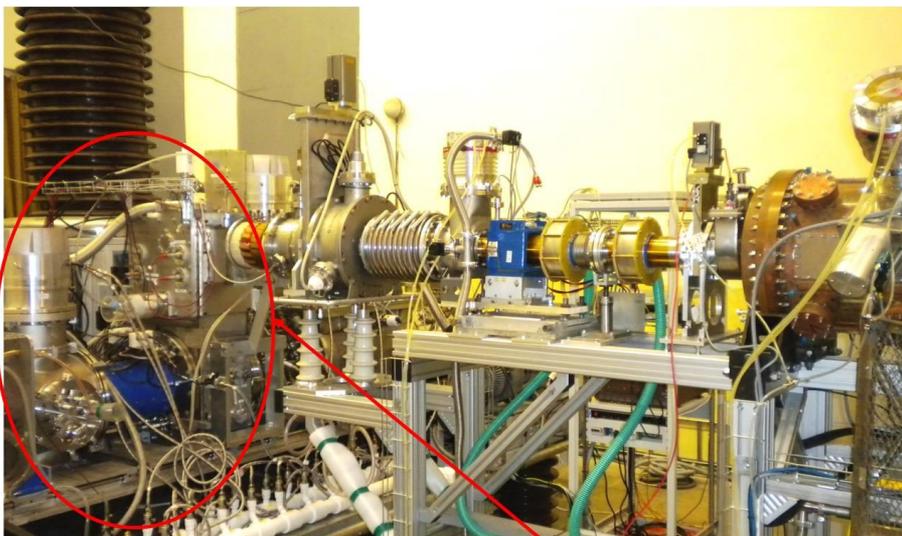
# Предложение по развитию программы измерений поляризационных явлений на Нуклотроне

Нагайцев А.П., Пискунов Н.М., Тютюнников С.И.,  
Усов Ю.А., Шиндин Р.А.

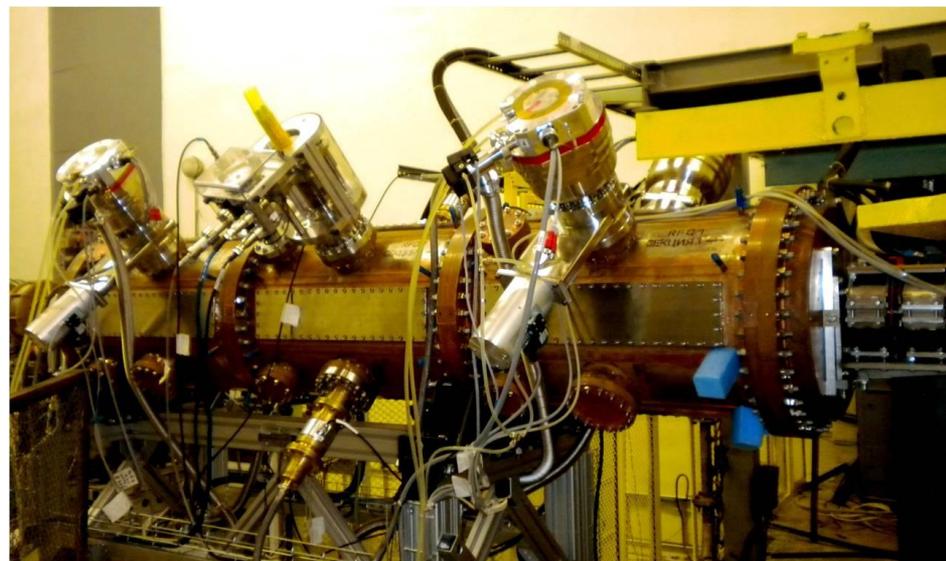
Мы представляем предложение нового проекта на ускорительном комплексе «Нуклотрон» ЛФВЭ ОИЯИ. Разработка и реализация этого проекта будет основана на модернизации поляризованной мишени на современном технологическом уровне, а также и создании новых детекторов.



В 2009 г. в ЛФВЭ начались работы по созданию высокоинтенсивного источника поляризованных дейтронов SPI. В настоящий момент SPI показал стабильную работу в 53-55 сеансах (2016-17 гг.), обеспечил векторную поляризацию дейтронов +1 и -1, и тензорную поляризацию +1 и -2, а также интенсивность  $d$ -пучка увеличилась более чем в 100 раз по сравнению с предыдущим источником «Полярис». Это открывает «старые» горизонты исследований спиновых эффектов в области энергий от 0.5 до 6.0 ГэВ пучка нейтронов с продольной (L) и поперечной (T) поляризацией.



