

Первые результаты по измерению v_1 дейтронов в столкновениях $\text{Xe}+\text{Cs}(I)$ при энергии 3.8A ГэВ на эксперименте BM@N

И. Жаворонкова^{1,2}, М. Мамаев^{1,2,3}, А. Тараненко^{1,2}

для коллаборации BM@N

¹ОИЯИ, ²НИЯУ МИФИ, ³ИЯИ РАН

Работа поддержана Министерством науки и высшего образования РФ, проект "Фундаментальные и прикладные исследования на экспериментальном комплексе класса мегасайенс NICA (ОИЯИ)" № FSWU-2025-0014

Сессия-конференция секции ядерной физик ОФН РАН, посвященная 70-летию В.А. Рубакова
Москва, Президиум РАН, 17-21 февраля 2025

Анизотропные коллективные потоки частиц

Пространственная асимметрия начального состояния материи переходит в импульсную анизотропию рожденных частиц. Разложение в ряд Фурье импульсного распределения по азимутальному углу:

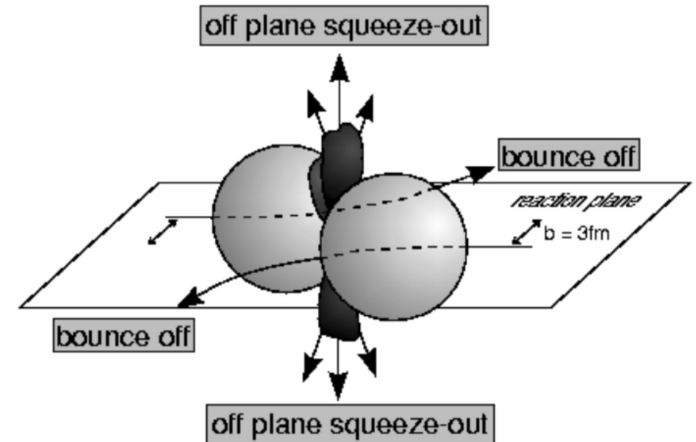
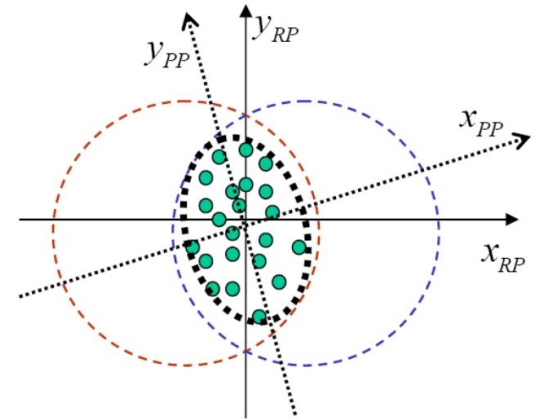
$$E \frac{d^3 N}{d^3 p} = \frac{1}{2\pi} \frac{d^2 N}{p_t dp_t dy} \left(1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2v_n \cos(n(\phi - \Psi_r)) \right)$$

$$v_n = \langle \cos(n(\phi - \Psi_r)) \rangle$$

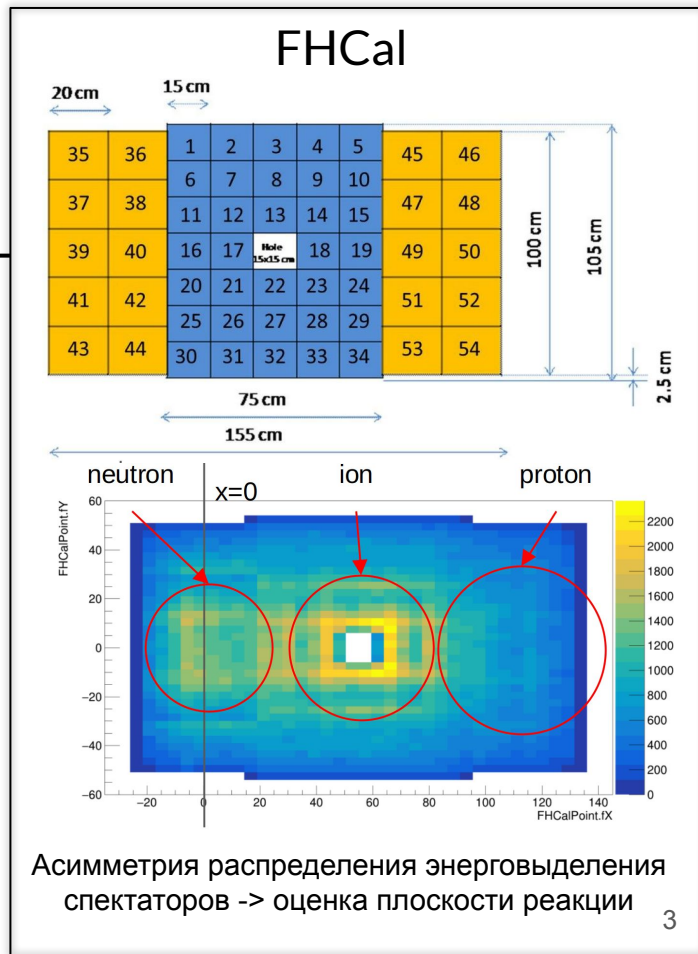
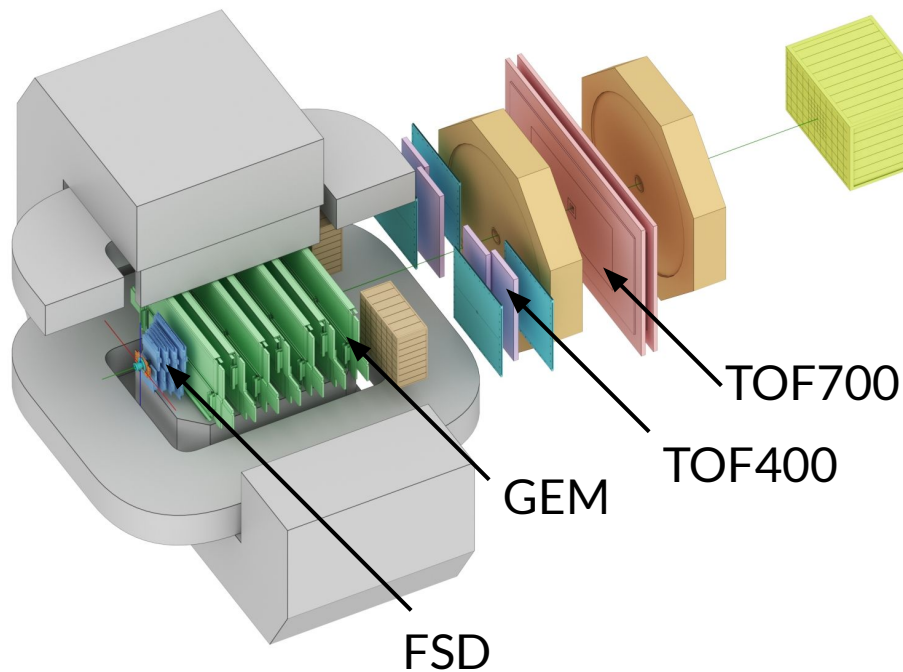
Коэффициенты v_n характеризуют анизотропный поток частиц в плоскости, перпендикулярной направлению пучка

Анизотропные потоки чувствительны к:

