

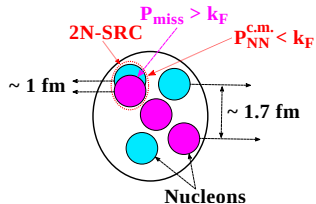
Моделирование реакции $p(^{12}\text{C}, ^{10}\text{B})p$, pn с
учетом двухнуклонных короткодействующих
корреляций в ядре углерода для изучения
отклика установки BM@N на частицы
конечного состояния

Студент-магистрант второго курса Непчатых Сергей

Государственный университет «Дубна»

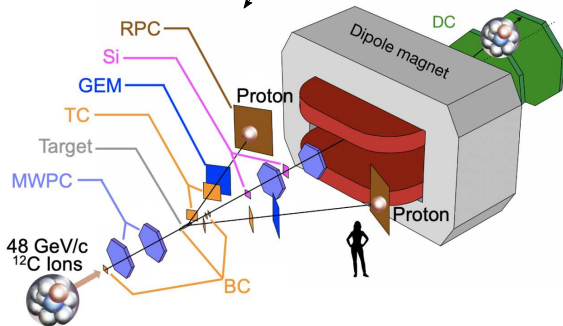
Выпускная Квалификационная Работа
Магистерская Диссертация
16 июня 2020 г.

Двухнуклонные короткодействующие корреляции (КДК (SRC))



ПРОЕКТ SRC НА УСТАНОВКЕ BM@N

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КДК В ЯДРЕ ^{12}C

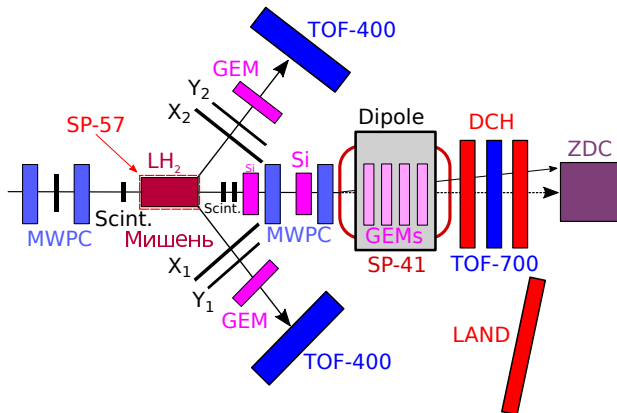


Установка VM@N для изучения свойств КДК в ядре ^{12}C

Пучок: ^{12}C с импульсом 4 ГэВ/с/нуклон

Мишень: LH_2

Исследуемый канал реакции: $p + pn + {}^{10}\text{B}$

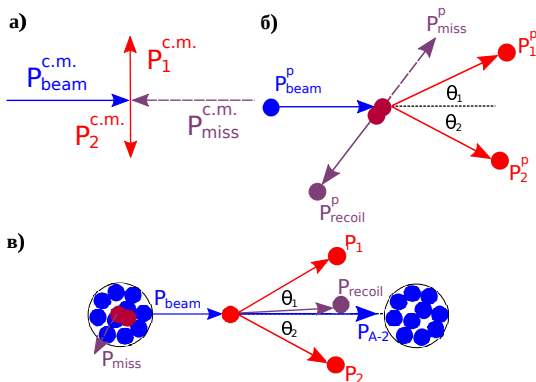


Основные этапы работы

- 1 Разработка генератора реакции $p(^{12}\text{C}, ^{10}\text{B})p, pn$ с учетом двухнуклонных короткодействующих корреляций в ядре углерода (КДК генератор).
- 2 Реализация КДК генератора в рамках программного пакета BmnRoot, основываясь на параметрах (XYZ компоненты импульсов, идентификационные PDG коды и координаты вершины реакции), выдаваемых генератором исходной реакции, частиц конечного состояния.
- 3 Моделирование прохождения протонов через установку эксперимента в двух конфигурациях:
 1. без магнита СП-57 и без «плечевых» триггеров Y и X;
 2. с СП-57 и с Y и X.с двумя видами мишени:
 - точечная мишень;
 - протяженная с реалистичными параметрами.
- 4 Расчет углов протонов в TOF-400 и восстановление вершины реакции.
- 5 Конфигурация 1:
Получение угловых корреляций протонов в TOF. Рассмотрение влияния структуры «плечевых» детекторов и мишени на угловые корреляции.
- 6 Конфигурация 2 (протяженная мишень):
Исследование влияния СП-57 на акцептанс TOF, угловые корреляции протонов и вершину, включая детекторные эффекты.

