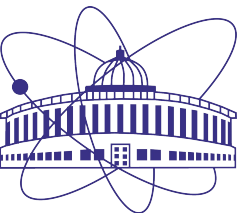


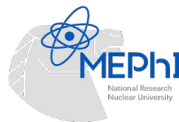
«Исследование глобальной поляризации и коллективных потоков лямбда гиперонов в эксперименте MPD при энергиях коллайдера NICA»

Аспирант группы A23-101: Трошин Валерий Владимирович

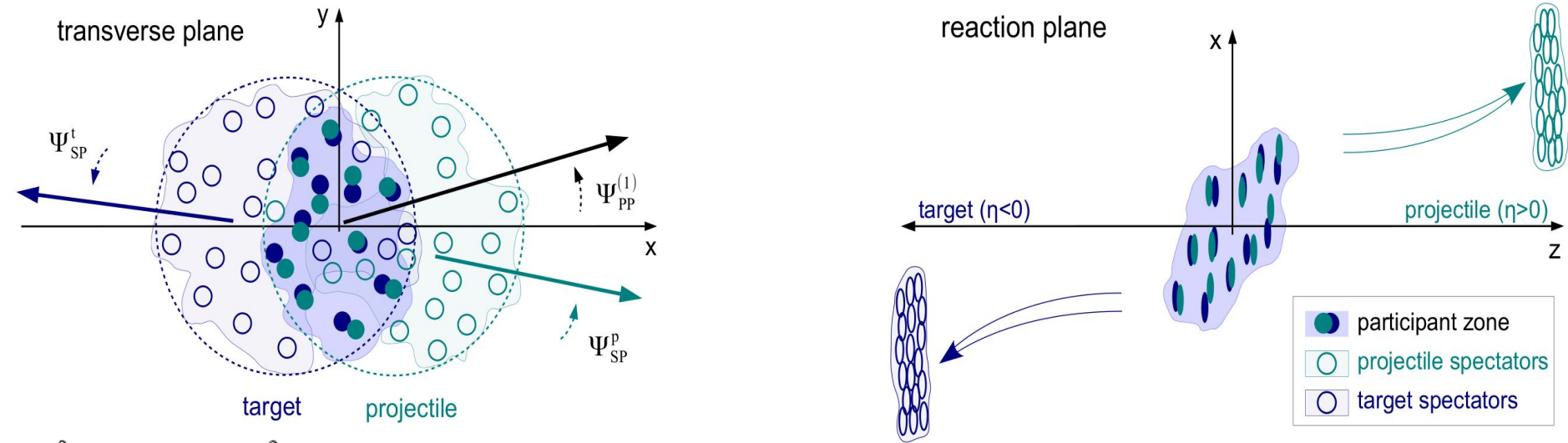
Научный руководитель: к.ф.-м.н., доцент, ведущий научный сотрудник кафедры №11 Тараненко Аркадий Владимирович



28.05.2026



Анизотропные коллективные потоки



$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_T dp_T dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos(n(\phi - \Psi_{RP})) \right)$$

$$v_n = \langle \cos(n(\phi - \Psi_{RP})) \rangle$$

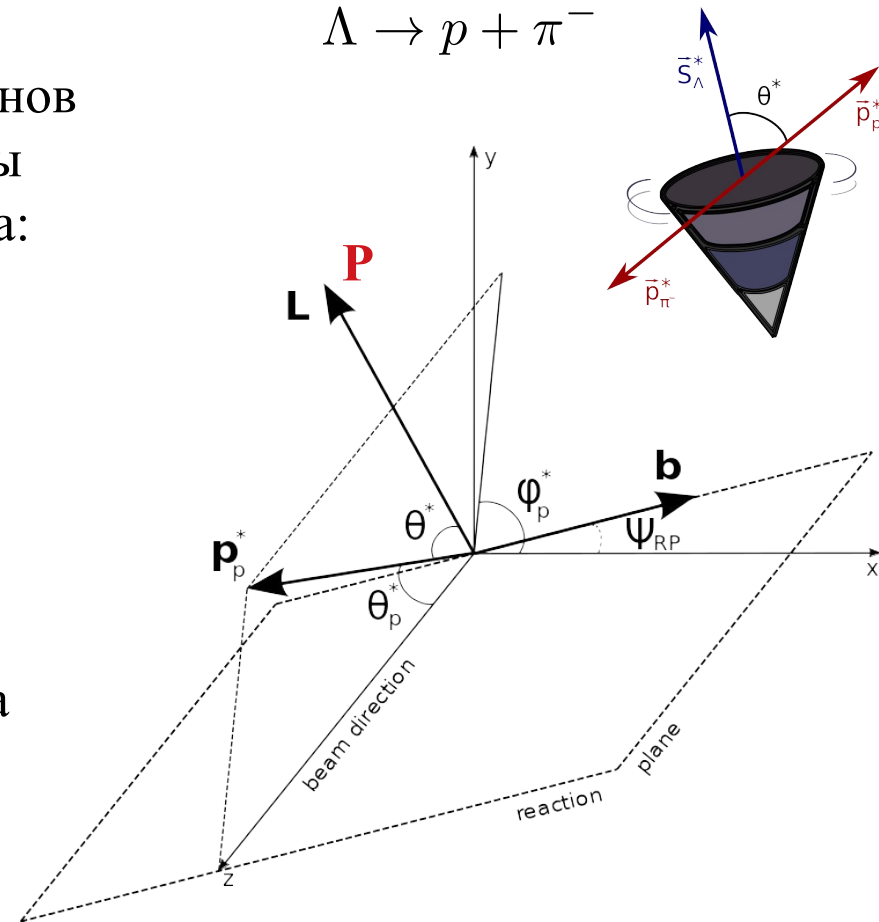
Пространственная асимметрия распределения энергии в начальном состоянии преобразуется, благодаря сильному взаимодействию, в анизотропию импульса рожденных частиц.

