

**Поляризация программа  
исследований  
на ускорителе У-70 (Протвино)  
эксперимент СПАСЧАРМ**

**Изучение Спиновых АСимметрий  
в образовании легких резонансов и ЧАРМония на  
ускорителе У-70**

- Сотрудничество СПАСЧАРМ (пилотный проект, основной проект)
- Экспериментальная установка (I этап), весенний «сеанс» 2018 г., планируемый набор данных 23.11-09.12.2020
- Исследование односпиновых асимметрий на канале №14 У-70 до ~ 2023 г. (I этап)
- Физическая программа СПАСЧАРМ (II этап)
- Создание пучков поляризованных протонов и антипротонов, экспериментальная установка (II этап)
- Заключение

## Стратегия эксперимента СПАСЧАРМ

- **Этап 1.** Односпиновые асимметрии на канале 14 (2018-2023), включая первые измерения поляризации
- **Этап 2.** Создание пучка поляризованных протонов и антипротонов (исследования ~ с 2025 г.):
  - систематическое исследование инклюзивных, эксклюзивных и упругих реакций в рождении частиц, состоящих из легких кварков ( $u, d, s$ )
  - Поляризация в процессах рождения гиперонов и векторных мезонов
  - Изучение зависимости от кинематических параметров ( $0 < x_F < 1$ ,  $0 < p_T < 3.0$ ,  $12 < E_{\text{BEAM}} < 60 \text{ GeV}$ ), сорта частиц пучка, множественности, атомного номера с высокой точностью благодаря полному азимутальному углу и большой апертуре
  - Двухспиновая асимметрия  $A_{LL}$  в рождении чармония для изучения вклада глюонов в спин протона  $\Delta G/G(x)$  при больших  $x_F$

- Заявка и создание пилотного проекта установки СПАСЧАРМ в ИФВЭ (~ с 2007 г.)
- В. Мочалов (д. ф.-м.н.), ядерный семинар ОФВЭ, 4.10.16
- Проработка вопроса о переносе ПК и ДК (?) ЭПЕКУР → ИФВЭ
- Март 2018 г.: 3 ПК+электроника +имплементация онлайн: установлены на пучке
- Март-апрель 2018 г.: 5-недельный набор
- 2019 г.: препринт ИФВЭ № 2019-12
- 2020 г.: подготовлена статья в ЭЧАЯ
- Ноябрь-декабрь 2020 г. планируется набор физ. данных

# Сотрудничество СПАСЧАРМ

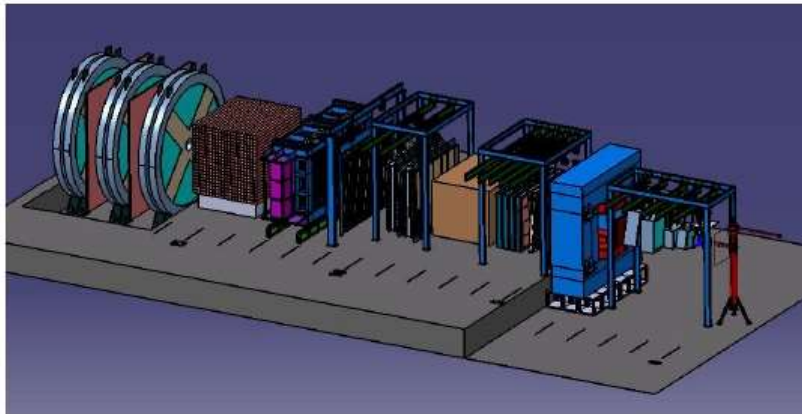
➤ 2017-2018 гг. «проект Распределенного центра (Россия, Германия)»: FAIR, НИКА, СПАСЧАРМ

➤ 2019 – препринт ИФВЭ (148 стр.)



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
имени А.А. ЛОГУНОВА

Концептуальный проект эксперимента СПАСЧАРМ.  
(Проект документа, 13.08.2017)



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»  
Институт физики высоких энергий имени А.А. Логунова  
Национального исследовательского центра  
«Курчатовский институт»

Препринт 2019–12

Концептуальный проект эксперимента  
СПАСЧАРМ

## Участники проекта

В.В.Абрамов, И.Л. Ажгирей, В.И.Бармин, Н.И.Беликов, А.А.Борисов, С.И.Букреева,  
А.Н.Васильев, В.И. Гаркуша, Ю.М.Гончаренко, А.А.Деревщиков, В.Н. Запольский,  
В.Г. Заручейский, Н.К. Калугин, В.А. Качанов, А.С.Кожин, В.А.Кормилицын, В.А.Маишеев,  
Ю.М.Мельник, Е.В.Маслова, А.П.Мещанин, Н.Г. Минаев, С.Б.Нурушев  
В.В.Моисеев, Д.А.Морозов, В.В.Мочалов, Л.В. Ногач,  
В.С. Петров, С.В. Пославский, А.Ф.Прудкогляд, С.В.Рыжиков, А.В.Рязанцев, П.А.Семенов,  
В.А.Сенько, С.Р. Слабоспицкий, Л.Ф. Соловьев, А.В. Узунян, Р.М.Фахрутдинов, Н.А. Шаланда,  
В.И. Якимчук, А.Е. Якутин

### НИЦ «Курчатовский Институт» – ИФВЭ

Н.А. Бажанов, Н.С. Борисов, С.В. Голоскоков, И.С. Городнов, А.С.Должиков, А.Б. Лазарев,  
А.Б. Неганов, Ю.А. Плис, О.В. Теряев, Ю.А. Усов, Ю.Н. Узиков

### Объединенный Институт Ядерных Исследований

А.А.Богданов, А.В.Клепиков, К.Д.Новиков, М.Б.Нурушева, В.А.Окороков, К.Д.Орешков,  
В.Л.Рыков, В.М. Самсонов, М.Н. Стриханов

### Национальный Исследовательский Ядерный Университет – МИФИ

И.Алексеев, В.Нестеров, В.В. Рыльцов, Д.Свирида, В.В. Тясин

### НИЦ «Курчатовский Институт» – ИТЭФ

В.А. Андреев, А.Б. Гриднев, Н.Г. Козленко, Д.В. Новинский, В.В. Сумачёв

### НИЦ «Курчатовский Институт» – ПИЯФ

### Основные цели весеннего сеанса 2018 г. и осеннего сеанса 2020 г.

1. Проверить в реальных экспериментальных условиях весь комплекс имеющейся аппаратуры «пилотной» версии установки СПАСЧАРМ
2. Провести первый полноценный набор статистики на поляризованной мишени при энергии  $\pi^-$  пучка 28 ГэВ

### Набор данных

Сеанс 124 смены 16 марта – 16 апреля 2018 года

16-27 марта 46 смен Подготовка установки к набору.

27.03 – 10.04 56 смен Набор статистики на поляризованной мишени.

10.04 – 16.04 22 смены Набор статистики на углеродной и «пустой» мишени.

**8 экспозиций с векторами поляризации мишени вдоль вектора магнитной индукции поля магнита мишени «+» и против «-», перекачка поляризации осуществлялась через каждые двое суток, начиная с 9:00 утра.**

**Набрано в весеннем сеансе 2018 года:**

**~800 млн. событий на поляризованной мишени**

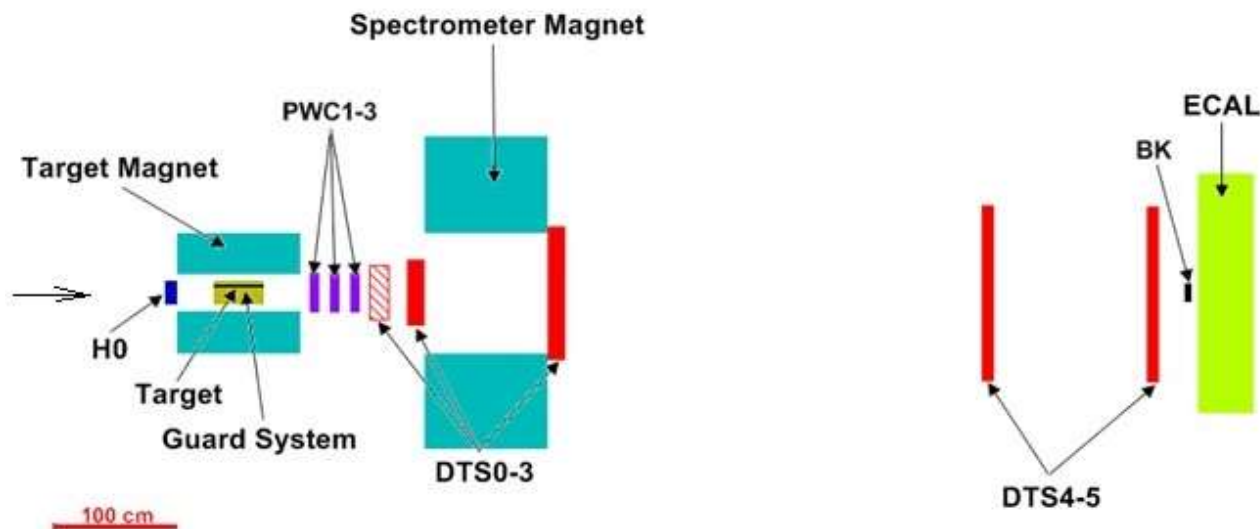
**~300 млн. событий на углероде и «пустышке»**

**ИТОГО: 1.1 млрд. событий**



# Экспериментальная установка (I этап)

## Установка СПАСЧАРМ



Пучковая аппаратура, в т.ч. **новый волоконный годоскоп** (H0).  
Комплекс поляризованной мишени, включая магнит «Динозавр» и  
вето-систему для эксклюзивных реакций (Guard System).  
Широко-апертурный спектрометрический магнит СПАСЧАРМ.  
Трековая система, включая **6 плоскостей проп.камер** (PWC1-3),  
**18 (↑30) дрейф. плоскостей до магнита** и **27 плоскостей после  
магнита**  
Электромагнитный калориметр ЧСПП-720 из свинцового стекла.