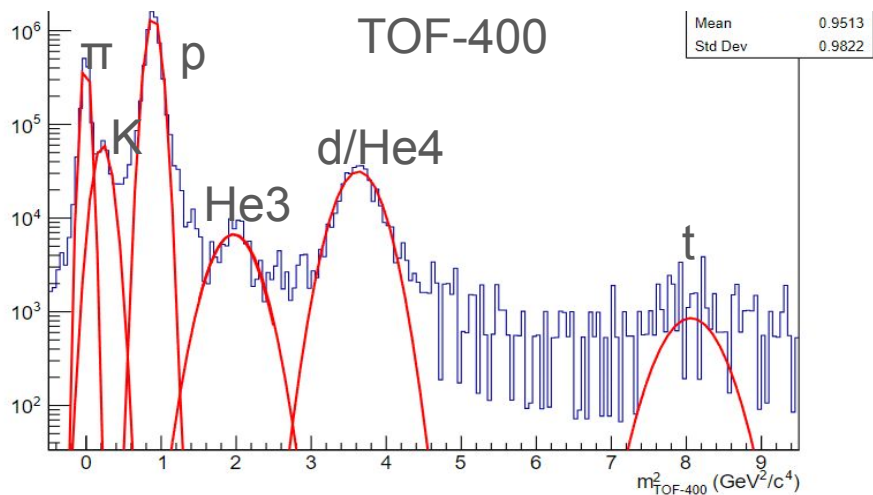
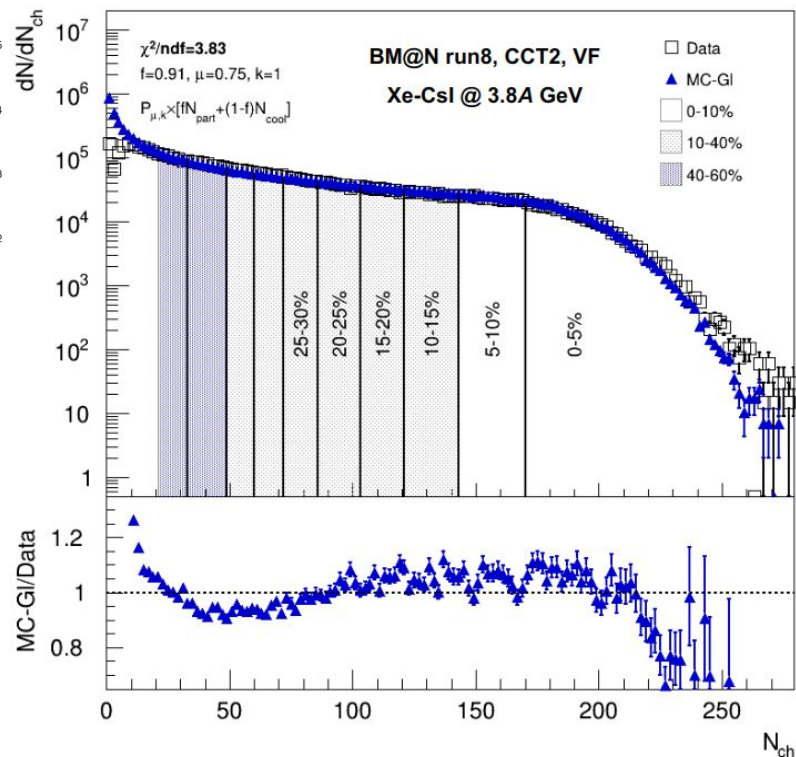
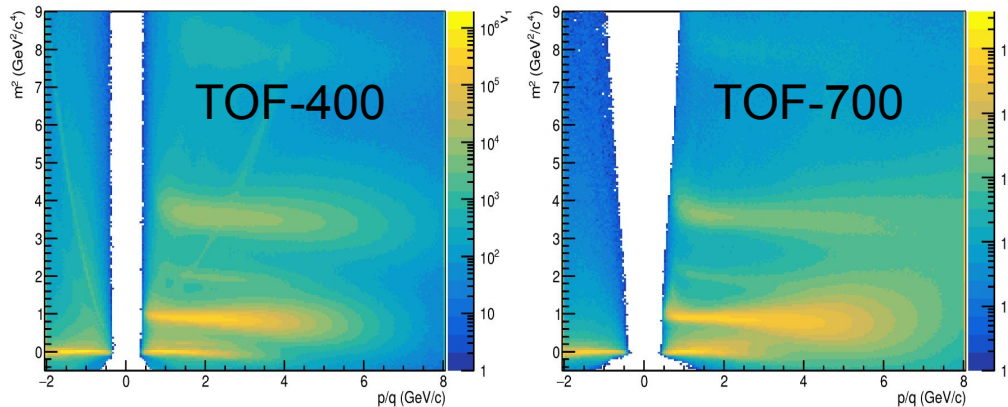
- Времени взаимодействия между областью перекрытия и нуклонами-спектаторами
- Несжимаемости образовавшейся материи



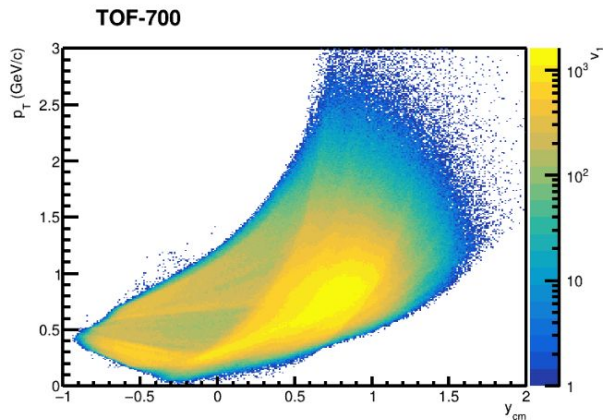
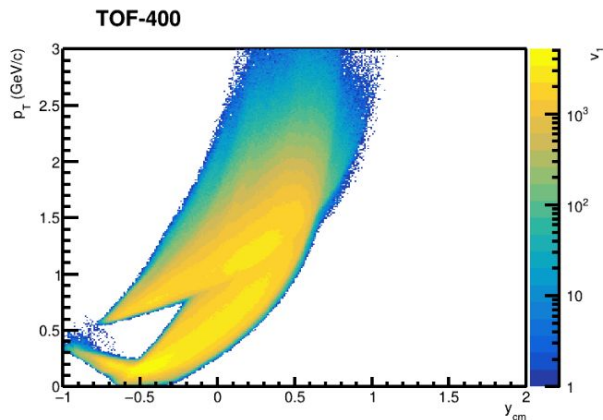
Эксперимент BM@N: Xe+CsI 3.8A GeV



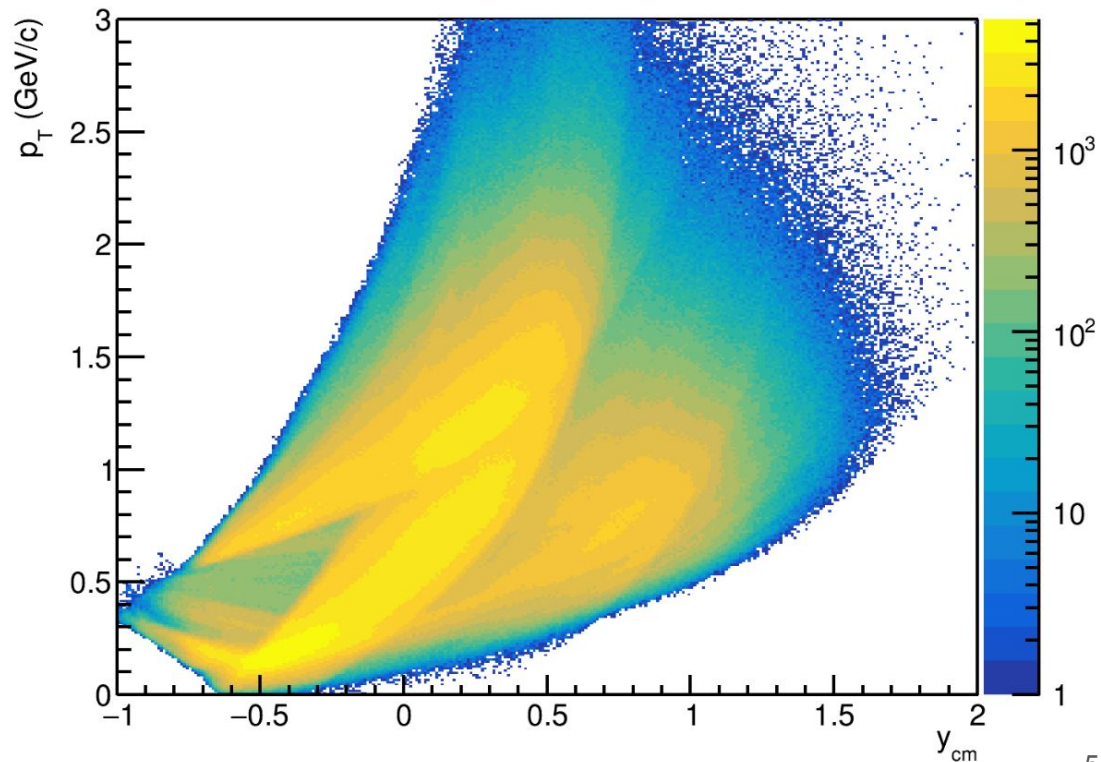
Идентификация частиц. Центральность



p_T - y аксептанс дейтронов



Combined



Векторы потоков

Единичный вектор $u_{n,k}$, определяемый для каждой частицы k в плоскости, перпендикулярной направлению пучка:

$$u_{n,k} = e^{in\phi_k}$$

Суммирование $u_{n,k}$ по всем M частицам в событии дает **вектор плоскости события** Q_n :

$$Q_n = \frac{\sum_{k=1}^M w_k u_{n,k}}{\sum_{k=1}^M w_k} = |Q_n| e^{in\Psi_n^E}$$

Угол плоскости события Ψ_n^E есть оценка Ψ_{RP} .