Глобальная поляризация гиперонов

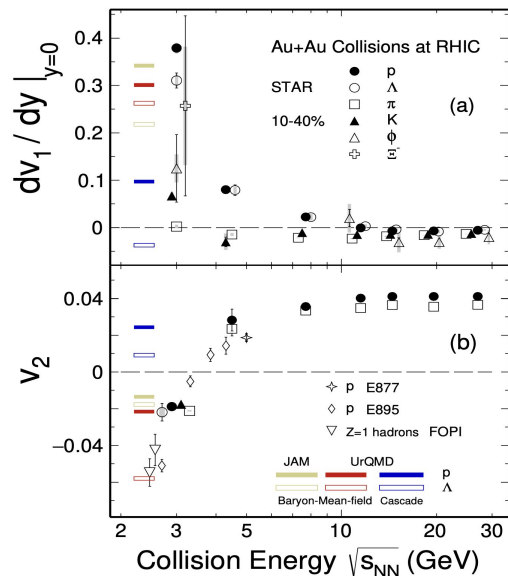
- Относительно плоскости реакции (RP)
- Образуется в столкновениях тяжелых ионов в посредством углового момента системы
- Измеряется посредством слабого распада:

$$\frac{dN}{d \cos \theta^*} = \frac{1}{2} (1 + \alpha_H |\vec{P}_H| \cos \theta^*)$$

- * — обозначает систему покоя гиперона
- θ^* — угол между дочерним барионом (протоном) и направлением поляризации
- $\alpha_\Lambda \simeq -\alpha_{\bar{\Lambda}} \simeq 0.732$ - константа распада гиперона



Коллективные потоки при энергиях Nuclotron-NICA

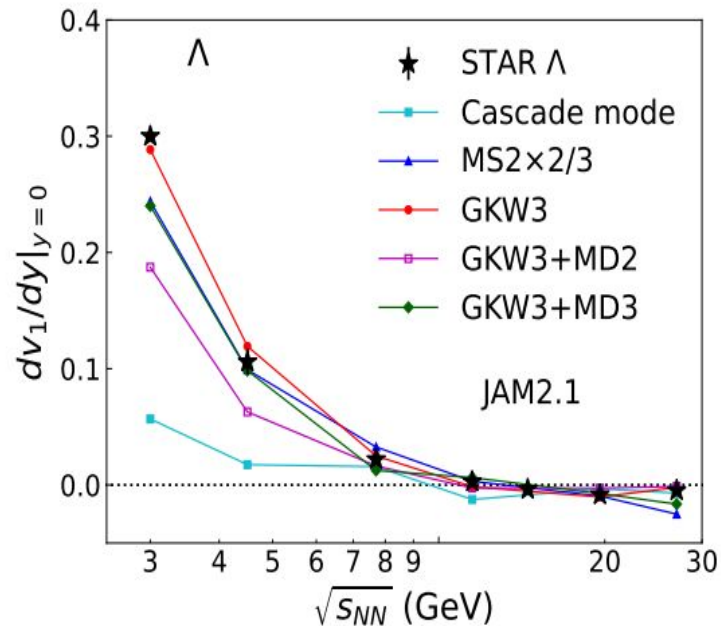


M. Abdallah et al. [STAR Collaboration] 2108.00908 [nucl-ex]

Сильная энергетическая зависимость dv_1/dy и v_2 при $\sqrt{s_{NN}} = 4-11$ GeV.

Коллективные потоки при энергиях NICA представляют собой тонкий баланс между:

- Способностью развития давления на ранних стадиях в зоне реакции.
- Долгим временем пролета спектаторов



Yasushi Nara et al. *Phys.Rev.C* 106 (2022) 4, 044902

- Λ -потенциал важен для объяснения существования
- нейтронных звезд массой в две солнечных массы
- Ограничено v_1
- Наилучшее соответствие модели включает взаимодействие с гиперонами

Глобальная поляризация при энергиях Nuclotron-NICA

Прогнозируемый и наблюдаемый сигнал глобальной поляризации увеличивается по мере уменьшения энергии столкновения.

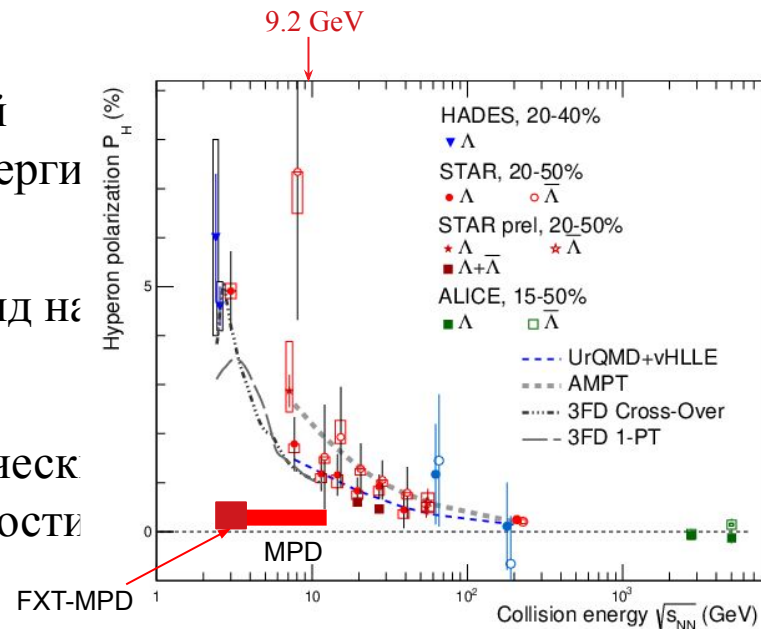
Диапазон энергий NICA предоставит новый взгляд на

$\Lambda(\bar{\Lambda})$ - расщепление глобальной поляризации

- Сравнение моделей, детальное изучение энергетических и кинематических зависимостей, повышение точности измерений
- Исследование вихревой структуры с использованием различных наблюдаемых параметров.