Equipment of new polarized ion source SPI and LEPT part of beam channel to RFQ section



New RFQ section – pre-injector LU-20



Программа измерений нового проекта может быть основана на полученных ранее результатах по поиску высокоимпульсной асимптотики спиновых наблюдаемых связанной  $np$ -пары (в измерениях стриппинга поляризованных дейтронов до рекордно высоких значений внутренних импульсов до 10 ГэВ/с), а также исследовании свободной L-поляризованной  $np$ -пары в измерениях  $\Delta\sigma_{L,T}(np)$  при 6-ти значениях энергий пучка нейтронов.

Вышеуказанные измерения могут быть дополнены новыми актуальными исследованиями спиновой структуры  $np$ -взаимодействий:

- в трансмиссионных измерениях энергозависимостей полных  $np$ -сечений в чистых спиновых состояниях  $\Delta\sigma_{L,T}(np)$ , для параллельных и антипараллельных направлений спинов нейтронов пучка и протонов поляризованной мишени;

- одновременные с ними измерения энергозависимостей параметров спиновой корреляции  $A_{00kk}$  и  $A_{00nn}$  зарядовообменного процесса  $np \rightarrow pn$  под нулём градусов. Полный набор  $np$ -данных необходим для прямого определения как мнимых, так и вещественных частей спиновозависимых амплитуд упругого NN-рассеяния вперёд (метод Direct Reconstruction Scattering Amplitudes), т.е. для безмодельного восстановления матрицы рассеяния.

V. I. Sharov, L. N. Strunov et al., “Measurements of the total cross section difference  $\Delta\sigma_{L,T}(np)$  at 1.59, 1.79 and 2.20 GeV”, Eur. Phys. J, 2000, V. C, No 13, P. 255–265.

V. I. Sharov, L. N. Strunov et al., “Measurements of the total cross section difference  $\Delta\sigma_{L,T}(np)$  at 1.39, 1.69, 1.89 and 1.99 GeV”, Physics of Atomic Nuclei, 2005, V. 68, No 11, P. 1796–1811.; Eur. Phys. J, 2004, V. C, No 37, P. 79–90.



Экспериментальная база для проведения предлагаемых поляризационных исследований на ускорительном комплексе ЛФВЭ ОИЯИ создана и успешно использовалась группой Дельта-Сигма в первых сеансах измерений  $\Delta\sigma_{L,T}(np)$ :