### Установка СПАСЧАРМ

- В наличии есть действующий электромагнитный калориметр из свинцового стекла на 720 каналов электроники. Он откалиброван на электронном пучке с энергией 19 ГэВ.
- Собран, испытан и уже отработал широко-апертурный спектрометрический магнит СПАСЧАРМ. Апертура магнита по вертикали 1 м, по горизонтали 2.3 м. Поле в центре магнита при существующем источнике питания составляет 6 кГс.
- В состав установки введен новый волоконный годоскоп с разрешением **125 мкм**. Размещен перед мишенью.
- В состав установки введены ТРИ двухкоординатные пропорциональные камеры ПИЯФ-ИТЭФ с рабочими областями 20 см х 20 см с разрешением лучше **300 мкм** (в сумме 1200 каналов). Размещены сразу после мишени.
- **Необходимо изготовить 2 ПК!**

## Поляризованная мишень



- ***Target material:*** pentanol  $C_5H_{12}O$  with TEMPO radical
- ***Polarization value:*** up to **75%**
- ***Dilution factor*** **7.3**
- ***Target dimensions:*** length **200 mm**, diameter **18 mm**
- ***Target thickness:*** **13.2 g/cm<sup>2</sup>** which is **~10% of interaction length** for 28 GeV pions and **~15%** - for 50 GeV protons

***Polarized target operates at extremely low temperature achieved by dilution of He<sub>3</sub> in He<sub>4</sub>:***

- ***The RF-pumping*** of polarization takes place in **2.4 T** magnetic field at RF-frequency of **~70 GHz** at the temperature of **~ 100 mK**
- ***Polarization decay time is*** **~1000-2000 hours** in **0.4 T** magnetic field at the temperature of **30-40 mK**- ***Polarization reversal:*** every 1-2 days



## Вето («охранная») система



### Veto detector for charged particles and $\gamma$ -quants

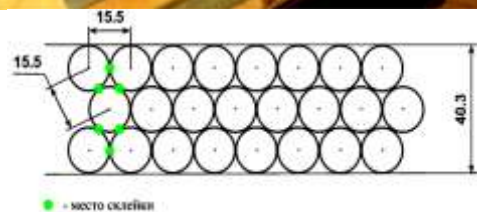
- Scintillator-Lead sandwich of the thickness  $\sim 5X_0$
- Light-collection, using 1 mm wave-shifting fibers BFC-91AMC
- Photodetectors: photomultipliers ФЭУ-84.
- Total number of channels: 12

### Usage:

- Trigger and/or offline veto for elastic, quasi-elastic and some other exclusive processes
- The veto system has shown its usefulness for the better selection of events within the target rather than in surrounding materials

# Экспериментальная установка (I этап)

## Спектрометрический магнит. Трековая система





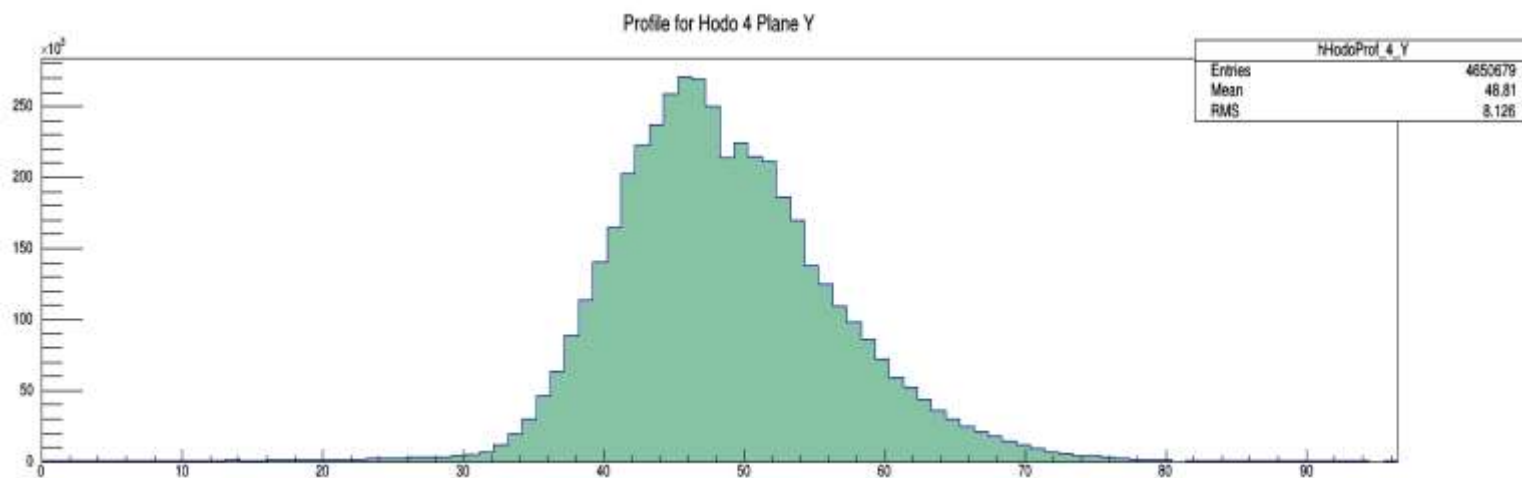
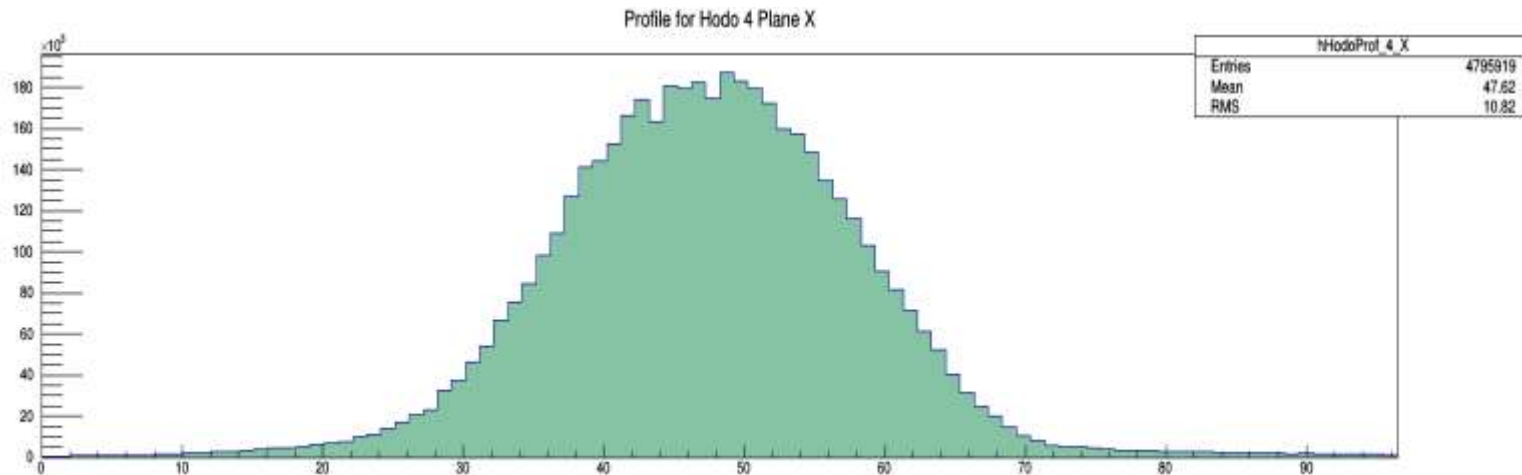
# Экспериментальная установка (I этап)