Разрешение плоскости события

Метод скалярного произведения:

$$v_1 = \frac{\langle u_1 Q_1^{F1} \rangle}{R_1^{F1}}$$

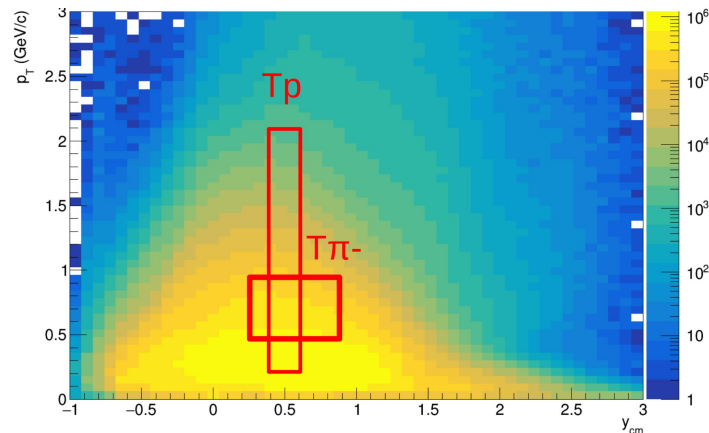
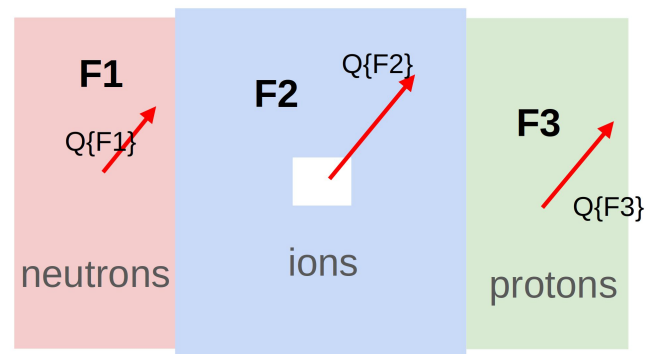
Коэффициент, корректирующий на разрешение плоскости события:

$$R_1^{F1} = \langle \cos(\Psi_1^{F1} - \Psi_1^{RP}) \rangle$$

рассчитывается методом трех подсобытий - комбинацией попарных корреляций Q_1 векторов:

$$R_1^{F2(F1,F3)} = \frac{\sqrt{\langle Q_1^{F2} Q_1^{F1} \rangle \langle Q_1^{F2} Q_1^{F3} \rangle}}{\sqrt{\langle Q_1^{F1} Q_1^{F3} \rangle}}$$

$$R_1^{F2\{Tp\}(F1,F3)} = \langle Q_1^{F2} Q_1^{Tp} \rangle \frac{\sqrt{\langle Q_1^{F1} Q_1^{F3} \rangle}}{\sqrt{\langle Q_1^{Tp} Q_1^{F1} \rangle \langle Q_1^{Tp} Q_1^{F3} \rangle}}$$



T-: траектории

отрицательно заряженных частиц:

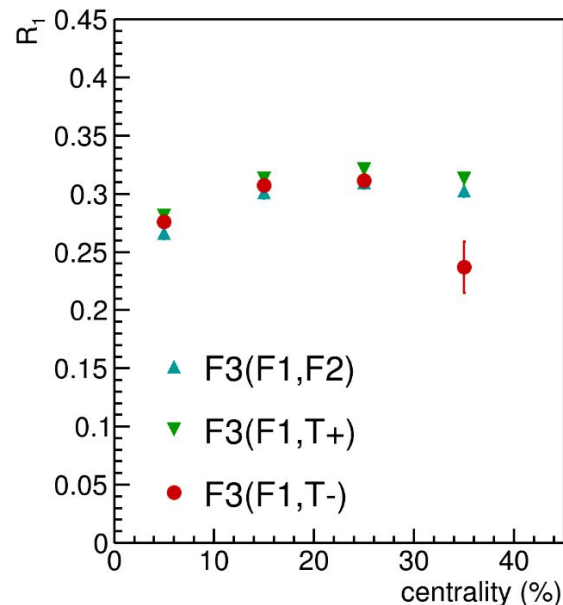
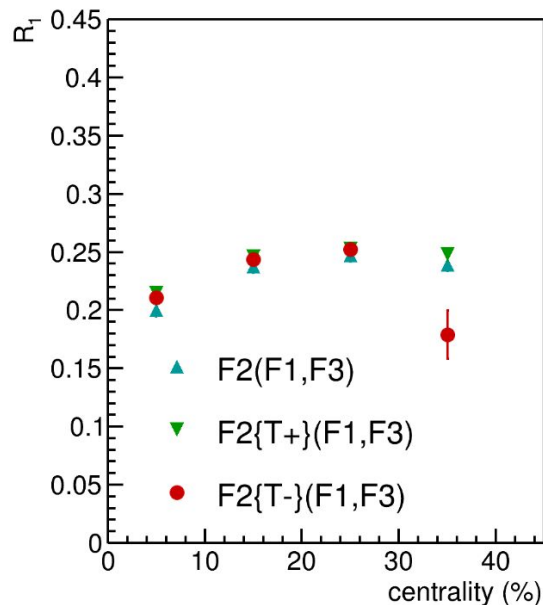
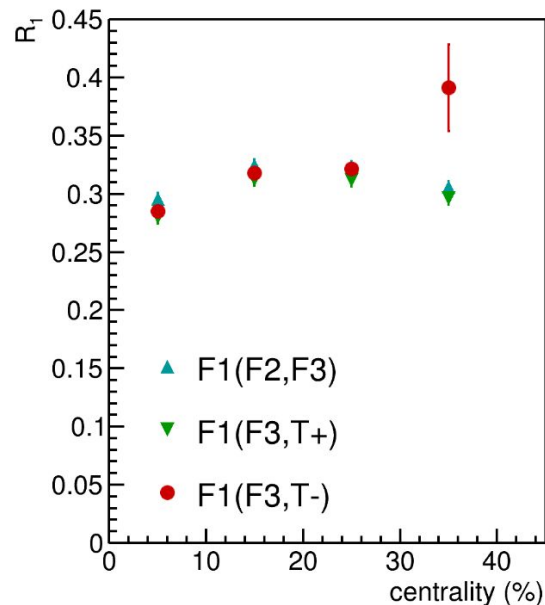
$1.5 < \eta < 4$; $p_T > 0.2 \text{ GeV/c}$

T+: траектории

положительно заряженных частиц:

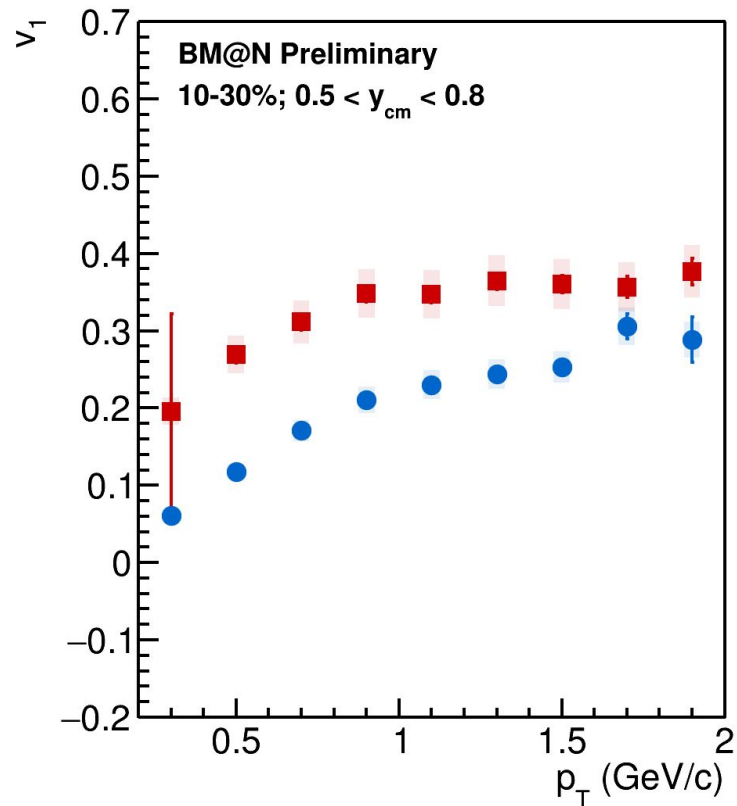
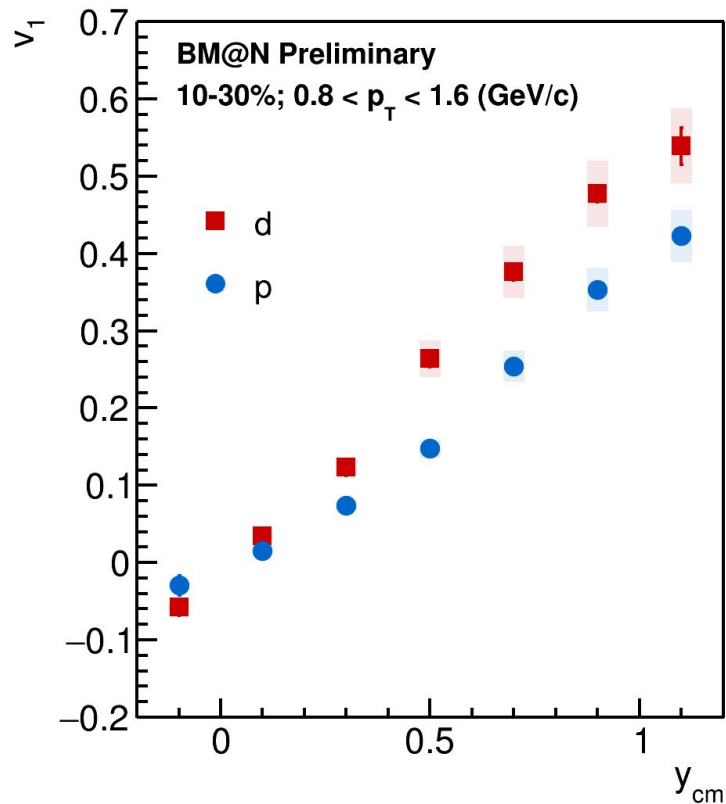
$2.0 < \eta < 3$; $p_T > 0.2 \text{ GeV/c}$

Разрешение плоскости события в зависимости от центральности



Оценки R_1 , рассчитанные по различным комбинациям подсобытий, находятся в согласии для всех трех плоскостей события.

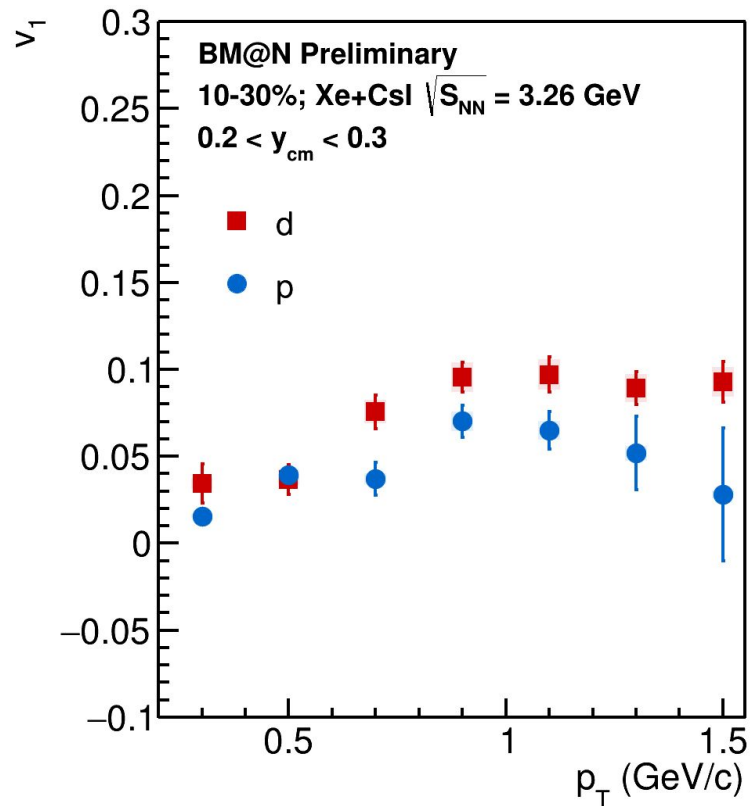
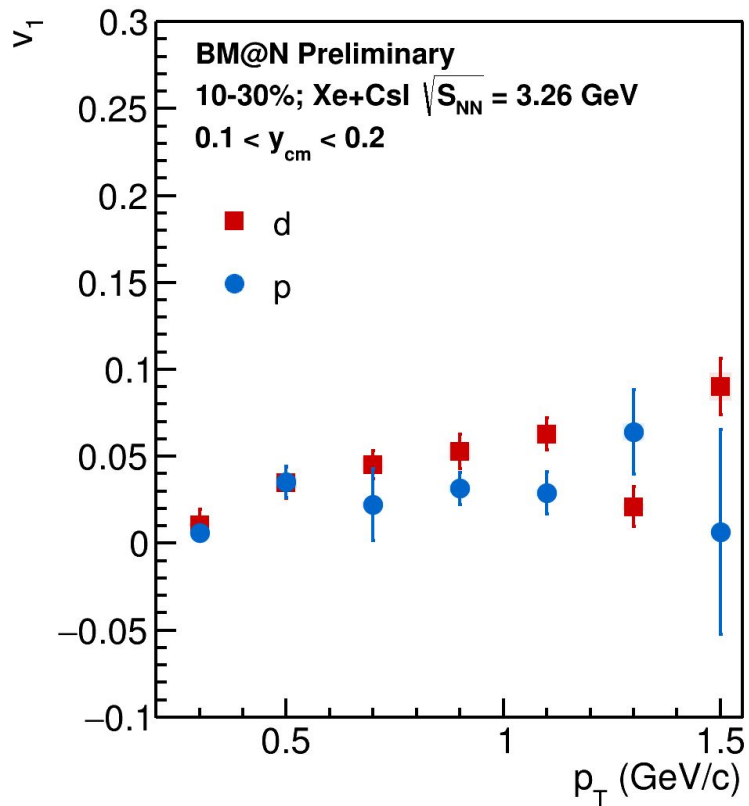
v_1 протонов и дейтронов в зависимости от y и p_T



v_1 дейтронов превосходит v_1 протонов по величине.