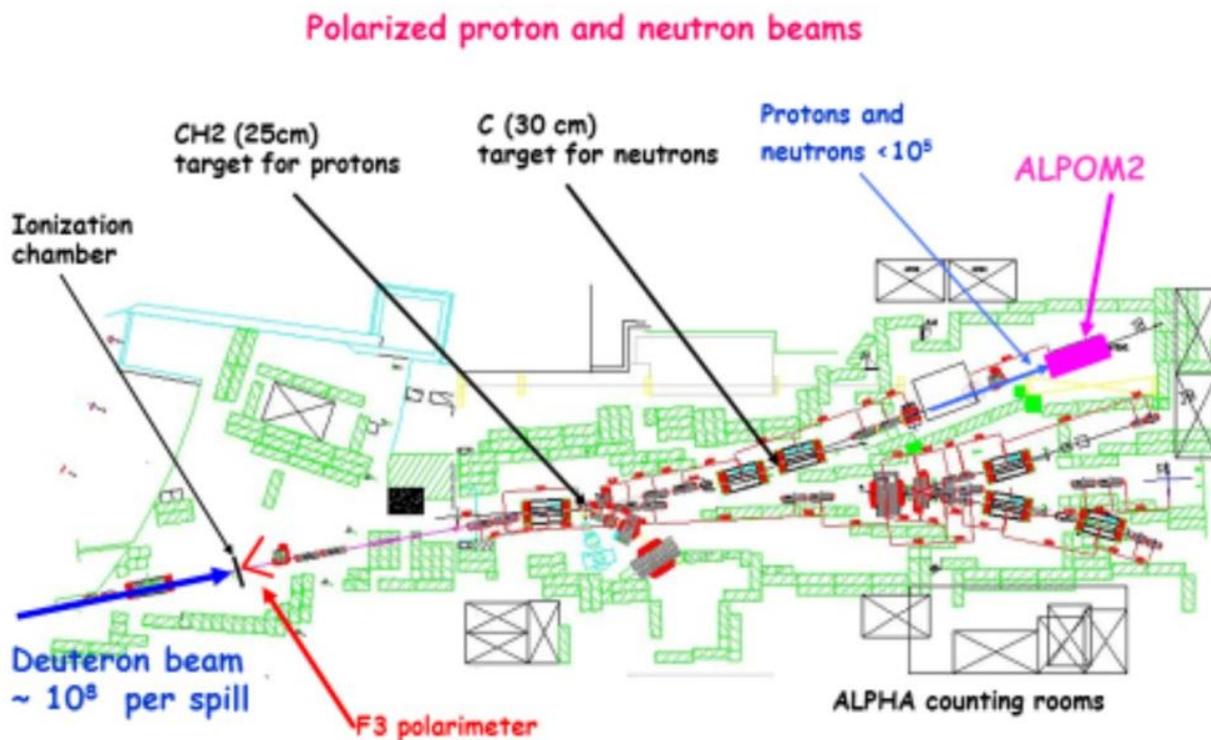
- интенсивный пучок квазимонохроматических поляризованных нейтронов с импульсом до 4.5 ГэВ/с;
- поляризованная протонная мишень (Movable Polarized Target, MPT) с замороженными спинами протонов;
- система сверхпроводящих катушек для поворота спинов протонов мишени из горизонтального состояния (L) в вертикальное (T);
- система мониторинговых и трансмиссионных детекторов нейтронов, время-пролетные и координатные детекторы для проведения спектрометрических измерений;
- детектор окружения мишени (ДОМ) для подавления фона неупругих  $np$ -реакций.

Проводится модернизация 300-канального калориметра «Дельта-2» для регистрации гамма-квантов, что позволит напрямую исследовать жёсткую реакцию  $np \rightarrow d\sigma \rightarrow d\pi\pi$ . Программа проекта ALPOM-2, представленная в этом году на ПКК по физике частиц, может быть расширена новыми задачами, что существенно обогатит уже предложенные измерения. В частности, измерение углового распределения анализирующих способностей  $CH_2$ , Cu, W для протонов и нейтронов с эффективным подавлением фона неупругих реакций. Для нейтронов можно получить данные по спиновым асимметриям для обеих реакций упругого и зарядового обмена.

ALPOM-2, [https://indico.jinr.ru/event/2115/attachments/9957/16135/proposal\\_alpom2\\_21\\_f.pdf](https://indico.jinr.ru/event/2115/attachments/9957/16135/proposal_alpom2_21_f.pdf)

Физические программы многих научных центров, выполняющих измерения спиновых эффектов, содержат пункты по изучению асимметрий в инклюзивных реакциях с рождением мезонов и адронов. Модернизация МРТ позволит провести широкий спектр таких измерений. Например, можно измерить спиновые эффекты в реакциях с рождением мезонов ( $\pi$ ,  $\eta$ ,  $\omega$ ,  $\phi$ ,  $\pi\pi$  и  $\pi\eta$ ), а также с рождением гиперонов (поляризация  $\Lambda$ ).

Наибольший интерес в этой области представляет возможность использовать пучок нейтронов с энергией 0.5 - 6 ГэВ.





Поляризованная мишень, которая уже использовалась для исследований спиновых эффектов в ОИЯИ, является мишенью замороженного типа. Такие мишени имеют ряд преимуществ перед мишенями с непрерывной динамической накачкой поляризации ядер, и состоят из достаточно сложных систем.

Для реализации предлагаемой физической программы предполагается создание нового криостата Поляризованной Мишени замороженного типа, с использованием результатов последних успешных разработок в этой области. Главное отличие — это реализация возможности использования холодного экрана криостата мишени для охлаждения и удерживающих поляризацию (продольное и поперечное направление) сверхпроводящих катушек. В такой системе с использованием внутренних удерживающих магнитов, детектирующая система экспериментальной установки может в этом случае располагаться максимально близко от рабочего вещества мишени. Большие наработки в этой области к настоящему времени есть у наших коллег из университетов Бонна и Майнца.