## Трековая система

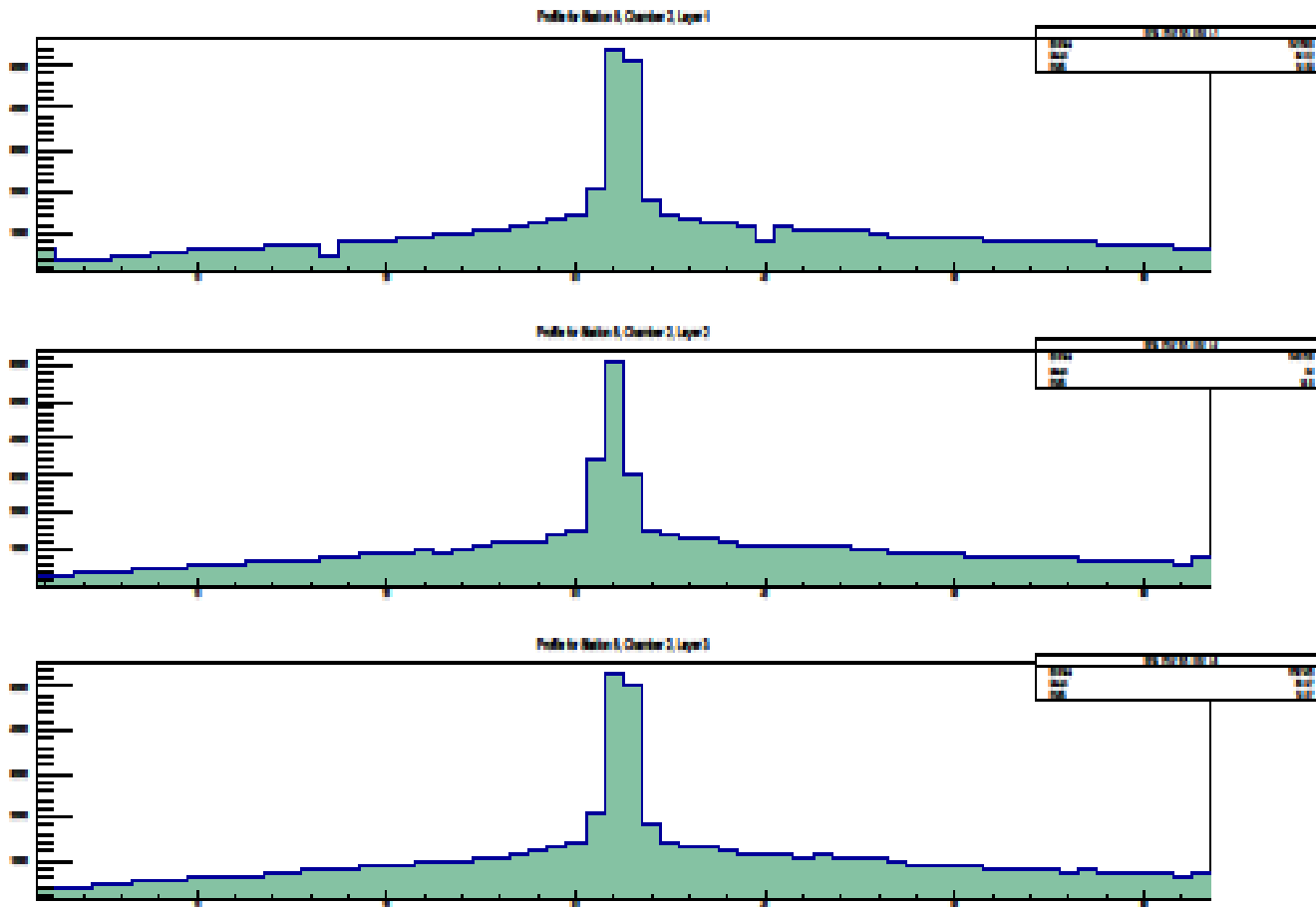
Имя	Расстояние от мишени, [м]	Композиция камер	Шаг проволоч (диаметр трубок), [мм]	Размер камеры, Y[см] × X[см]	Число каналов
DTS1	1,67	X,Y,U,V	30	72 × 96	336
DTS3	5,29	X,Y,U	30	120 × 168	432
DTS4	8,07	X,Y,U	30	192 × 240	672
DTS5	9,77	X,Y,U	30	192 × 240	672
PC1	0,55	X,Y	1	20 × 20	400
PC2	0,63	U,V, + 15°	1	20 × 20	400
PC3	0,68	U,V, - 15°	1	20 × 20	400
DTS0	1,00	U,V,X,Y	15	48 × 48	384

# Экспериментальная установка (I этап)

## Профили пучка на волоконном годоскопе

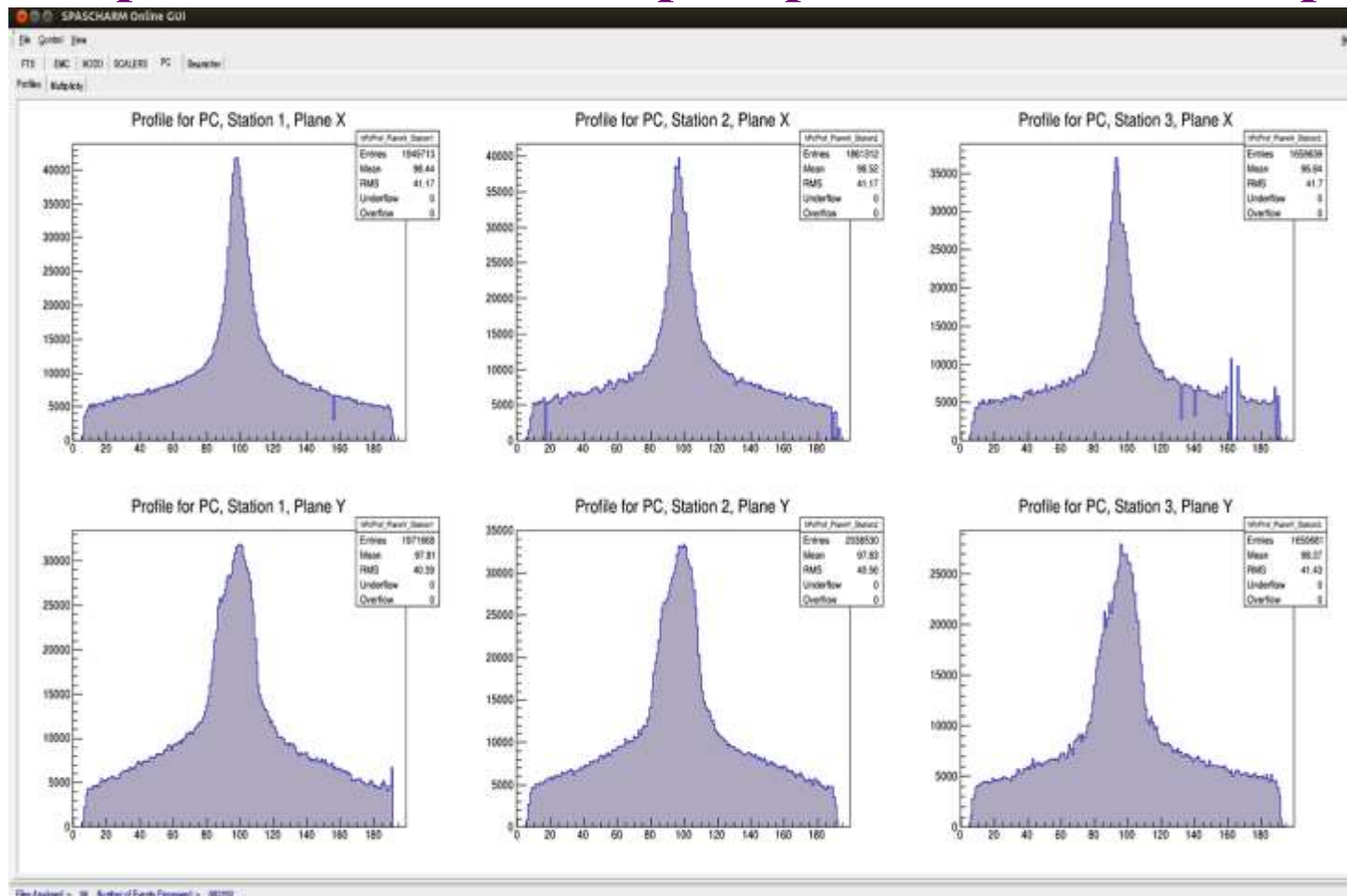


## Распределение по X сработавших проволочек на станции дрейфовых трубок №5





## Профили пучка (пик в середине) и вторичных частиц на пропорциональных камерах



### Ожидаемые результаты

Ожидаемые результаты весеннего сеанса: односпиновые асимметрии в области фейнмановской переменной  $x_F > 0.3$  и поперечного импульса  $p_T > 0.5$  ГэВ/с в реакциях:

- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^- X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^+ X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \pi^0 X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \rho(\pi^- \pi^+) X$
- $\pi^- + p_{\uparrow} \rightarrow \omega(\pi^- \pi^+ \pi^0) X$  и т.д.

Обработка данных в процессе.

### Физические задачи эксперимента с поляризованной мишенью (2018-2022)

- Измерение односпиновой асимметрии при рождении частиц, которые распадаются на пионы ( $\rho \rightarrow \pi^+\pi^-$ ,  $\omega \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$ ,  $\eta'(958)$ ,  $f_0(980)$ ,  $a_0(980)$ ,  $f_2(1270)$ ) в области фрагментации пионного пучка на поляризованной протонной мишени
- Детальное исследование различных поляризационных эффектов в инклюзивных процессах образования частиц и резонансов, состоящих из легких  $u$ ,  $d$  и  $s$ -кварков.
- Основной задачей проекта на первом этапе является детальное исследование поляризационных эффектов в инклюзивных процессах. Эксперименты с использованием мезонных пучков обнаружили отличную от нуля односпиновую асимметрию, как в центральной области, так и в области фрагментации пучка.

## Формула вычисления односпиновой асимметрии

Односпиновая асимметрия определяется как

$$A_N^H(x_f, p_t) = \frac{1}{P_{target}} \frac{1}{\langle \cos\phi \rangle} \cdot \frac{\sigma_{\uparrow}^H(x_f, p_t) - \sigma_{\downarrow}^H(x_f, p_t)}{\sigma_{\uparrow}^H(x_f, p_t) + \sigma_{\downarrow}^H(x_f, p_t)}$$

$P_{target}$  – средняя поляризация мишени;

$\phi$  – азимутальный угол;

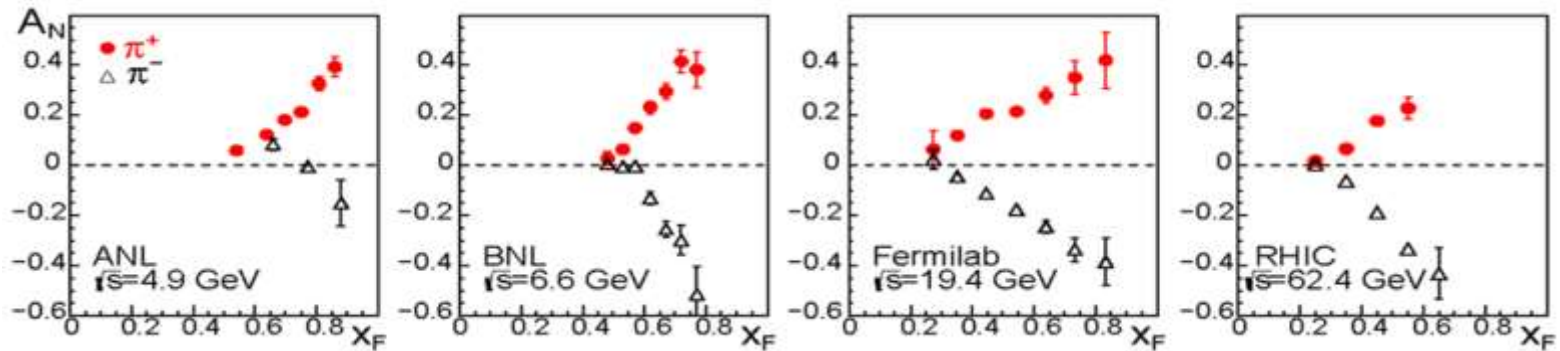
(При малых углах  $\phi$  считается, что все вторичные частицы вылетают под азимутальным углом  $0^\circ$ ).