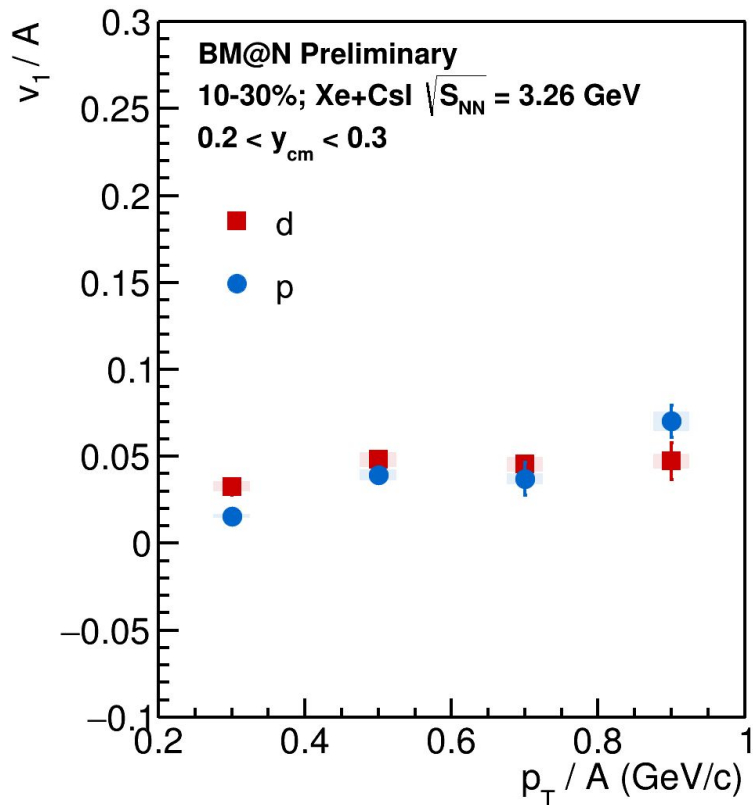
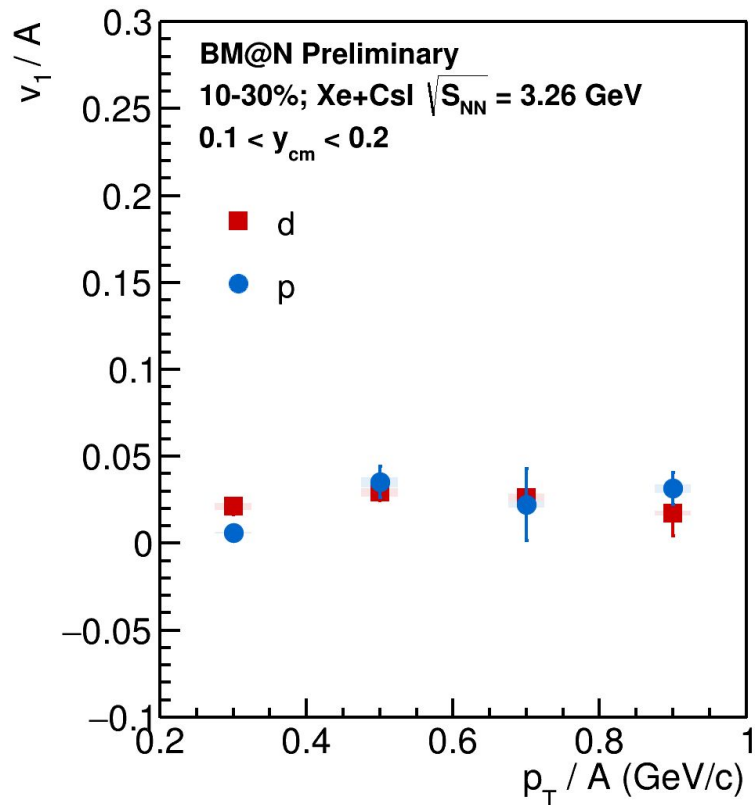
v_1 протонов и дейтронов в зависимости от p_T

$$v_1^p(p_T) \approx \frac{v_1^d}{2} \left(\frac{p_T}{2} \right)$$



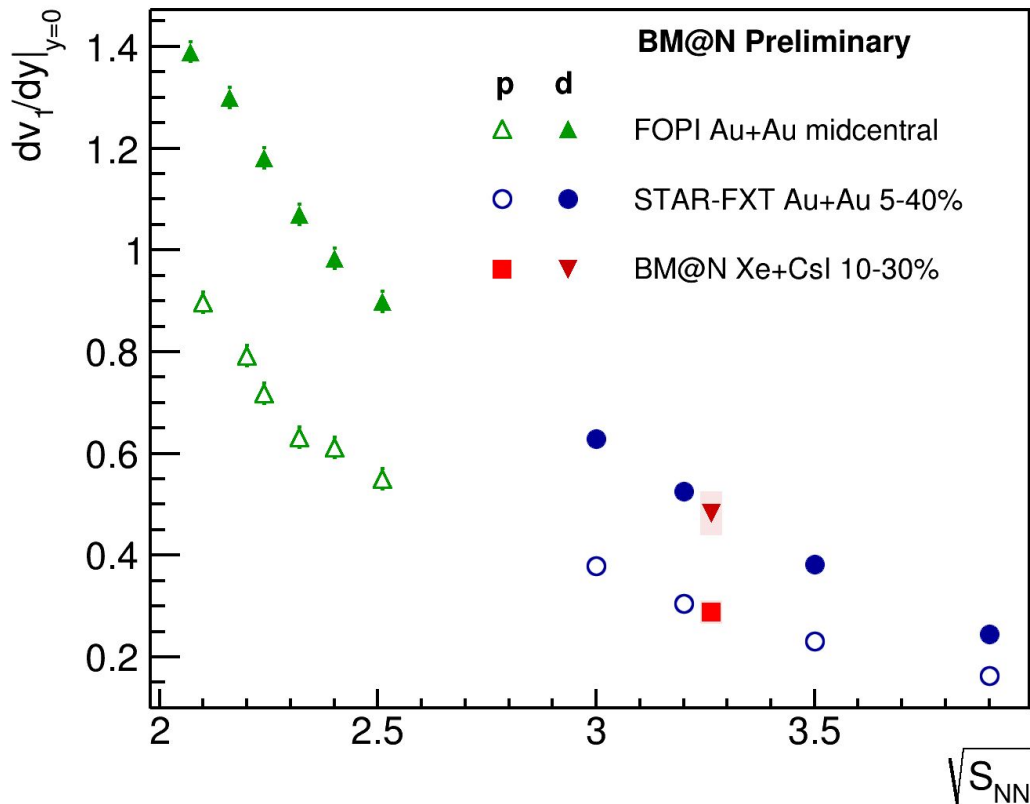
v_1/A протонов и дейтронов в зависимости от p_T/A

$$v_1^p(p_T) \approx \frac{v_1^d}{2} \left(\frac{p_T}{2} \right)$$



v_1 следует масштабированию с числом нуклонов.