S. Runkel, “The Polarized Target at the CBELSA/TAPS”, NSTAR, 2019, Bonn.

H. Dutz, “The Bonn Frozen Spin Target”, EU Workshop, EP7, SPINMAP, Linz, 2011.

M. Biroth et al., “Design of the Mainz Active Polarized Proton Target”, PoS (PSTP2015) 005.

Yu. Usov “Frozen Spin targets developed at Dubna. History and traditions” PoS(PSTP2015-021).

PoS(PSTP2015-021).

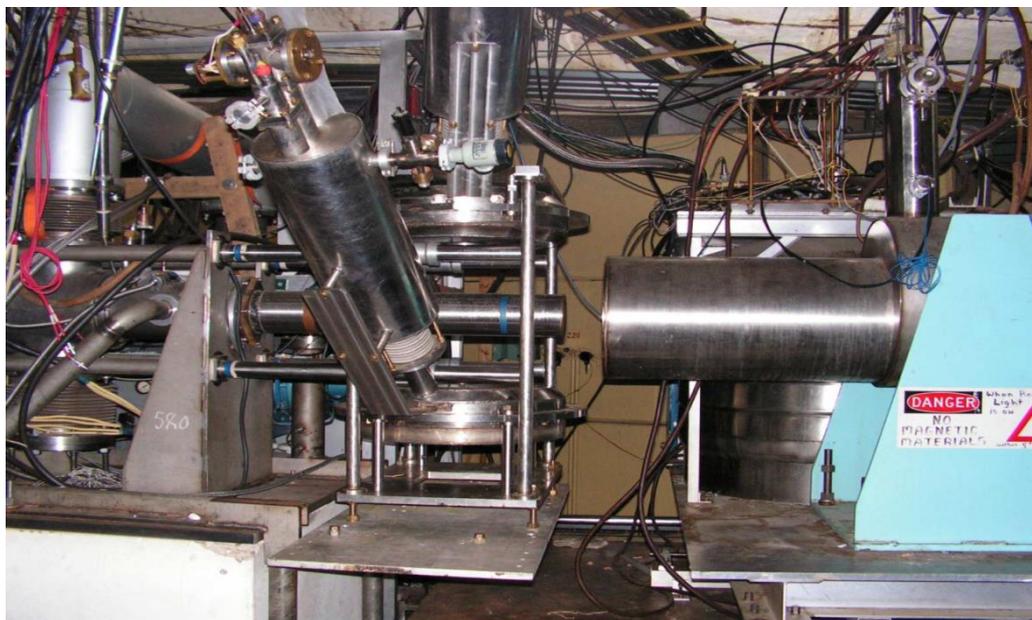
Ещё одной дополнительной и привлекательной для будущего эксперимента возможностью является создание дополнительного устройства к этому криостату, поляризованная мишень-сцинтиллятор – “ACTIVE-TARGET”. В настоящее время подобная мишень была успешно разработана и использована в эксперименте на ускорителе “МАМІ С” в Майнце с участием сотрудников ЛЯП ОИЯИ. М. Biroth et al., “Design of the Mainz Active Polarized Proton Target”, PoS (PSTP2015) 005.

Разработка и изготовление такого криостата, совместимого с уже имеющимися системами МРТ, позволяет рассчитывать на создание в ОИЯИ поляризованной мишени мирового уровня с предельно возможными экспериментальными возможностями.

Обычно для создания поляризации в веществе мишени используется генератор ЭПР (Электронный Параметрический Резонанс) с частотой 70 ГГц.