Измеряемая асимметрия

$$A_N = \frac{D(x_f, p_t)}{P_{target}} \cdot A_N^{raw}(x_f, p_t) = \frac{D(x_f, p_t)}{P_{target}} \cdot \frac{n_{\uparrow}(x_f, p_t) - n_{\downarrow}(x_f, p_t)}{n_{\uparrow}(x_f, p_t) + n_{\downarrow}(x_f, p_t)}$$

$D$  - фактор разбавления мишени (отношение числа взаимодействий на всей мишени к числу взаимодействий на водороде)

## Мотивация проведения исследований

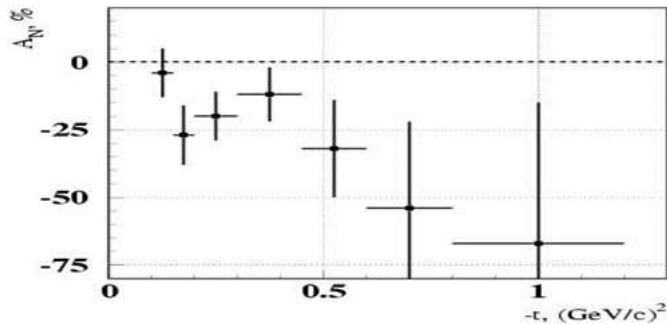


**Асимметрия инклюзивного образования (vs.  $x_F$ ) практически не зависит от энергии**

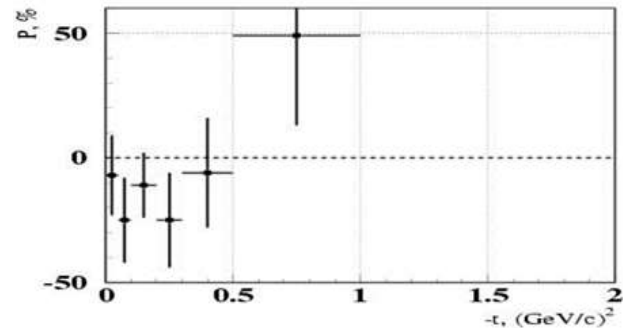
**На первое место в поляризационных исследованиях уже выходит не энергия, а систематическое исследование и анализ данных большого числа различных реакций.**

## Изучение эксклюзивных реакций

- Измерение в эксклюзивных реакциях с регистрацией заряженных частиц. На установке ПРОЗА (ИФВЭ) в нескольких реакциях были получены значительные асимметрии, достигающие до 30-40%.



Асимметрия в реакции  
 $\pi p \gamma \rightarrow \omega(782)n$  при энергии 40 ГэВ,  
когда  $\omega(782)$ -мезон регистрировался  
в моде распада на  $\pi^0$  и  $\gamma$ .

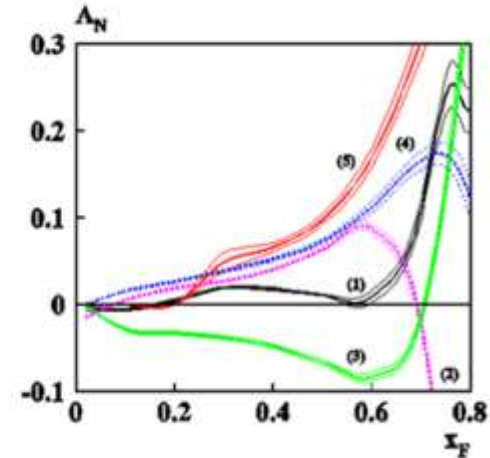
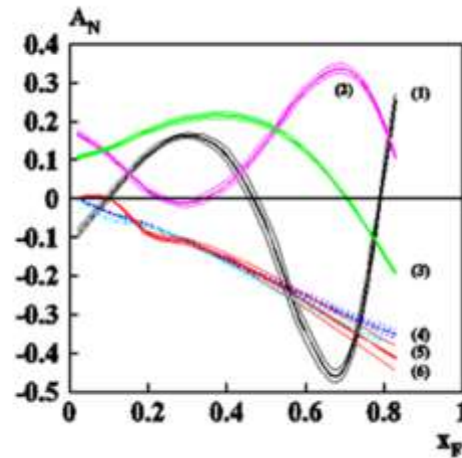
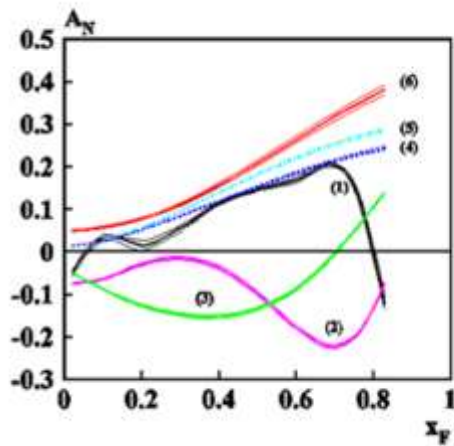


Асимметрия в реакции  
 $\pi p \gamma \rightarrow \eta'(958)n$  при энергии 40 ГэВ,  
когда  $\eta'(958)$ -мезон регистрировался  
в моде распада на два  $\gamma$ -кванта

## Изучение эксклюзивных реакций

- Ожидается увеличение статистики примерно на порядок в реакциях  $\pi^- p \rightarrow \omega(782)n$  и  $\pi^- p \rightarrow \eta'(958)n$ , а также в 3-4 раза в реакциях  $\pi^- p \rightarrow f_2(1270)n$  и  $\pi^- p \rightarrow a_2(1320)n$ .
- Впервые будет измерена асимметрия в реакции  $\pi^- p \rightarrow a_0(980)n$ , когда  $a_0(980)$  распадается на  $\eta(550)$  и  $\pi^0$ . (ожидается эффект более 50%).
- Данные по эксклюзивным реакциям будут набираться параллельно с данными по инклюзивным реакциям.

## Некоторые предсказания



- Предсказания асимметрии для реакций
- $p\uparrow + p(A) \rightarrow \pi^+ + X$  (слева),
- $p\uparrow + p(A) \rightarrow \pi^- + X$  (в центре)
- и  $p\uparrow + p(A) \rightarrow \pi^0 + X$  (справа).



# Исследование односпиновой асимметрии (I этап)

## Задачи СПАСЧАРМ на канале 14 в целом (инклюзив)

<i>Final state</i>	$N_{EVENTS}$	<i>Final state</i>	$N_{EVENTS}$
$\pi^+$	$4.2 \cdot 10^9$	$K^+$	$6.7 \cdot 10^8$
$\pi^-$	$8.7 \cdot 10^9$	$K^-$	$9.0 \cdot 10^8$
$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	$4.3 \cdot 10^9$	p	$9.2 \cdot 10^7$
$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	$4.3 \cdot 10^9$	$\tilde{p}$	$2.6 \cdot 10^8$
$\eta \rightarrow \gamma\gamma$	$4.2 \cdot 10^8$	$K^{0*}(892) \rightarrow K^+ \pi^-$	$1.1 \cdot 10^8$
$\eta' \rightarrow \pi^+ \pi^- \eta$	$8.3 \cdot 10^5$	$\tilde{K}^{0*}(892) \rightarrow K^- \pi^+$	$4.3 \cdot 10^7$
$K^0_S \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$1.3 \cdot 10^7$	$K^{+*}(892) \rightarrow K^+ \pi^0$	$1.9 \cdot 10^7$
$\rho^0(770) \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$4.2 \cdot 10^8$	$\tilde{K}^{-*}(892) \rightarrow K^- \pi^0$	$3.8 \cdot 10^7$
$\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$5.3 \cdot 10^6$	$\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$	$4.3 \cdot 10^6$
$\omega(782) \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$	$3.5 \cdot 10^7$	$\Lambda \rightarrow p \pi^-$	$1.4 \cdot 10^6$
$\omega(782) \rightarrow \gamma \pi^0$	$3.8 \cdot 10^7$	$\tilde{\Lambda} \rightarrow \tilde{p} \pi^+$	$1.1 \cdot 10^6$
$\rho^+(770) \rightarrow \pi^+ \pi^0$	$2.9 \cdot 10^8$	$\Delta^{++} \rightarrow p \pi^+$	$9.3 \cdot 10^6$
$\rho^-(770) \rightarrow \pi^- \pi^0$	$7.5 \cdot 10^8$	$\Delta^{--} \rightarrow \tilde{p} \pi^-$	$2.5 \cdot 10^7$
$K^0_S \rightarrow \pi^0 \pi^0$	$1.7 \cdot 10^7$	$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$	$1.9 \cdot 10^6$
$a_0(980) \rightarrow \eta \pi^0$	$1.8 \cdot 10^7$	$\tilde{\Xi}^+ \rightarrow \tilde{\Lambda} \pi^+$	$1.6 \cdot 10^6$
$\omega(782) \rightarrow e^+ e^-$	$1.7 \cdot 10^5$	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$	$1.2 \cdot 10^6$
		$\Sigma^0(1385) \rightarrow \Lambda \pi^0$	$3.9 \cdot 10^6$