J. Adam et al. (STAR Collaboration), Phys. Rev. C 98, 014910 (2018)

O. Teryaev and R. Usubov, Phys. Rev. C 92, 014906 (2015)



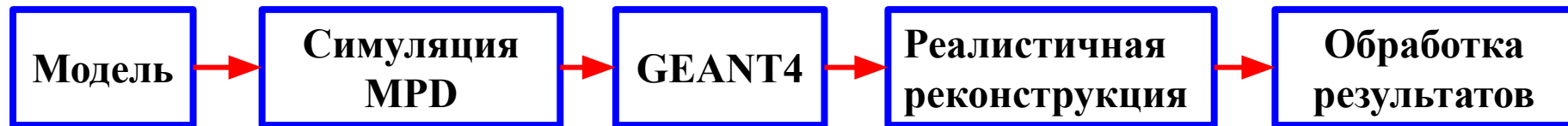
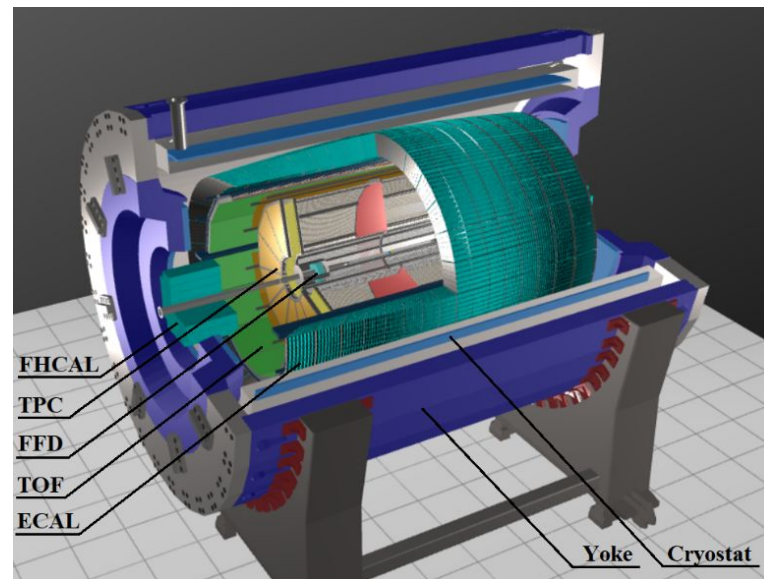
S. Singha, EPJ Web Conf. 276 (2023) 06012

Эксперимент MPD на коллайдере NICA

Основные подсистемы на Этапе I.

- **TPC** ($|\eta| < 1.6$): реконструкция заряженных частиц с определением импульса и идентификация по dE/dx
- **TOF** ($|\eta| < 1.4$): идентификация заряженных частиц
- **ECAL** ($|\eta| < 1.4$): энергия и идентификация для γ/e^\pm
- **FHCAL** ($2 < |\eta| < 5$) и **FFD** ($2.9 < |\eta| < 3.3$): триггерная система + определение геометрии столкновения

Возможность работы в режиме с фиксированной мишенью (MPD-FXT)

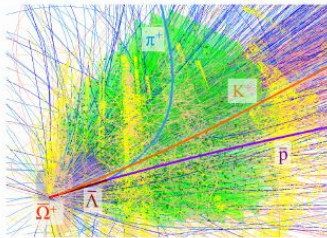


Реконструкция Λ -гиперонов

1. Отбор треков
2. Сбор Λ кандидатов из $p \pi^-$ пар
3. Отбор по параметрам селекции
4. Фитирование m_{inv} распределений

KFParticle formalism

Particles in heavy-ion collision:

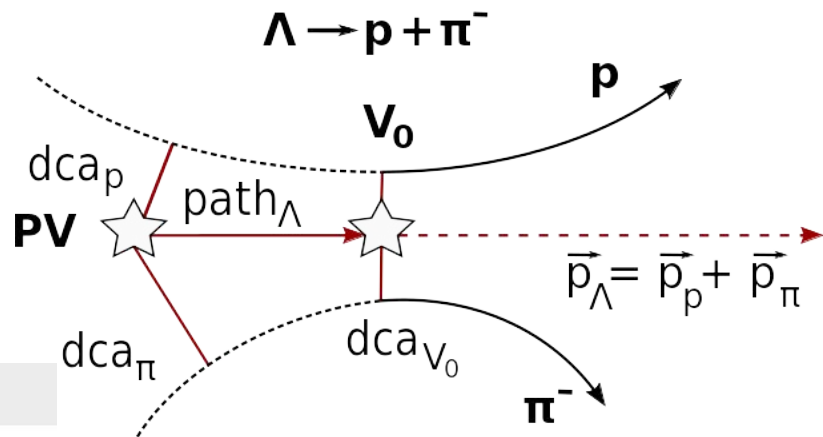


KFParticle:

- developed for complete reconstruction of short-lived particles with their $P, E, m, c\tau, L, Y$

Main benefits:

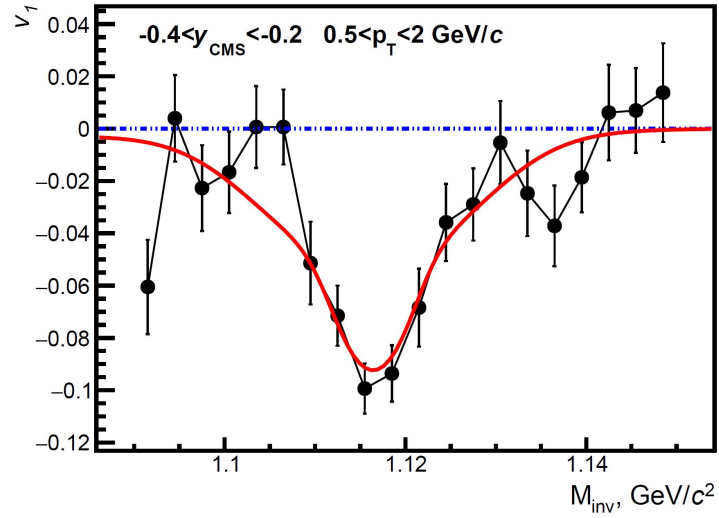
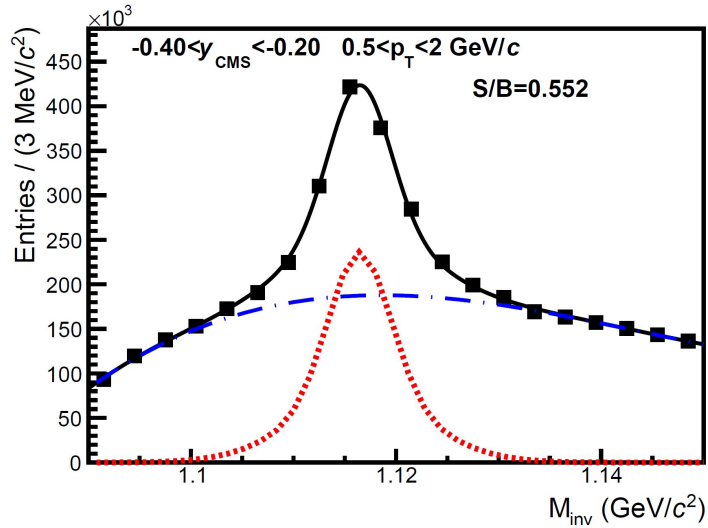
- based on the Kalman filter mathematics
- independent in sense of experimental setup (collider, fixed target)
- allows one reconstruction of decay chains (cascades)
- daughter and mother particles are described and considered the same way
- daughter particles are added to the mother particle independently



- PV — первичная вершина
- V_0 — вершина распада гиперона
- dca — кратчайшее расстояние
- path — путь между первичной и распадной вершинами

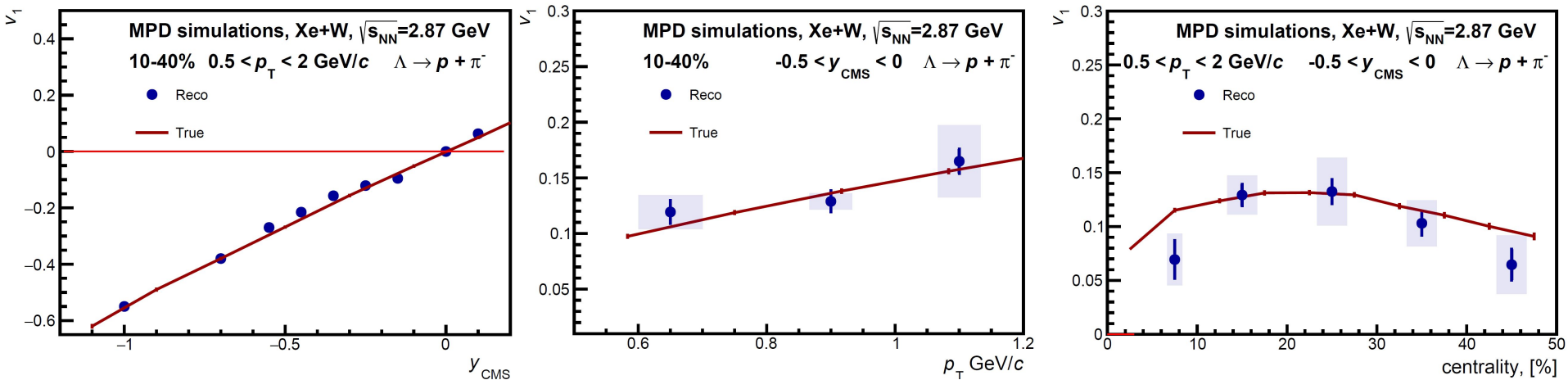
Метод фитирования инвариантной массы

$$v_n^{SB}(m_{inv}, p_T) = v_n^S(p_T) \frac{N^S(m_{inv}, p_T)}{N^{SB}(m_{inv}, p_T)} + v_n^B(m_{inv}, p_T) \frac{N^B(m_{inv}, p_T)}{N^{SB}(m_{inv}, p_T)}$$



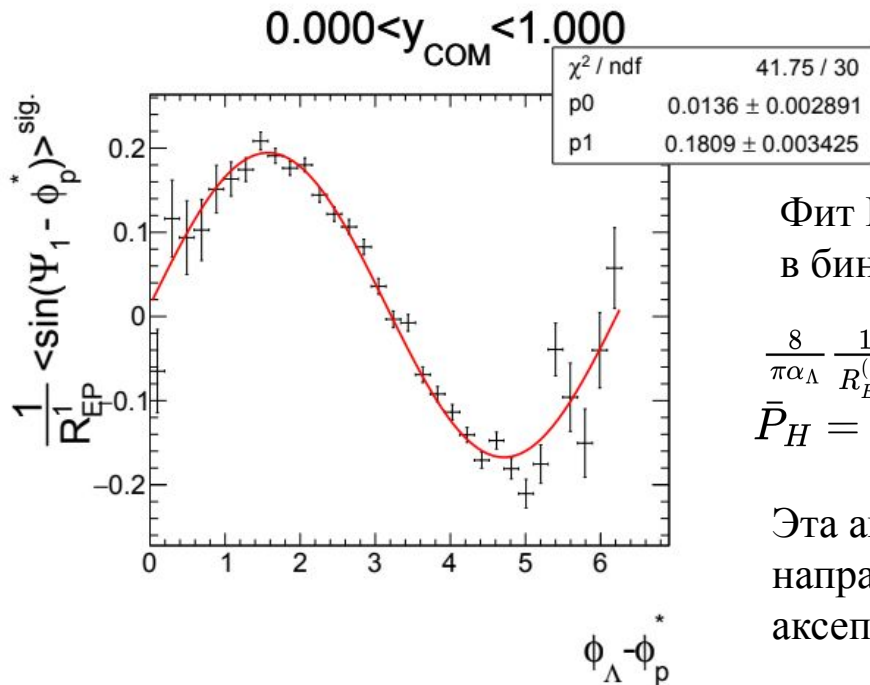
Извлечение соотношения сигнала к фону(слева), затем использование для получения величины сигнала исследуемой наблюдаемой v_n^P (справа)