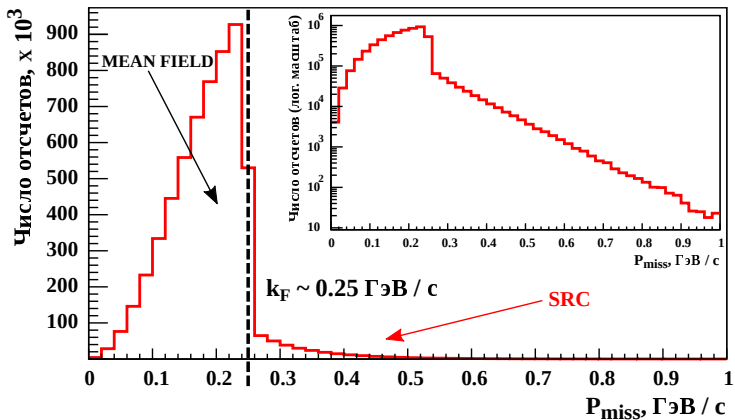
Кинематика взаимодействия ^{12}C с p в различных системах координат

Для генерирования процесса рассеяния ^{12}C на p с учетом КДК необходимо знать импульс нуклона в ядре углерода до взаимодействия в системе покоя ^{12}C (б).



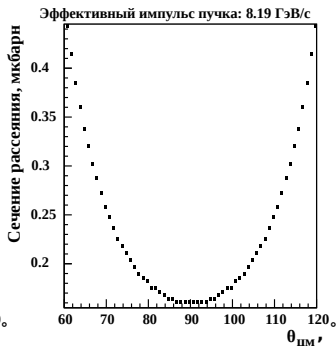
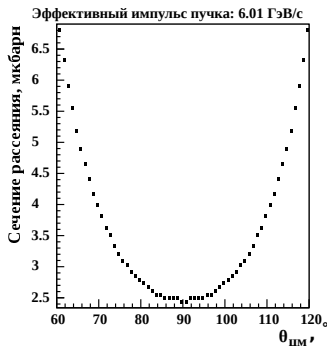
КДК генератор: распределение P_{miss}

P_{miss} , согласно некоторой эффективной модели взаимодействия, имеет следующий вид:



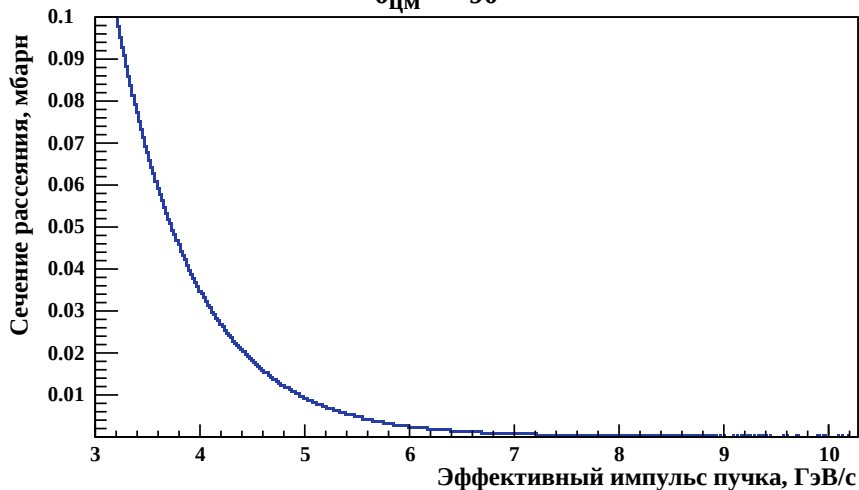
КДК генератор: сечение

Сечение взято в системе покоя нуклона с импульсом P_{miss} . При этом пучок имеет эффективный импульс $P_{\text{effective}}$, от которого вместе с углом рассеяния $\theta_{\text{c.m.}}$ сечение имеет эмпирическую зависимость: $\sigma \propto \exp(k \cdot P_{\text{effective}}) \cdot (1 - \cos^2 \theta_{\text{c.m.}})^{-3.676}$



КДК генератор: сечение

$$\theta_{\text{ЦМ}} = 90^\circ$$



Типы сигналов и восстановление вершины реакции

Моделирование детекторов содержит два этапа

1-ый этап: частица, попадая в чувствительную область детектора, оставляет там сигнал. Так называемый **MCPoint сигнал**.