### Ожидаемые результаты исследований

- **Разнообразии типов пучков, конечных состояний и наличие нескольких измеряемых односпиновых наблюдаемых позволяют провести глобальное исследование.**
- **Анализ этих данных дает возможность выявить закономерности поведения односпиновых наблюдаемых от аромата участвующих в реакции кварков, спиновой структуры адронов, содержащих эти кварки и кинематических переменных.**
- **Сравнение с моделями всей совокупности данных может позволить сделать важный шаг в определении механизма поляризационных явлений.**

## Исследование чармония на 2-м этапе

### (Неполяризованные пучки и поляризованная мишень)

Односпиновая асимметрия  $A_N$  инклюзивного рождения  $J/\psi$  и  $\chi_1/\chi_2$  на пучке поляризованных протонов. Ожидаемая статистика за 40 дней набора данных:

- Пучок поляризованных  $p$  (45 GeV,  $4 \cdot 10^7$  p/cycle): 10000  $J/\psi$  и 1000  $\chi_1/\chi_2$  состояний.
- Статистическая точность измерения асимметрии  $J/\psi$  - 7%
- Измерение соотношения сечений рождения  $\chi_1/\chi_2$  для определения механизма рождения чармония на пучках протонов и пионов.

### (Поляризованные пучки и поляризованная мишень)

Измерение двухспиновой асимметрии  $A_{LL}$  для изучения  $\Delta G/G(x)$ .

Измерение  $A_{NN}$  образования пар адронов для изучения поперечности  $h(x)$ . Одновременно исследование  $A_{NN}$  и  $A_N$  рождения  $J/\psi$ ,  $\chi_1/\chi_2$ .

Двухспиновые эффекты в различных реакциях

## Мотивация проведения исследований

**Измерение  $A_N$  с использованием интенсивного протонного пучка:**

сравнительные измерения с антипротонами (смотри предыдущий раздел) позволяют понять разницу спиновых эффектов в сильном взаимодействии между веществом и антивеществом.

Исследования можно проводить в области энергии пучка 10-45 ГэВ  
Будут проводиться исследования с различными ядерными мишенями.

**Измерение односпиновых эффектов с использованием поляризованного пучка антипротонов:**

сравнить результаты по односпиновой асимметрии рождения различных частиц при одинаковых условиях (энергия и кинематическая область реакции).

## Мотивация проведения исследований

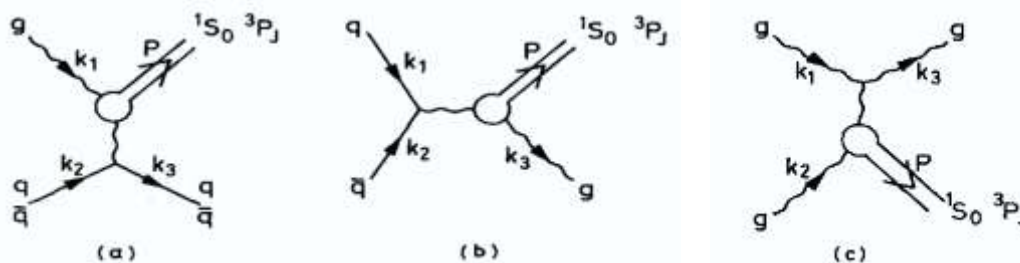
### Фундаментальные функции распределения для протона:

$f(x)$  распределения партонов по импульсам, усредненная по спинам

$g(x)$  распределения партонов по спиральностям в продольно-поляризованном протоне

$h(x)$  распределения партонов по спинам в поперечно-поляризованном протоне

Процесс образования кваркония:



**Высокая чувствительность кваркония к глюонному содержанию взаимодействующих частиц.**

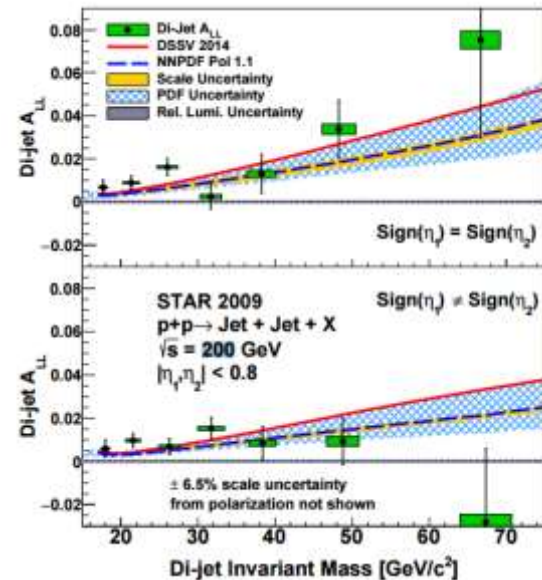
**Регистрация через дилептонные и радиационные моды распада.**

## Мотивация проведения исследований

Измерение разницы сечений (двухспиновый асимметрий  $A_{NN}$  и  $A_{LL}$ ) для частиц  $\phi$ ,  $f_2(1520)$ ,  $J/\psi$ ,  $\chi_{1c}$  и  $\chi_{2c}$  с использованием поляризованных пучка и мишени является тестом справедливости различных моделей, некоторые из которых предсказывают противоположный знак для  $A_{LL}$  для частиц с разным спином.

$$A_{LL} = \frac{1}{(P_B \cdot P_T^{eff})} \cdot \frac{(I(++) - I(+-))}{(I(++) + I(+-))}$$

**Большая величина  $A_{LL}$  будет указывать на значительный вклад глюонов  $\Delta G/G(x)$  в спин протона**



## Мотивация проведения исследований

**Измерение поперечных поляризаций  $P_N$  гиперонов и антигиперонов;**

статистическая точность для большинства реакций будет не хуже 0.5%, а для реакции  $K^-p \rightarrow \Sigma^- X$  она составит 8%.

**Измерение (впервые) параметров Волфенштейна (передачи спина) -  $D, R, A, R'$  и  $A'$**

**Измерение элементов матрицы плотности  $\rho_{ik}$  векторных мезонов:**

Ранее столь масштабных исследований спиновых эффектов ( $\rho_{ik}, A_N$  и  $\alpha$ ) для векторных мезонов не планировалось.

**Продолжение измерений односпиновой асимметрии, инклюзивных и эксклюзивных каналов.**

## Статистика с использованием протонного пучка (50 ГэВ, $6 \cdot 10^{10}$ )

№	particle	$N_{EV}$	B/S	№	particle	$N_{EV}$	B/S
1	$p^+$	$6.1 \cdot 10^9$		17	$\rho^+(770) \rightarrow p^+ n^0$	$3.0 \cdot 10^8$	2.5
2	$p^-$	$3.6 \cdot 10^9$		18	$\rho^-(770) \rightarrow p^- n^0$	$1.5 \cdot 10^8$	3.2
3	$K^+$	$5.5 \cdot 10^8$		19	$a_0(980) \rightarrow \eta n^0$	$5.7 \cdot 10^6$	0.8
4	$K^-$	$2.5 \cdot 10^8$		20	$\eta \rightarrow p^+ p^- n^0$	$7.8 \cdot 10^6$	0.25
5	$p$	$4.7 \cdot 10^9$		21	$\omega(782) \rightarrow p^+ p^- n^0$	$3.0 \cdot 10^7$	0.7
6	$p^*$	$2.3 \cdot 10^6$		22	$K^{*+}(892) \rightarrow K^+ n^0$	$3.4 \cdot 10^7$	3.5
7	$n$	$3.5 \cdot 10^9$		23	$\tilde{K}^{*-}(892) \rightarrow K^- n^0$	$9.7 \cdot 10^6$	1.4
8	$n^*$	$2.5 \cdot 10^6$		24	$\omega(782) \rightarrow \gamma n^0$	$7.8 \cdot 10^6$	0.4
9	$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	$2.5 \cdot 10^9$	0.11	25	$\Lambda \rightarrow p n^-$	$2.3 \cdot 10^7$	0.1
10	$\eta \rightarrow \gamma\gamma$	$1.3 \cdot 10^8$	0.4	26	$\Lambda \rightarrow n n^0$	$2.1 \cdot 10^7$	1.5
11	$\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$	$3.7 \cdot 10^6$	0.04	27	$\Delta^{++} \rightarrow p p^+$	$1.0 \cdot 10^9$	1.7
12	$\Xi^- \rightarrow \Lambda p^-$	$3.5 \cdot 10^7$	0.02	28	$\Xi^- \rightarrow \Lambda p^-$	$3.5 \cdot 10^7$	0.12
13	$K_S^0 \rightarrow p^+ p^-$	$6.7 \cdot 10^7$	1.1	29	$\Sigma^0 \rightarrow \Lambda \gamma$	$3.5 \cdot 10^7$	4.0
14	$\rho^0(770) \rightarrow p^+ p^-$	$3.6 \cdot 10^8$	2.7	30	$\Sigma^0(1385) \rightarrow \Lambda n^0$	$9.8 \cdot 10^7$	1.3
15	$K^{0*}(892) \rightarrow K^+ p^-$	$5.8 \cdot 10^7$	1.3	31	$\omega(782) \rightarrow e^+ e^-$	$2.0 \cdot 10^5$	0.25
16	$\tilde{K}^{0*}(892) \rightarrow K^- p^+$	$3.1 \cdot 10^7$	0.8	32	$\rho^0(770) \rightarrow \mu^+ \mu^-$	$1.0 \cdot 10^5$	0.25