Направленный поток $v_1(y_{\text{CMS}}, p_{\text{T}}, \text{centrality})$ Λ гиперонов в Xe+W при $E_{\text{kin}} = 2.5 \text{ АГэВ}$



Реконструированный сигнал демонстрирует согласие с заложенным в модели для измерений коллективных потоков Λ гиперонов

Обобщенный метод фитирования инвариантной массы



Фит $P^S = \langle \sin(\Psi_{RP^*} - \phi_p^*) \rangle^S$

в бинах по $\phi_{\Lambda} - \phi_p^*$ для $\eta > 0$, $\eta < 0$ используя функцию:

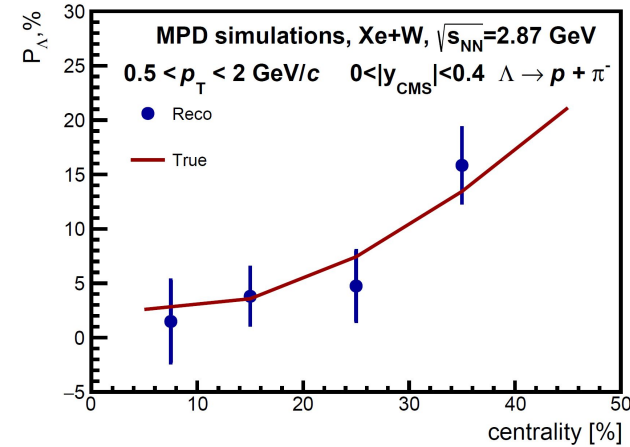
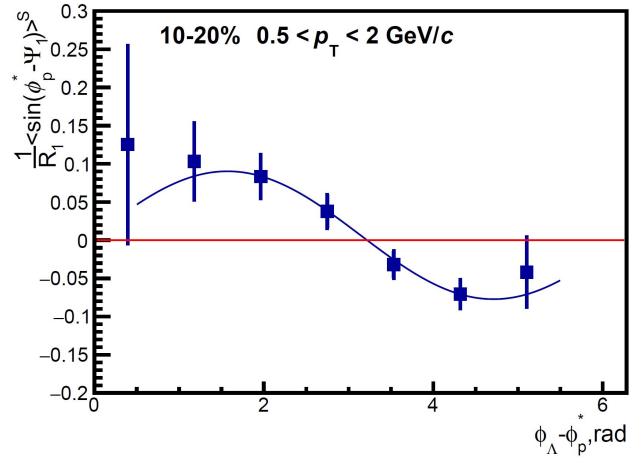
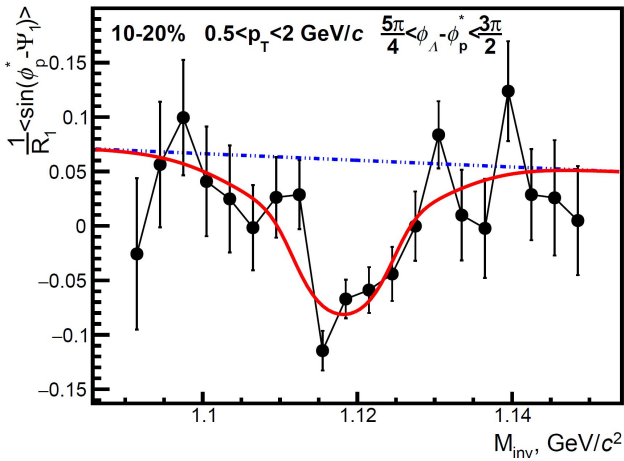
$$\frac{8}{\pi \alpha_{\Lambda}} \frac{1}{R_{EP}^{(1)}} \langle \sin(\Psi_1 - \phi_p^*) \rangle^{sig} = \bar{P}_{\Lambda}^{true} + c v_1 \sin(\phi_{\Lambda} - \phi_p^*)$$

$$\bar{P}_H = \frac{1}{2} [\bar{P}_H(\eta > 0) + \bar{P}_H(\eta < 0)]$$

Эта аппроксимация корректирует влияние направленного потока и вклада неоднородного акцептанса установки на P_H .