2-ой этап: К MCPoint сигналу применяют детекторные эффекты (временное, пространственное разрешение, эффективность, шумы). Сигнал такого типа называется **MCHit сигналом**.

Восстановление вершины реакции

Отдельно для каждого «плеча» через координаты позиций сигналов в GEM и TOF проводилась прямая.

MCPoint: 4 сигнала \rightarrow 2 скрещивающиеся прямые. Между прямыми находилось минимальное расстояние (перпендикуляр) и положение середины перпендикуляра $\vec{d} = (x_d, y_d, z_d)$.

Восстановление вершины реакции

В конечном итоге проверялось, попадают ли полученные значения координат x_d, y_d, z_d в область протяженной мишени с реалистичными параметрами:

$$x, y : x_d, y_d \in (x_{\text{target}} - x_d)^2 + (y_{\text{target}} - y_d)^2 \leq R^2, \quad (1)$$

$$z : z_d \in z_{\text{target}} \pm \frac{L}{2}, \quad (2)$$

где $x_{\text{target}} = 0.5$ см, $y_{\text{target}} = -4.6$ см, $z_{\text{target}} = -647.5$ см – координаты центра мишени, $R = 3$ см – радиус мишени в плоскости xy , $L = 30$ см – длина мишени вдоль z .

При удовлетворении (1-2) позиция середины перпендикуляра присваивалась восстановленной вершине реакции.

Восстановление вершины реакции

Для MCHit суммарное число сигналов в детекторах N_{total} :

$$N_{total} = N_{LGEM} + N_{LTOF} + N_{RGEM} + N_{RTOF}, \quad (3)$$

где N_{LGEM} и N_{LTOF} – число сигналов в GEM и TOF левого, а N_{RGEM} и N_{RTOF} – число сигналов в GEM и TOF правого «плеча».

Комбинаций попарно скрещивающихся прямых – $N_{LGEM} \times N_{LTOF} \times N_{RGEM} \times N_{RTOF}$. Геом. ограничения на мишень (1-2) позволили уменьшить число комбинаций. Из оставшихся комбинаций была выбрана та, у которой между прямыми минимальное расстояние.

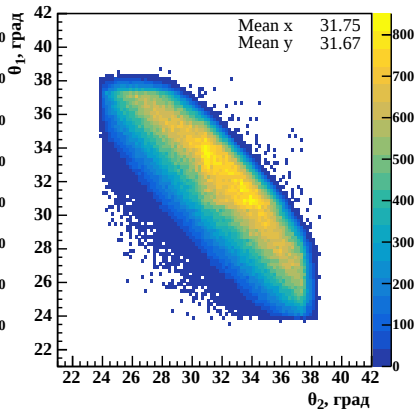
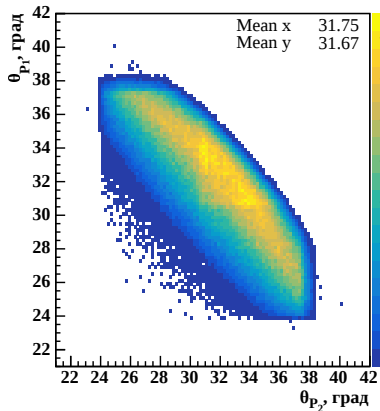
Два независимых способа определения углов

- Сгенерированные углы (θ_{P_i} и φ_{P_i})
Прямой расчет углов через компоненты импульсов протонов, выдаваемые КДК генератором исходной реакции $p(^{12}\text{C}, ^{10}\text{B})p, pn$.
- Реконструируемые углы (θ_i и φ_i)
Реконструкция углов через координаты вектора, начало которого является точкой рождения протона (вершиной реакции)
(в случае точечной мишени и MCPoint сигнала вершина совпадает с точкой локализации мишени), а конец соответствует координате сигнала от протона в TOF.