# Физическая программа СПАСЧАРМ (II этап)

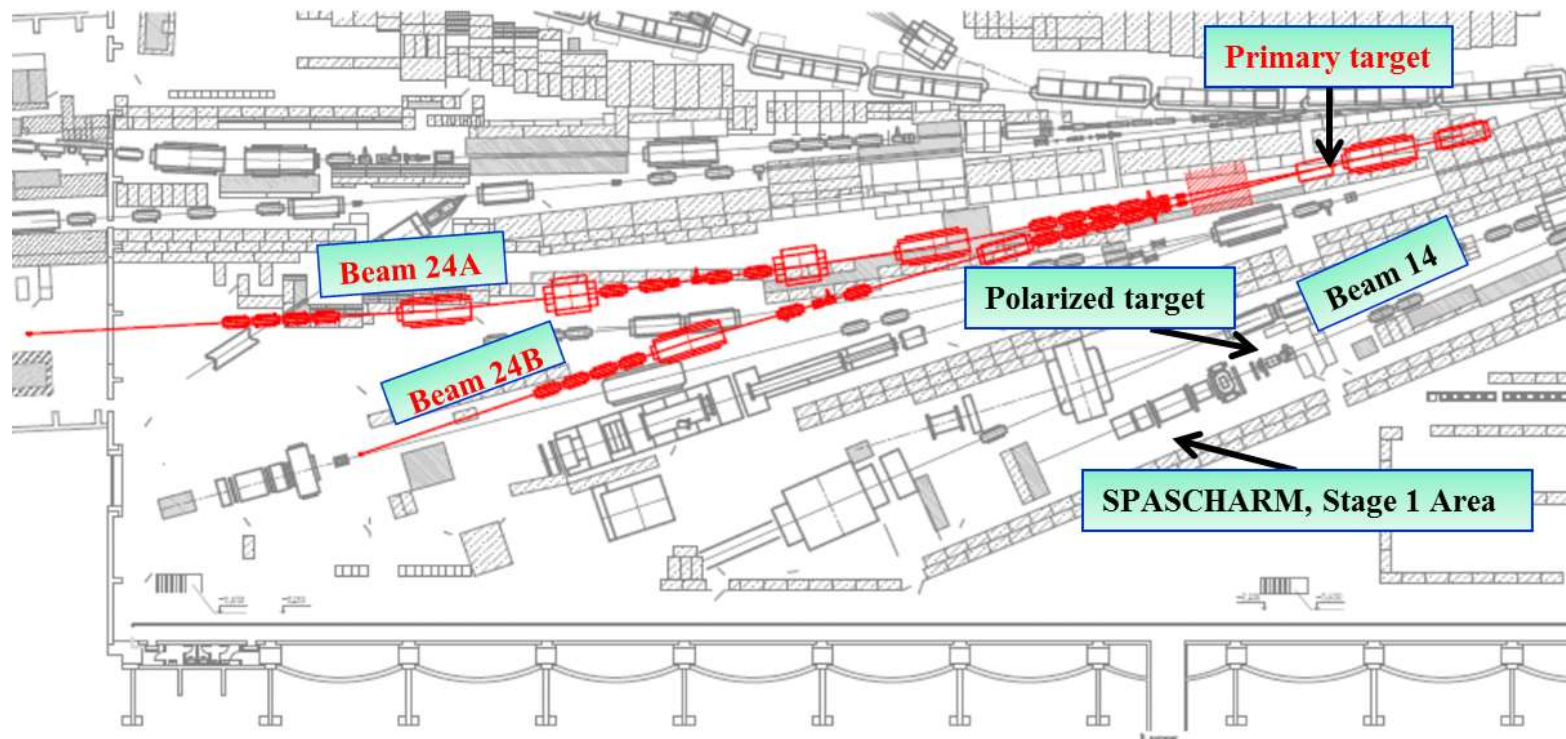
## Статистика с использованием К и р-вар пучка ( $6 \cdot 10^{10}$ )

№	particle	$N_{EV}$	B/S	№	particle	$N_{EV}$	B/S
1	$\pi^+$	$6.7 \cdot 10^8$		13	$\rho^-(770) \rightarrow \pi^- \pi^0$	$7.5 \cdot 10^7$	3.8
2	$\pi^-$	$8.9 \cdot 10^8$		14	$\eta' \rightarrow \gamma\gamma$	$7.3 \cdot 10^5$	6.0
3	$K^+$	$8.9 \cdot 10^7$		15	$\phi(1020) \rightarrow K^+ K^-$	$1.0 \cdot 10^7$	0.05
4	$K^-$	$4.0 \cdot 10^8$		16	$K^{0*}(892) \rightarrow K^+ \pi^-$	$1.3 \cdot 10^7$	1.2
5	p	$6.8 \cdot 10^7$		17	$\tilde{K}^{0*}(892) \rightarrow K^- \pi^+$	$6.6 \cdot 10^7$	0.8
6	$p^+$	$3.7 \cdot 10^7$		18	$K^{*-}(892) \rightarrow K^- \pi^0$	$3.4 \cdot 10^7$	2.2
7	n	$6.2 \cdot 10^7$		19	$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$	$2.5 \cdot 10^6$	0.02
8	$\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$	$4.2 \cdot 10^8$	0.13	20	$\Lambda \rightarrow p \pi^-$	$1.8 \cdot 10^6$	0.02
9	$\eta \rightarrow \gamma\gamma$	$2.5 \cdot 10^7$	0.8	21	$\tilde{\Lambda} \rightarrow p \pi^+$	$2.9 \cdot 10^5$	0.08
10	$K_S^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$2.2 \cdot 10^7$	0.25	22	$\Lambda \rightarrow n \pi^0$	$4.0 \cdot 10^5$	0.6
11	$\rho^0(770) \rightarrow \pi^+ \pi^-$	$6.8 \cdot 10^7$	2.7	23	$\Sigma^- \rightarrow n \pi^-$	$3.1 \cdot 10^6$	5.0
12	$K_S^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$	$4.2 \cdot 10^6$	1.1				

№	частица	$N_{EV}$	S/B	№	частица	$N_{EV}$	S/B
1	$\pi^+$	$2.1 \cdot 10^8$		7	n	$1.6 \cdot 10^7$	
2	$\pi^-$	$2.6 \cdot 10^8$		8	$\tilde{n}$	$1.4 \cdot 10^8$	
3	$K^+$	$1.7 \cdot 10^7$		9	$\tilde{\Lambda} \rightarrow \tilde{p} \pi^+$	$2.1 \cdot 10^6$	10
4	$K^-$	$2.2 \cdot 10^7$		10	$\tilde{\Lambda} \rightarrow \tilde{n} \pi^0$	$1.1 \cdot 10^6$	0.13
5	p	$1.6 \cdot 10^7$		11	$\tilde{\Delta}^- \rightarrow \tilde{p} \pi^-$	$4.2 \cdot 10^7$	0.14
6	$\tilde{p}$	$1.8 \cdot 10^8$		12	$\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$	$1.0 \cdot 10^5$	10

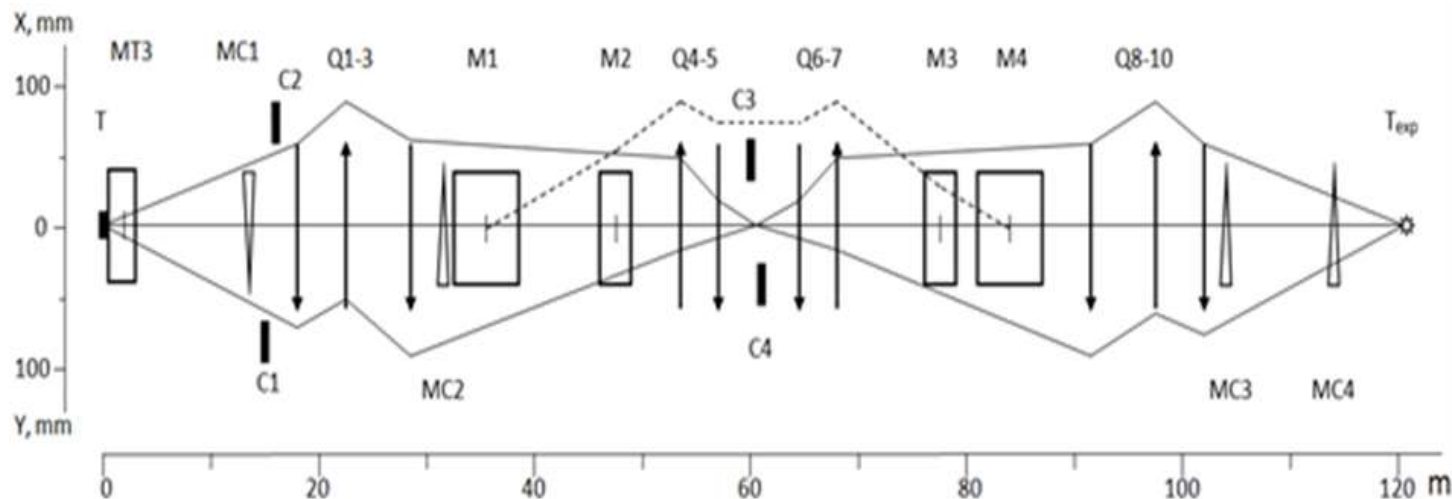
# Создание пучка, канал 24А (II этап)

## Концептуальный проект



## Создание пучка, канал 24А (II этап)

### Оптическая схема канала 24А



Базовая оптическая схема канала 24А, предназначенная для формирования пучков поляризованных протонов и антипротонов от распада  $\Lambda$ -гиперонов. Q – квадрупольные линзы, M – дипольные магниты, C – коллиматоры, MC – магниты-корректоры, T и T<sub>exp</sub> – мишени канала и экспериментальной установки. Сплошными линиями показана фокусировка пучка в обеих поперечных плоскостях, пунктиром – дисперсия в горизонтальной плоскости для  $\Delta p/p = 10\%$ .