M.S. Abdallah et al. (STAR Collaboration), Phys. Rev. C 104, L061901 (2021)

Глобальная поляризация $P(\text{centrality})$ Λ гиперонов



Согласие реконструированного сигнала с заложенной в модели зависимостью. Детальный анализ требователен к статистике в связи с особенностями обобщенного метода инвариантной массы

v_1 протонов в Xe+Cs(I) при $E_{\text{kin}} = 3.8 \text{ AГэВ}$ в BM@N

Analysis Note

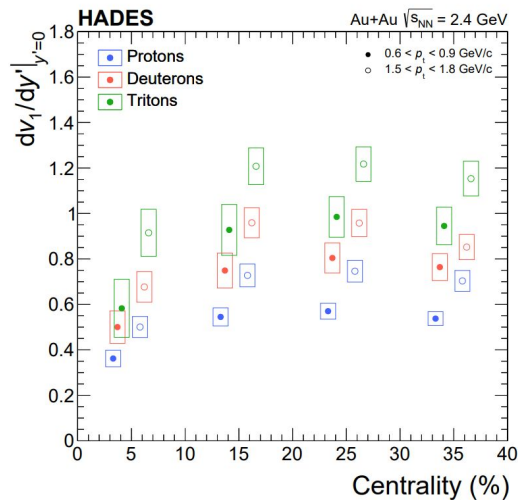
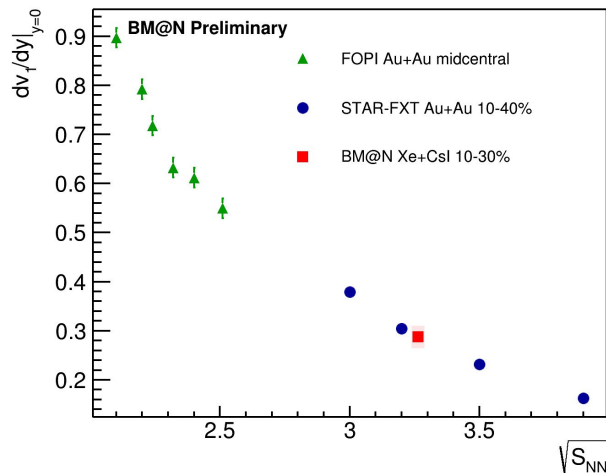
Directed flow v_1 of protons in the Xe+Cs(I) collisions at 3.8 AGeV (BM@N run8)

Mikhail Mamamev¹, Arkadiy Taranenko², Alexander Demanov, Petr Parfenov, Valery Troshin.

National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia



HADES Collaboration, J. Adamczewski-Musch et al.
Eur.Phys.J.A 59 (2023) 80, 2023.

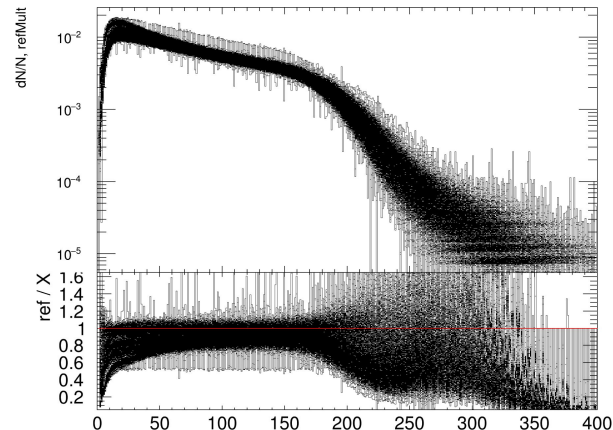
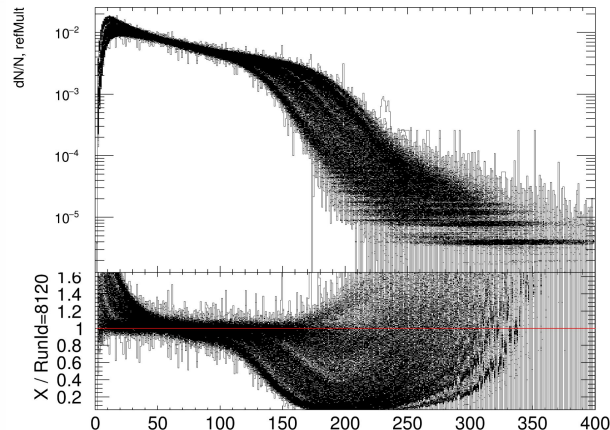
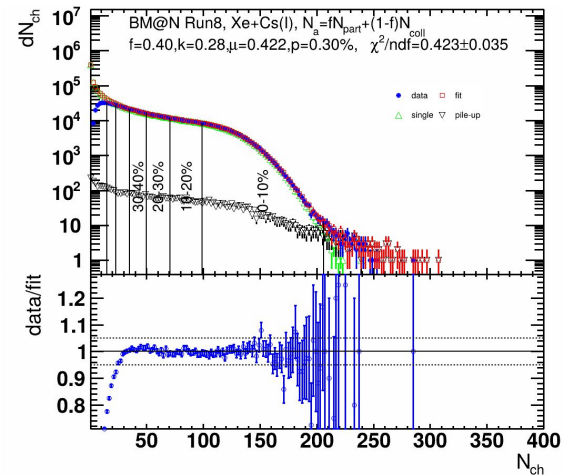
Directed flow v_1 is sensitive to the centrality determination in the most central collisions

Систематика определения центральности

MC-Glauber

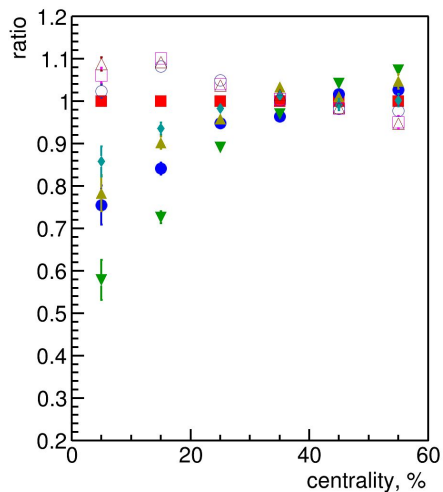
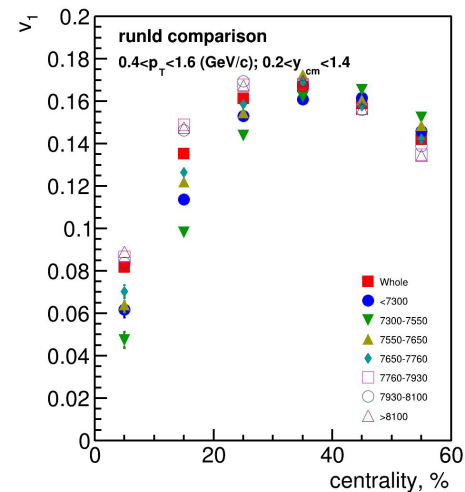
Def