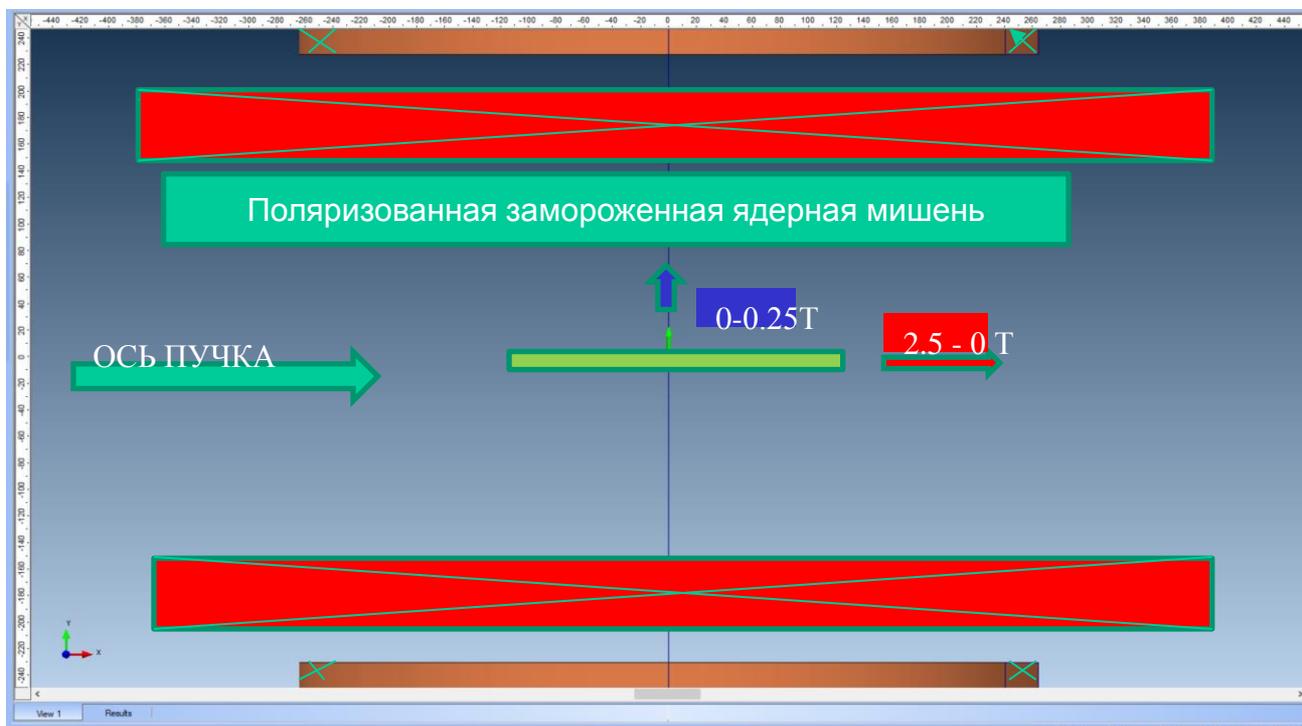


Для создания поляризации замороженных мишеней используются большие магнитные поля (в нашем случае 2.4 Тл) с высокой однородностью поля  $\Delta B/B \sim 10^{-4}$  во всем рабочем объеме мишени, в случае замороженных мишеней для удержания поляризации можно использовать достаточно слабые (0.2-0.5 Тл) поля с невысокой однородностью (около 1%).



На данный момент магнит для создания поляризации (соленоид) возможно может быть приведен в рабочее состояние. Существующий магнит для удержания поляризации (два кольца Гельмгольца) требует замены. Магниты могут быть выполнены на основе новых инновационных подходов, например, с использованием ВТСП лент (Высоко-Температурная Сверхпроводимость).

Величина поляризации измеряется методом ядерно-магнитного резонанса при поле накачки, для чего обычно используются различные Q-метры.