### Создание пучков поляризованных протонов и антипротонов (проект готов)

- 1 Канал поляризованных протонов и антипротонов
  - 1.1 Мишенная станция каналов 24А и 24Б
  - 1.2 Оптическая схема канала поляризованных протонов (антипротонов)
  - 1.3 Параметры пучка протонов в промежуточном изображении
  - 1.4 Параметры пучка поляризованных протонов в конце канала
  - 1.5 Параметры пучка поляризованных антипротонов
  - 1.6 Влияние детекторов системы мечения и идентификации частиц на параметры формируемых пучков частиц
- 2 Система мечения поляризации пучка
  - 2.1 Схема размещения детекторов мечения
  - 2.2 Дизайн годоскопов системы мечения
- 3 Измерение поляризации пучков
  - 3.1 Поляриметрия на основе инклюзивных заряженных пионов
  - 3.2 Абсолютный поляриметр на основе упругого рассеяния
  - 3.3 Резюме по измерению поляризации пучка
- 4 Система магнитов «змейка» для поворота поляризации
  - 4.1 Требования к системе поворота спина
  - 4.2 Проект системы поворота спина для канала 24

## Создание пучка, канал 24А (II этап)

### Мишенная станция

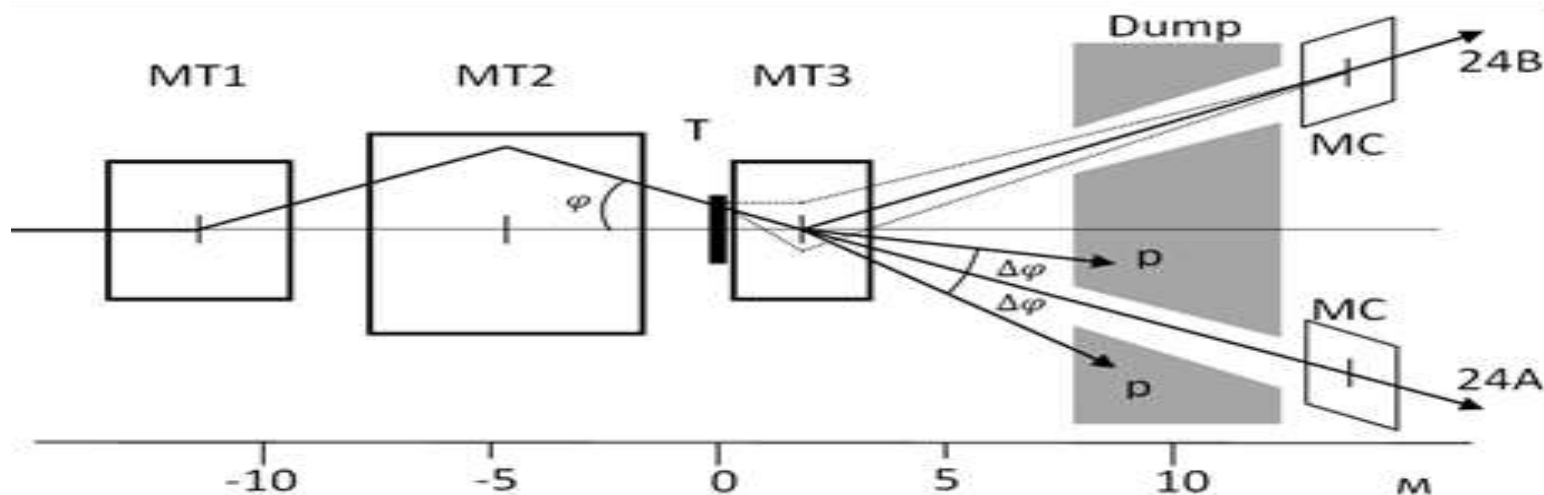
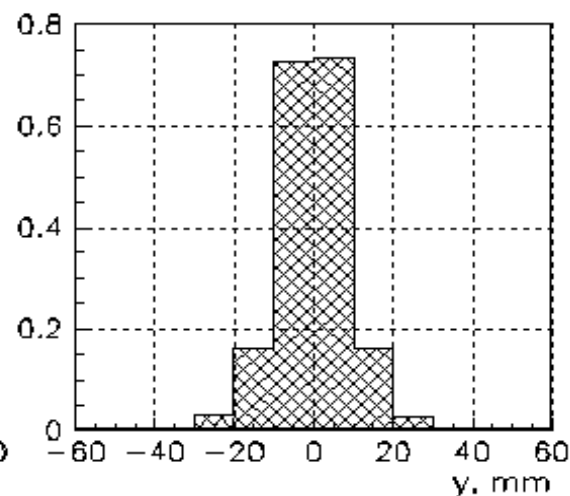
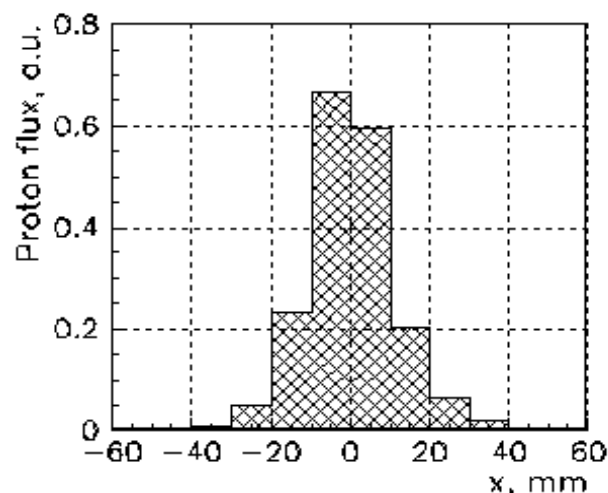


Схема мишенной станции каналов 24А и 24Б. Т – мишень, MT1÷MT3 – дипольные магниты, MC – магниты-корректоры, Dump - поглотитель. Приведенный на схеме мишенной станции вариант наведения протонного пучка на мишень соответствует отбору нейтральных вторичных частиц в канал 24А и положительно (отрицательно) заряженных частиц в канал 24Б. Пунктирными линиями показаны траектории вторичных заряженных частиц, отбираемых с канал 24В с ненулевыми углами рождения в мишени.

## Создание пучка, канал 24А (II этап)

### Параметры пучка поляризованных протонов

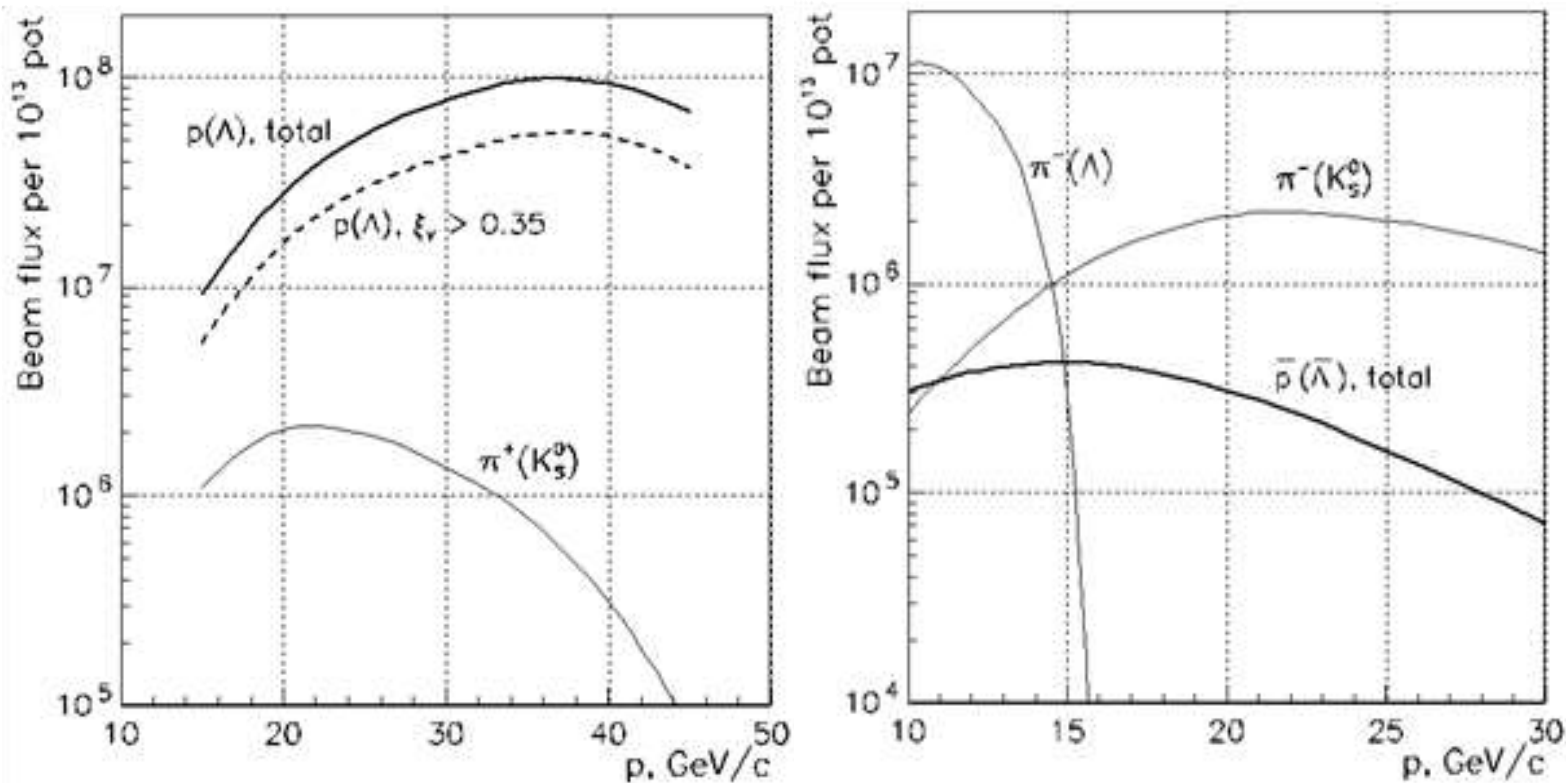
$p$ , ГэВ/с	15		30		45	
$\sigma_{\Delta p/p}$ , %	2.0	4.5	1.4	4.4	1.2	4.1
$\sigma_x \times \sigma_y$ , мм	$17 \times 14$	$19 \times 16$	$14 \times 10$	$17 \times 11$	$11 \times 8.7$	$16 \times 9.0$
$\sigma_{x'} \times \sigma_{y'}$ , мрад	$1.4 \times 1.5$	$1.3 \times 1.5$	$1.5 \times 1.8$	$1.3 \times 1.8$	$1.4 \times 1.7$	$1.4 \times 1.7$
$I_p$ per $10^{13}$ pot	$3.5 \times 10^6$	$9.2 \times 10^6$	$2.1 \times 10^7$	$7.8 \times 10^7$	$1.5 \times 10^7$	$6.8 \times 10^7$