After shift



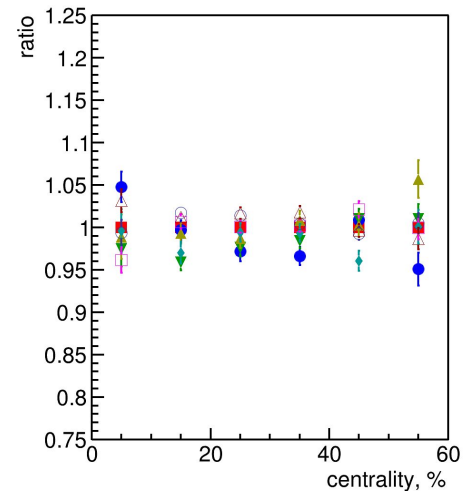
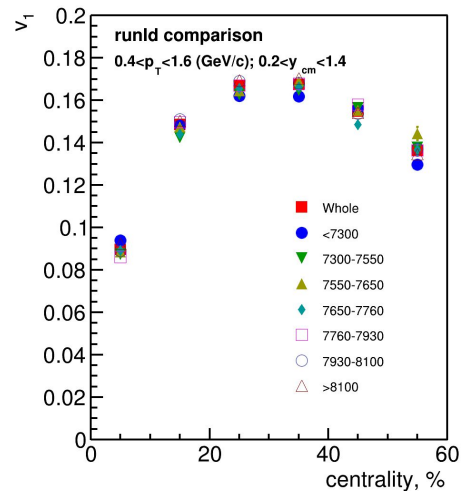
Реконструированная множественность заряженных частиц имеет сильную зависимость от времени измерения, что влияет на определение центральности

$v_1(\text{centrality})$ протонов в Xe+Cs(I) при $E_{\text{kin}}=3.8\text{AГэВ}$ в BM@N

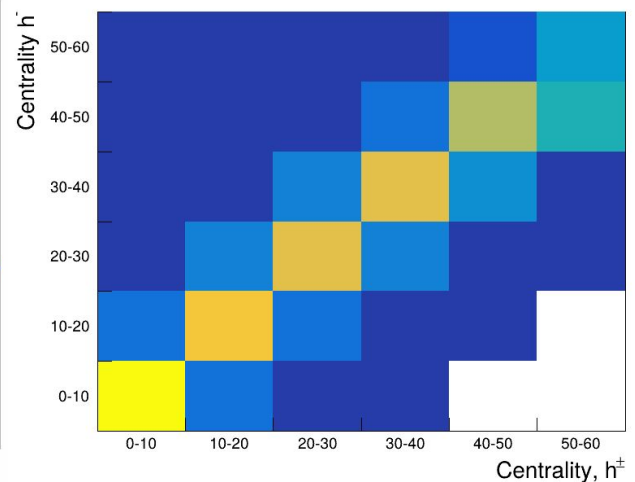
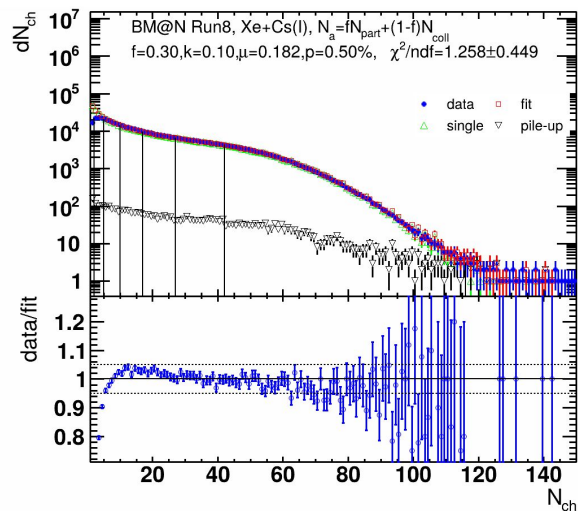
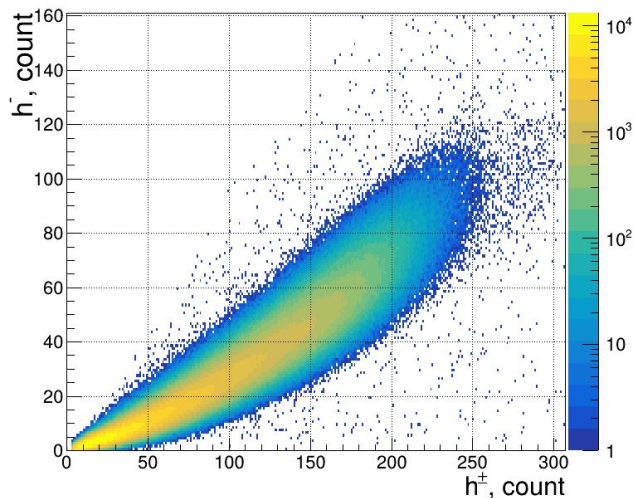