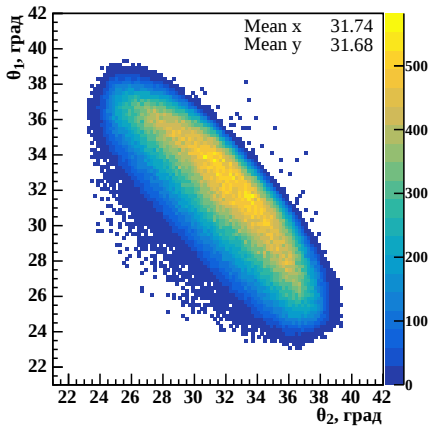
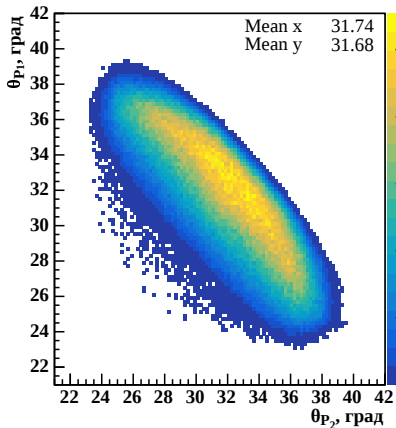
Индексу i принадлежат значения 1 и 2, относящиеся к левому и правому «плечу» со стороны мишени, соответственно.

Корреляции протонов по полярным углам (точечная мишень)

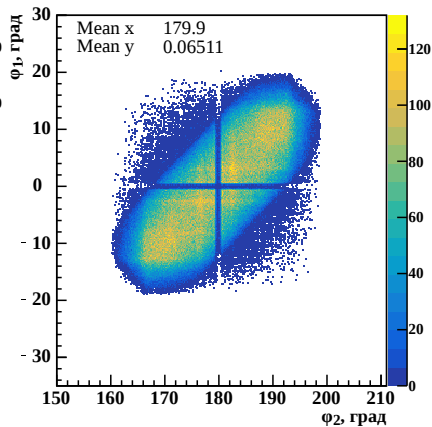
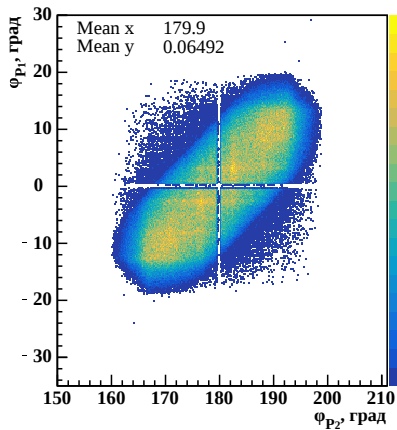
Сгенерированные (слева) и реконструируемые (справа)



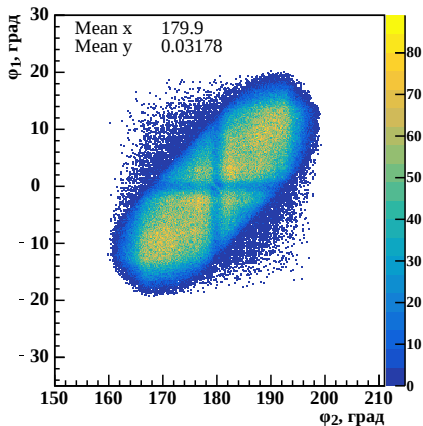
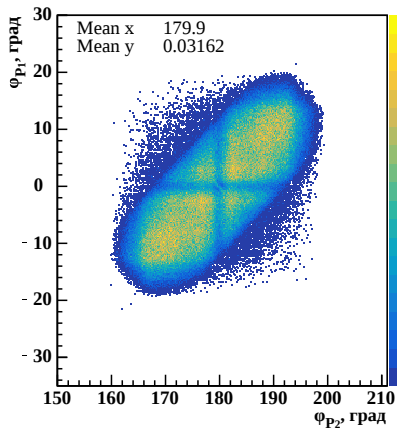
Корреляции протонов по полярным углам (протяженная мишень)