Наклон v_1 в нуле быстроты в зависимости от \sqrt{s}_{NN}



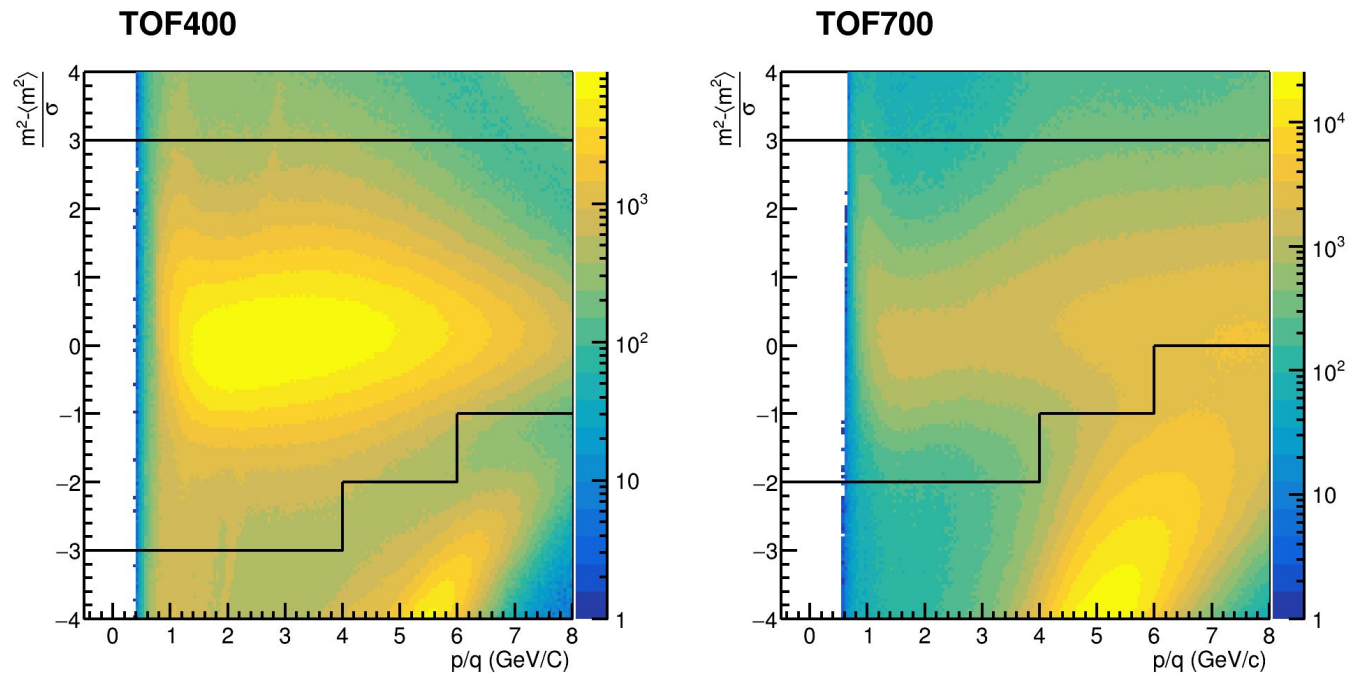
Значения наклона направленного потока протонов и дейтронов в нуле быстроты $dv_1/dy_{cm}|_{y_{cm}=0}$ находятся в согласии с существующими результатами.

Заключение

- v_1 дейтронов был измерен дифференцированно в зависимости от поперечного импульса, быстроты и центральности.
- Для направленного потока протонов и дейтронов наблюдается эффект масштабирования v_1 с массовым числом.
- Значение наклона v_1 в нуле быстроты находится в согласии с мировыми данным.

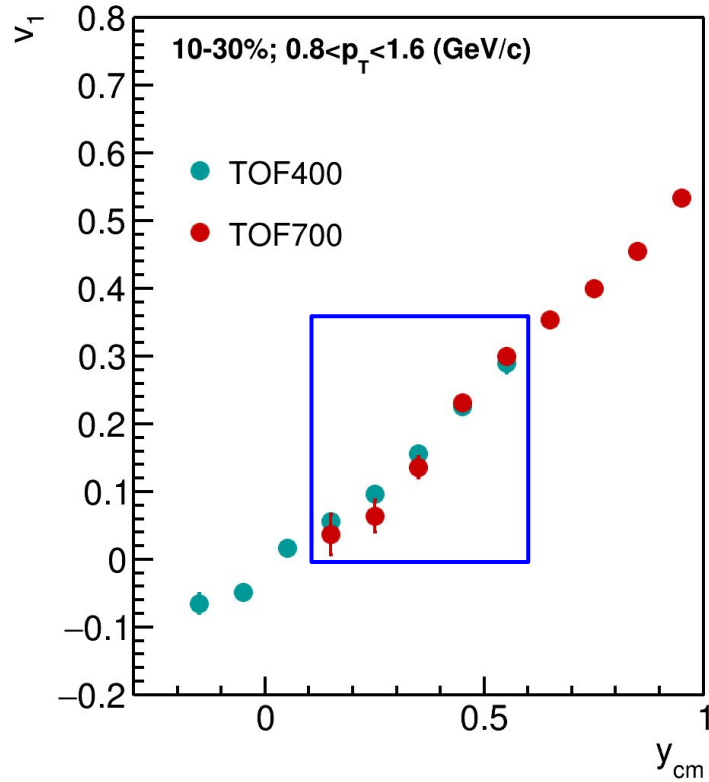
Backup

Deuteron identification criteria

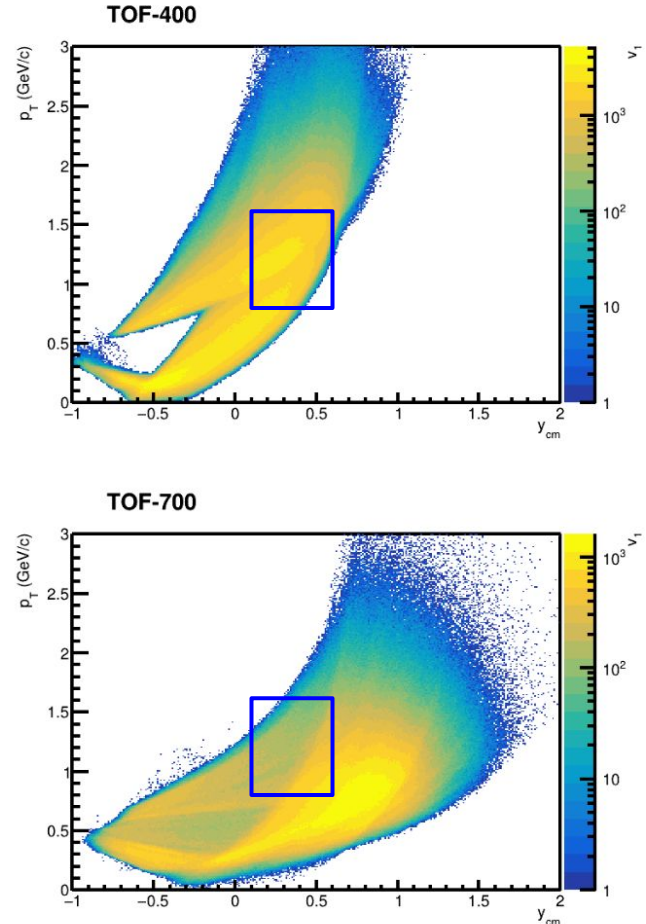


N- σ distributions for deuteron candidates
Solid lines represent the selection criteria for different p/q ranges.