After shift procedure the systematic uncertainties are within 5%

Huge RunId deviation in 0-30% centrality

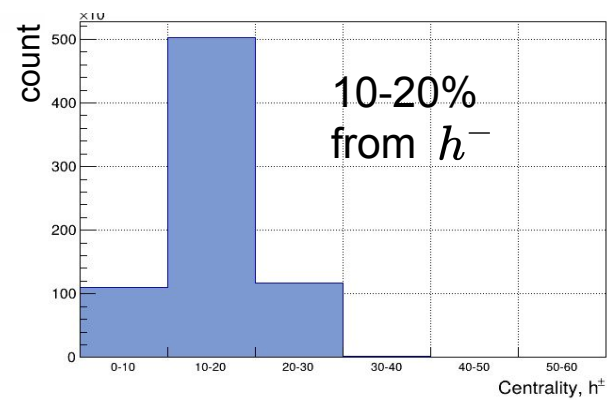


Определение центральности по отрицательно заряженным частицам в MC-Glauber

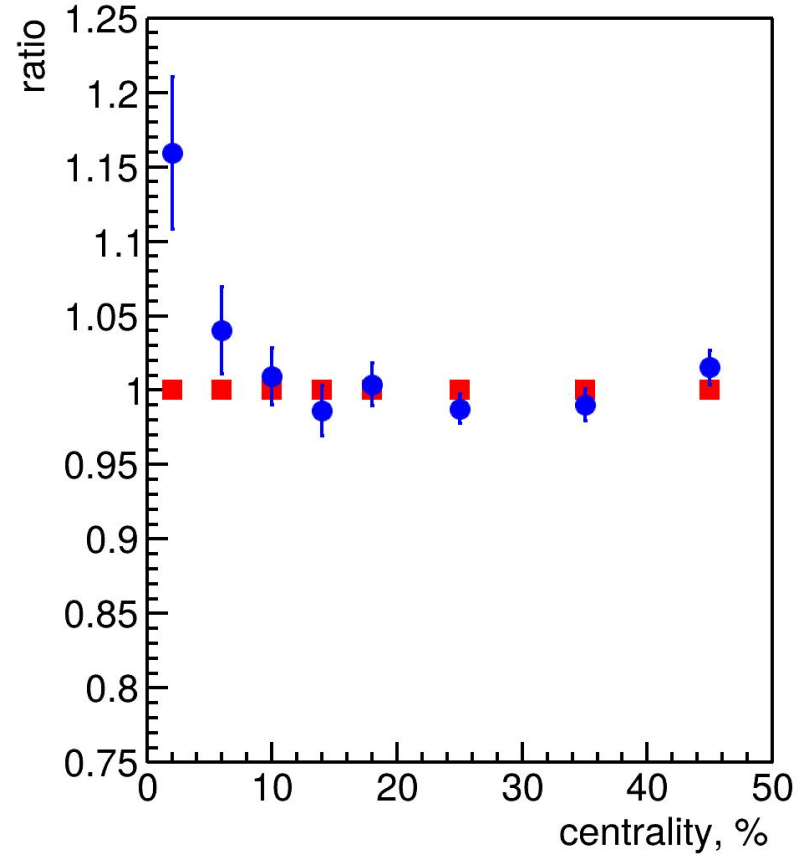
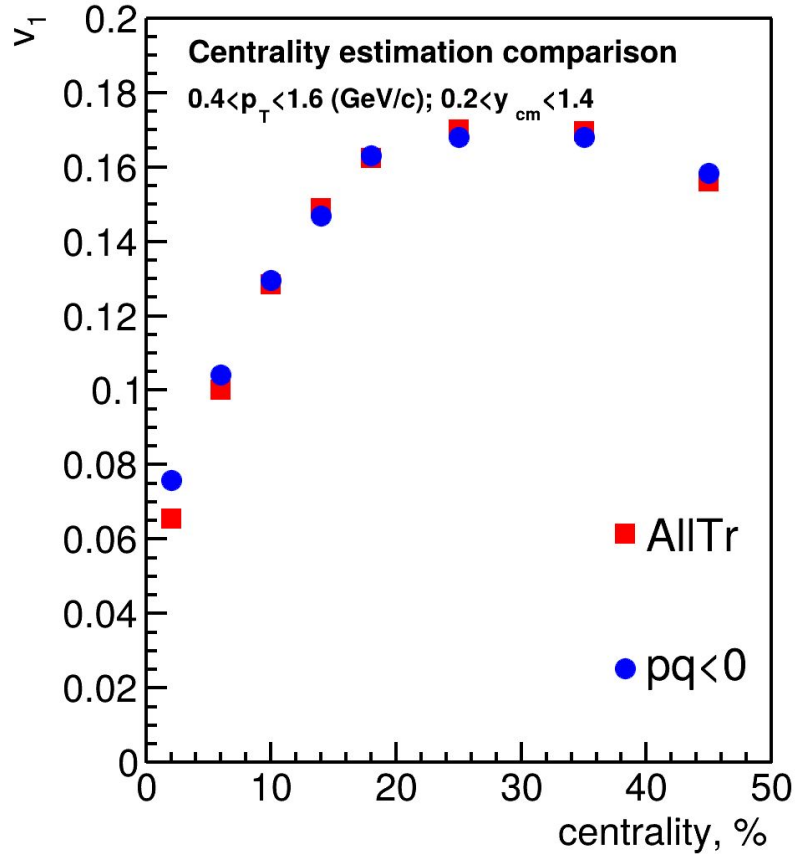


Testing the centrality determination method on negatively charged hadrons ($p \setminus q < 0$):

- Mixing of centrality bins is observed
- Procedure is work in progress



v_1 (centrality): All tracks vs negative tracks for MC-Glauber



Good agreement within 3%(except for 0-10% centrality)

Заключение

MPD

- Представлено исследование возможности измерения направленного потока и глобальной поляризации Λ гиперонов для $\text{Xe}+\text{W}$ при энергии $E_{\text{kin}} = 2.5 \text{ АГэВ}$ с использованием модели UrQMD на установке MPD-FXT.
- Полученные результаты войдут в коллаборационную статью MPD

BM@N

- Ведется работа по оценке систематики определения центральности на измерение направленного потока протонов
- Начата задача по заключительной калибровке время-пролетных детекторов TOF