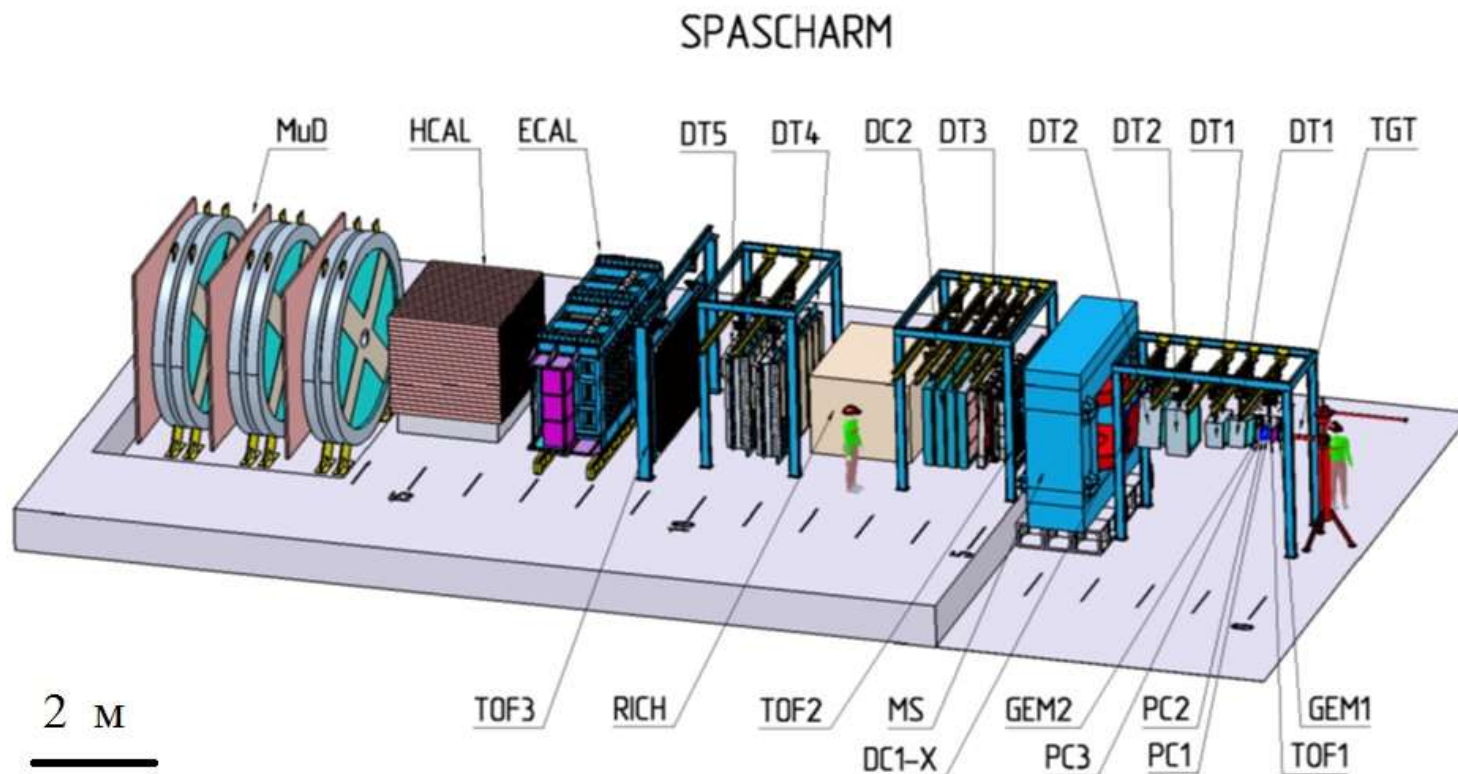
## Создание пучка, канал 24А (II этап)

### Зависимости интенсивности и фонов пучков $p$ и $p\text{-bar}$



**Использование мишени, помещенной внутри магнита МТЗ  
позволяет увеличить интенсивность антипротонного пучка  
в 3 раза**

## Экспериментальная установка (II этап)



Пучковая аппаратура, пол. мишень, магнитный спектрометр, ЭМ калориметр, адронный калориметр, система регистрации вторичных частиц, триггер, система сбора данных



### Перспективы работ по 24 каналу

**Проект канала и установки на канале 24 готовы, готовятся рабочие чертежи, большинство элементов есть в наличии. Проект магнита мишени готов, ведутся переговоры с возможными изготовителями**

#### **Перспективы Финансирования (~2 млрд. руб.):**

**Программа имеет перспективы на вхождение в проект Дорожной карты Россия-Германия на 10 лет, наряду с FAIR, XFEL, НИКА - ФЦП Росатома  
В рамках программы «мегасайенс» МОН**

### Расширение сотрудничества СПАСЧАРМ

**ОИЯИ – новые группы - интерпретация и анализ данных**

**МИФИ – новая группа по разработке электроники для GEM.**

**ИЯФ (Новосибирск) – сибирская змейка и Черенковский счетчик**

**ПИЯФ – трековые детекторы**

**Интерес высказали: группы экспериментов COMPASS**

**(Университет Триеста - Bradamante, Карлов Университет - Finger)**

**и PANDA (и другие немецкие группы, включая группу PWA-анализа – Майнц)**

### Преимущества СПАСЧАРМ

**Широкая физическая программа и систематические исследования явления поляризации**

**Разнообразие пучков: поляризованные пучки протонов и антипротонов, неполяризованные  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $p$ -bar,  $d$ ,  $C$ .**

**Исследование десятков реакций одновременно.**

**Поперечно и продольно поляризованные и ядерные мишени.**

**Множество изучаемых поляризационных величин:  $A_N$ ,  $P_N$ ,  $A_{NN}$ ,  $A_{LL}$ ,  $D_{NN}$ ,  $\rho_{ik}$ , ...**

**Полное покрытие азимутальных углов для снижения систематических ошибок, большой кинематический диапазон**

**Идентификация вторичных частиц, и заряженных, и нейтральных, например  $\gamma$ ,  $\pi^0$ ,  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$ ,  $p$ ,  $p$ -bar,  $d$ .**

**Использование спин-ротатора для получения поперечно- и продольно поляризованных пучков и уменьшения систематики.**

**Система сбора данных, быстро собирающая большой объем информации.**

### Выводы

- В ИФВЭ начался эксперимент по систематическому исследованию поляризационных явлений сильного взаимодействия в десятках реакций в широкой кинематической области.
- Создана «пилотная» версия установки на канале №14, включающая три ПК (ОФВЭ).
- На канале №14 синхротрона У-70 состоялся первый набор данных на установке СПАСЧАРМ. Измерения выполняются на  $\pi^-$  пучке с энергией 28 ГэВ с использованием поперечно поляризованной протонной мишени (вещество - пентанол).
- Необходимо произвести две ПК, составить рабочую инструкцию.

### Выводы

- **Важным элементом дальнейших исследований представляется создание пучка поляризованных протонов и антипротонов. В эксперименте СПАСЧАРМ, на канале 24А, будет изучаться взаимодействие поляризованных протонных и антипротонных пучков с протонной, либо с ядерными мишенями. Импульс поляризованного пучка может варьироваться в диапазоне 10-45ГэВ/с, а поперечная поляризация пучка составит 40-45%. Неполяризованные пучки могут иметь импульс от 10 до 60 ГэВ/с.**
- **Набор данных планируется с 23.11 по 09.12.**

**Спасибо за внимание!**

**Дополнительные слайды**

## Анализ данных

### Analyzing first experimental data

- Analysis of the hardware performance
- Development software and data reconstruction for reactions:  
 $\pi^- + p \uparrow \rightarrow \pi^- X$ ,  $\pi^- + p \uparrow \rightarrow \pi^+ X$ ,  $\pi^- + p \uparrow \rightarrow \pi^0 X$ ,  
 $\pi^- + p \uparrow \rightarrow \omega(\pi^- \pi^+ \pi^0) X$
- Systematic error estimation (also simulation)

### Simulation

- Reconstruction algorithm performance
- Investigation possibility to study asymmetry in  $K^0$  and  $\omega$  inclusive production

### Hardware

- Tracking system optimization, including new station
- DAQ (mainly TDC) optimization