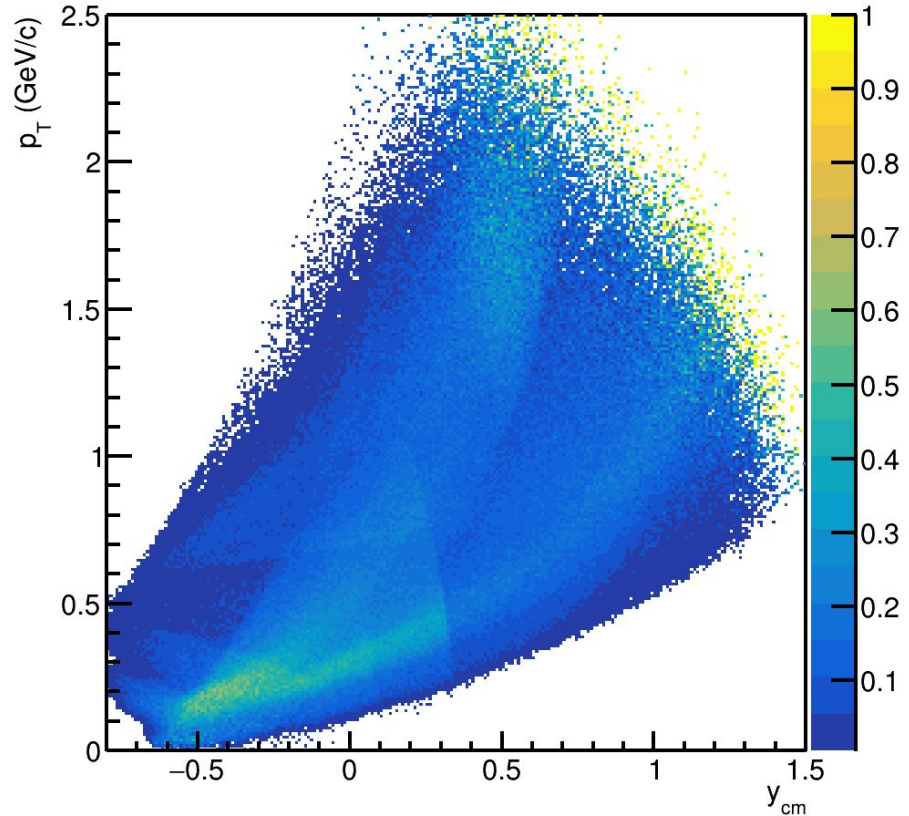
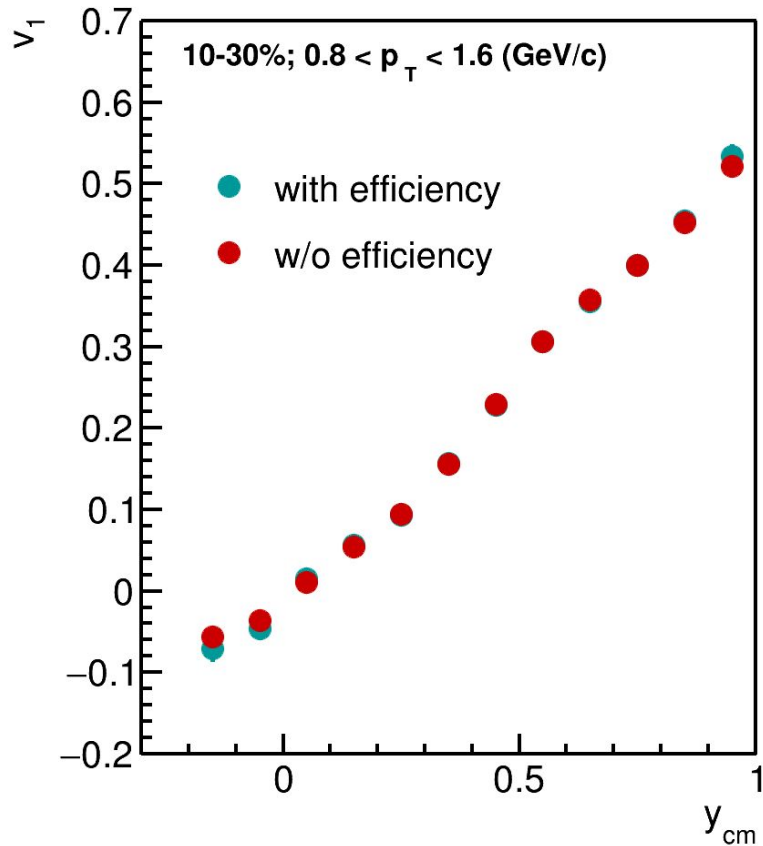
v_1 for deuterons from the TOF400 and TOF700



v_1 for deuterons identified separately with TOF400 and TOF700 are in a good agreement



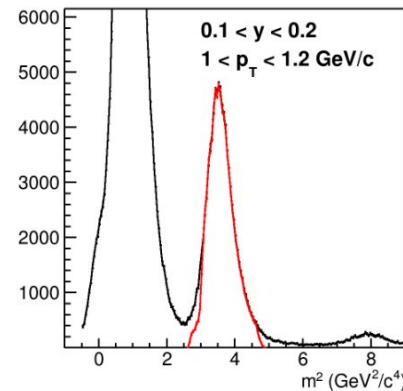
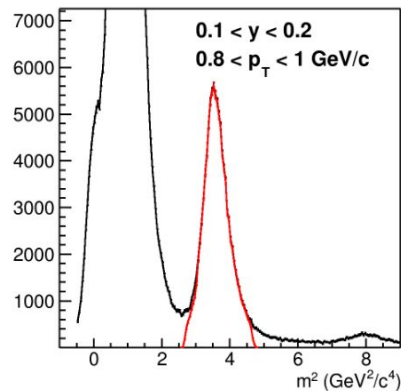
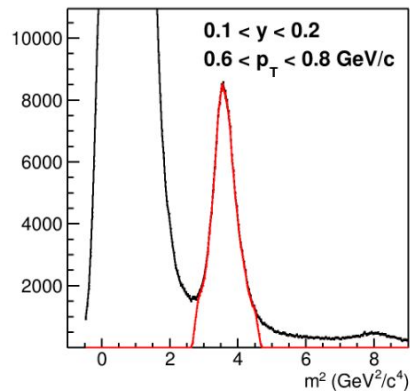
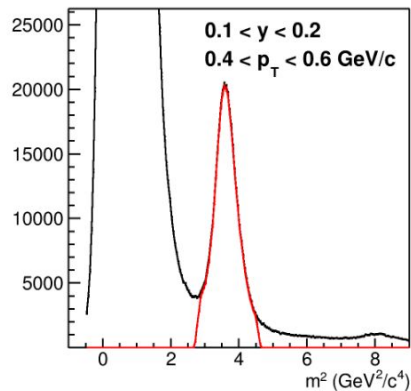
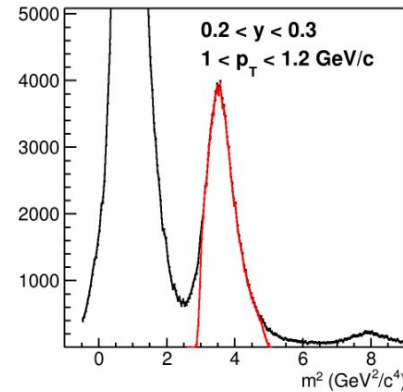
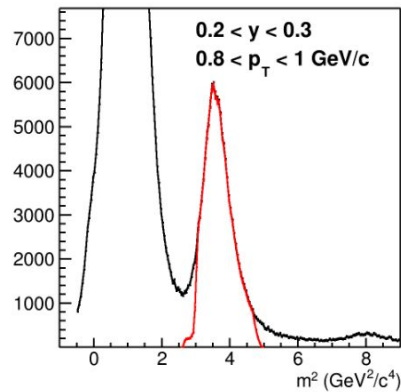
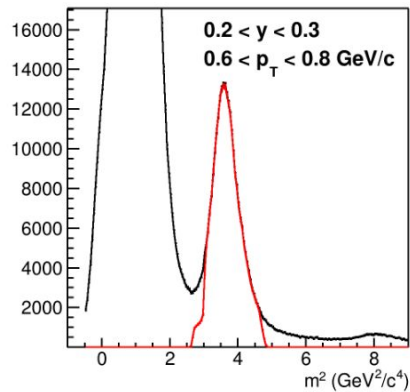
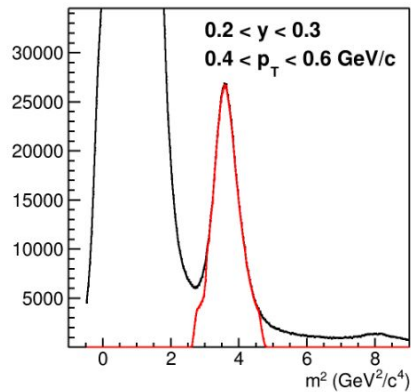
v_1 : effect of applying efficiency correction