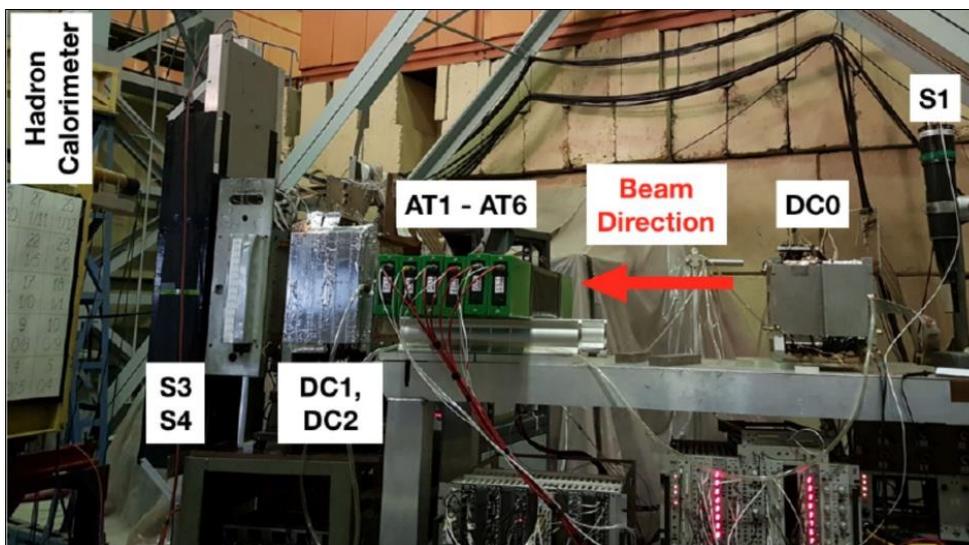


Экспериментальная установка будет основана на следующих детекторных системах:

- мониторные и трансмиссионные детекторы нейтронов;
- трековая система и магнитный анализ (спектрометр);
- время-пролетная система;
- адронный калориметр;
- аэрогельные модули;
- $dE/dx$  (детектор окружения мишени).

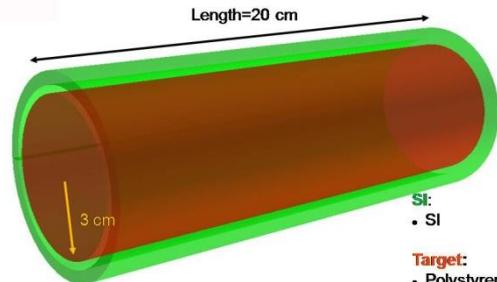
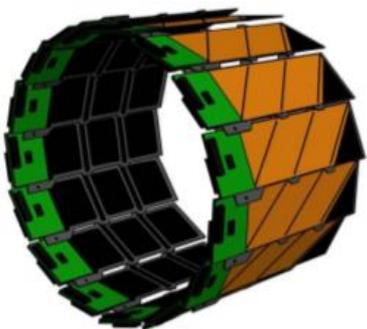
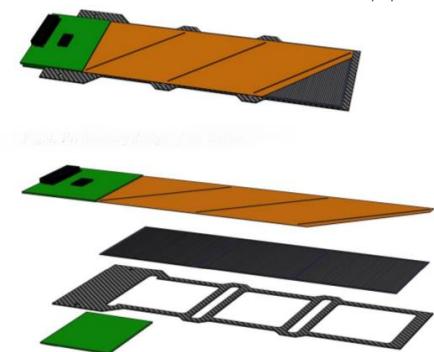
Время-пролетная система и адронный калориметр уже работают в составе установки ALPOM-2. Для реализации проекта потребуется модернизация этих детекторов.

Аэрогельные модули могут быть использованы как элемент измерительной системы окружения мишени, так и в магнитном спектрометре за мишенью.

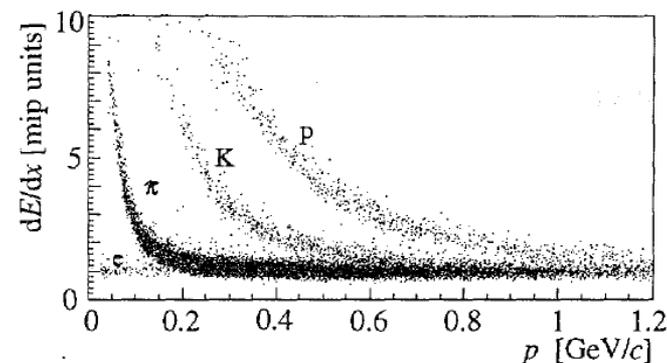
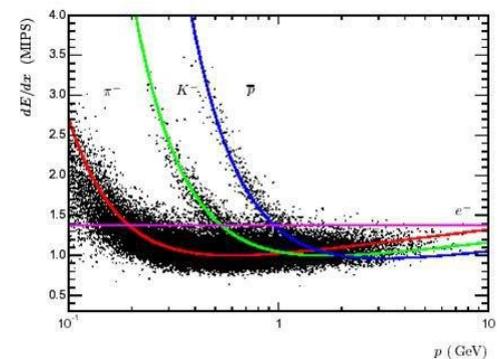
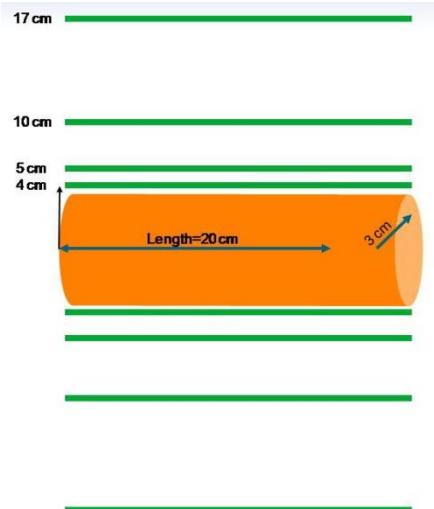