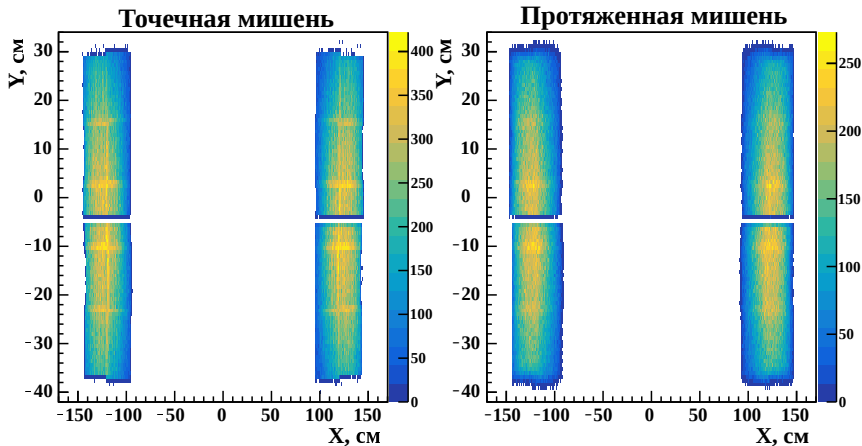
Корреляции протонов по азимутальным углам (точечная мишень)



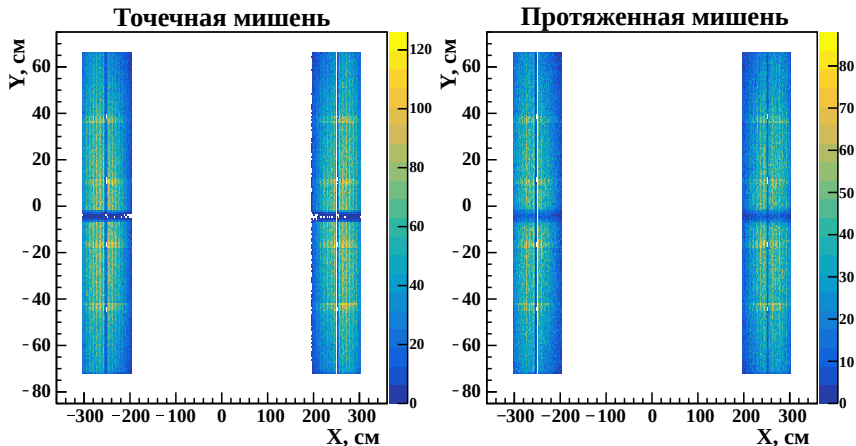
Корреляции протонов по азимутальным углам (протяженная мишень)



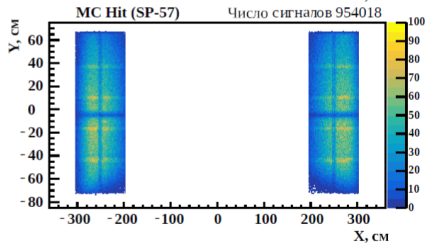
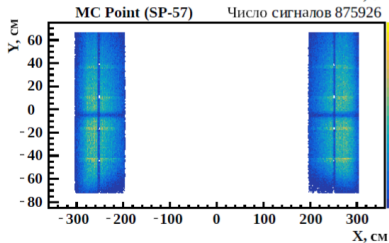
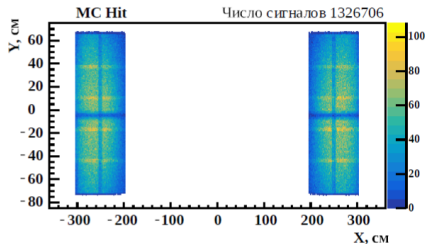
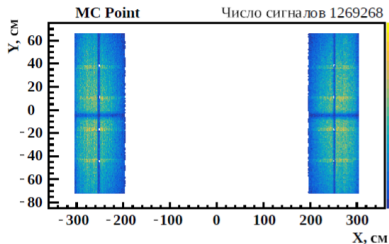
Фазовый объём сигналов от протонов в плоскости YX для GEM (Реконструкция)