Total systematics estimation

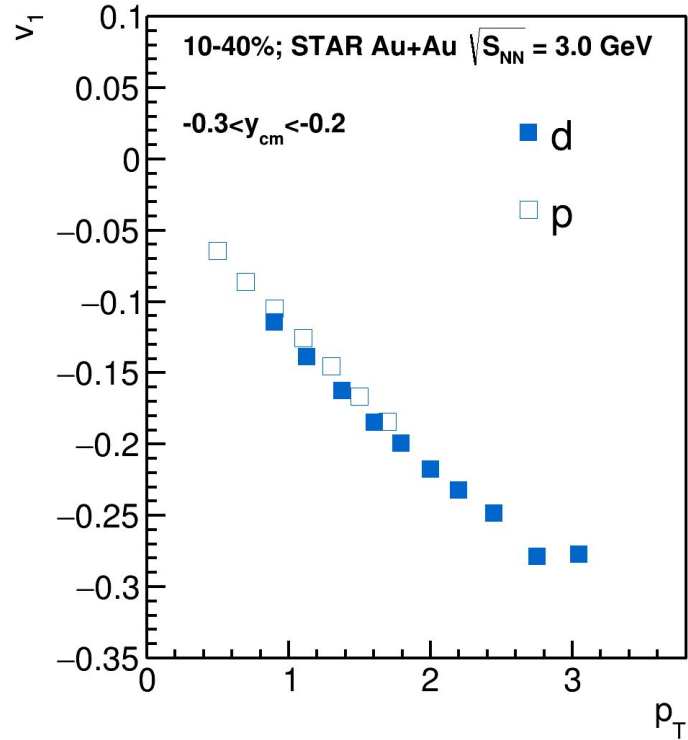
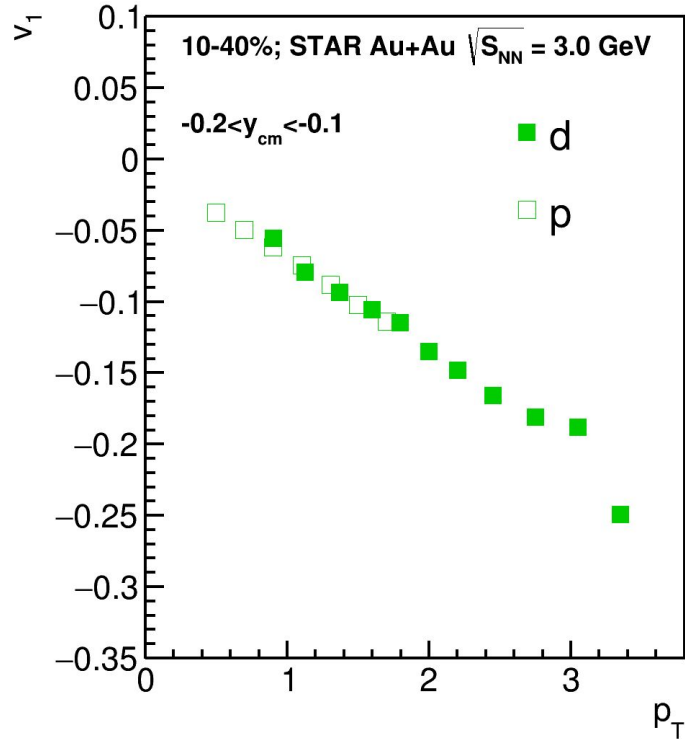
N_{hits}	Chi2/N DF	DCA	Vtx	runId	centrality	non-flow	Identification	total
3%	2%	1%	3%	4%	5%	2%	5%	9%

Particle Identification

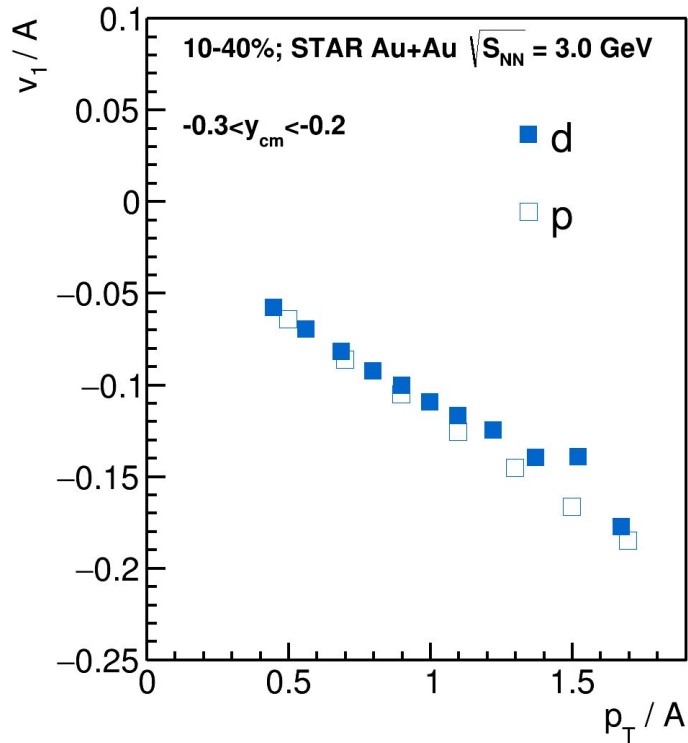
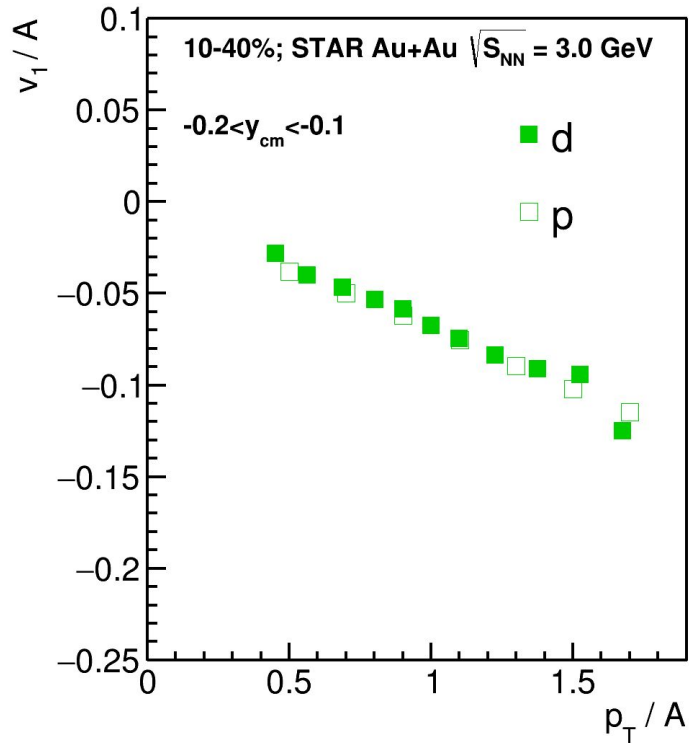


m^2 particle distribution in p_T and y bins in the TOF700

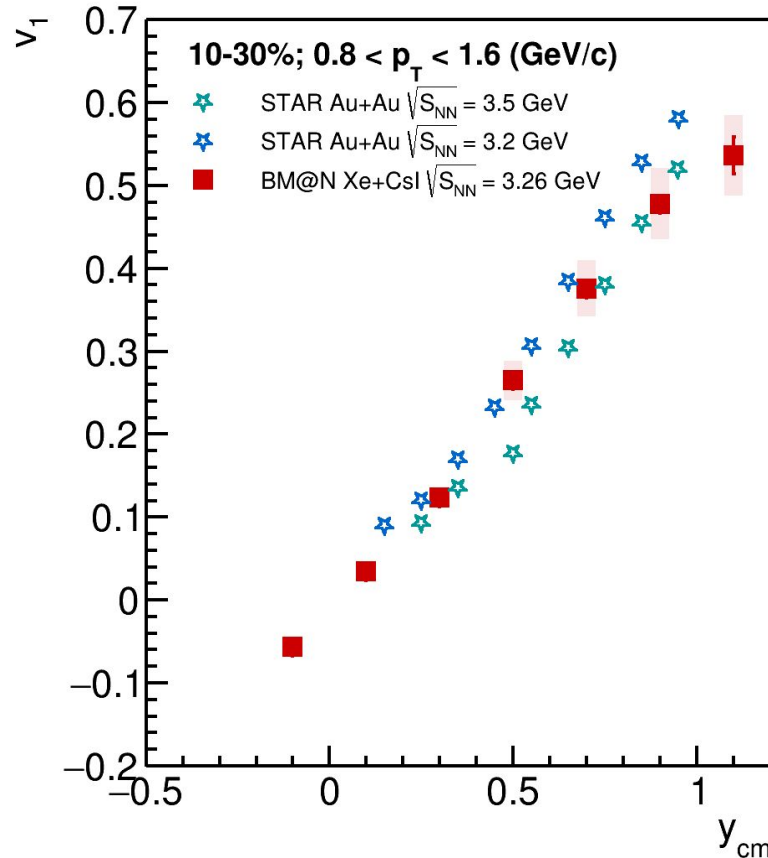
STAR data: v_1 of protons and deuterons as a function of p_T



STAR data: scaled v_1/A of protons and deuterons as a function of scaled p_T/A



v_1 of protons and deuterons as a function of y and p_T



centrality 10-30% - for the BM@N data
centrality 5-40% - for STAR