Детектор окружения мишени (ДОМ) может быть создан на основе силиконовых стриппов, объединенных в так называемые двух-координатные ледеры в виде трех-четырех цилиндрических групп, расположенных между контейнером МРТ и удерживающим поляризацию ВТСП-магнитом.

Кроме координатных измерений (вершина и кривизна трека определяют импульс заряженной частицы) такой детектор позволит идентифицировать частицы с импульсом до 800 МэВ/с с использованием данных  $dE/dx$ .



```
double density = 1.032;
TGeoMixture *mix_polystyrene = new TGeoMixture("polystyrene", 2, density);
mix_polystyrene->AddElement(eC, 9);
mix_polystyrene->AddElement(eH, 21);
```



Данная модернизация ДОМ позволит исследовать спиновые эффекты (асимметрия и разница сечений) в различных эксклюзивных реакциях взаимодействия легких поляризованных ядер. А также при работе с неполяризованным пучком могут быть выполнены измерения одно-спиновых асимметрий с рождением мезонов, адронов и гиперонов.

Физика Элементарных частиц и атомного ядра, 2005, том 36, выпуск 5

The legacy of the experimental hadron physics programme at COSY, Eur. Phys. J. A (2017) 53: 114

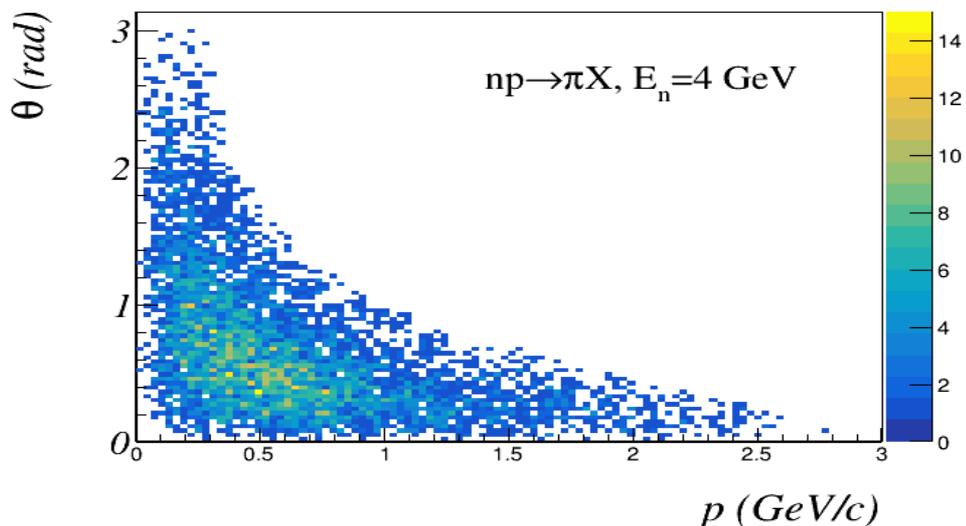
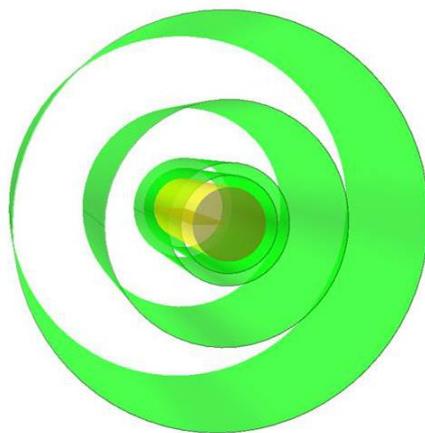
Spin Physics from COSY to FAIR, <https://www.researchgate.net/publication/2150862>

**SILICON:**

SI

**Target:**

Polystyrene





# Collaborators are welcomed !