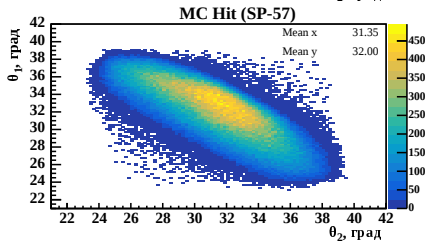
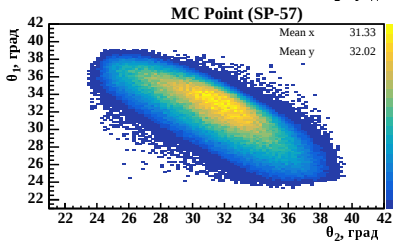
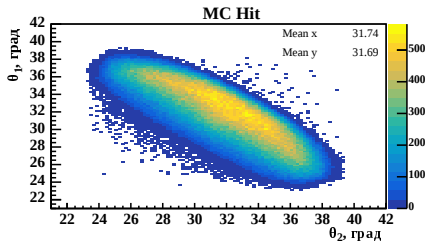
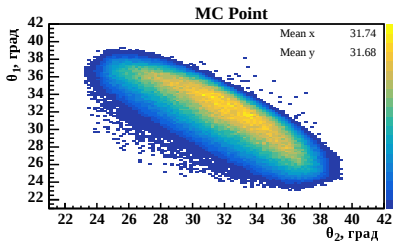
Фазовый объём сигналов от протонов в плоскости YX для TOF (Реконструкция)



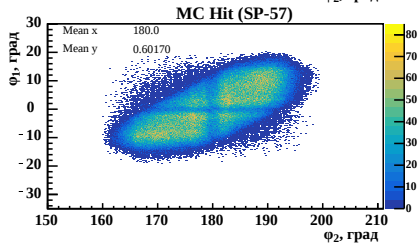
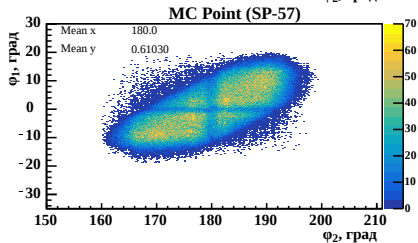
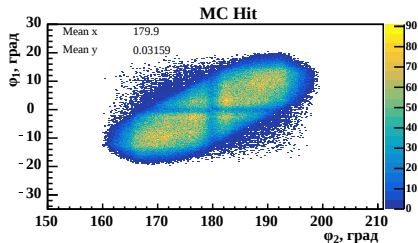
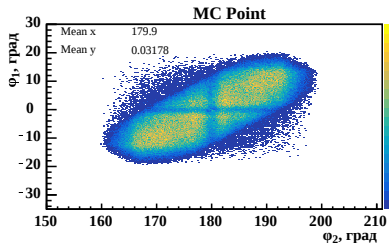
Фазовый объём MCPoint и MCHit сигналов в плоскости YX для TOF без магнита СП-57 и с СП-57



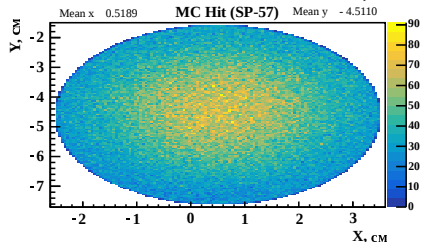
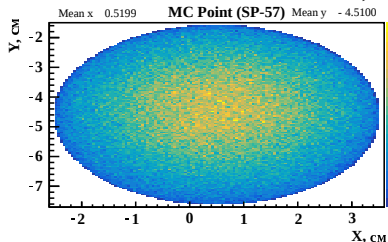
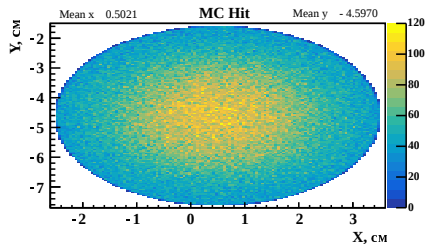
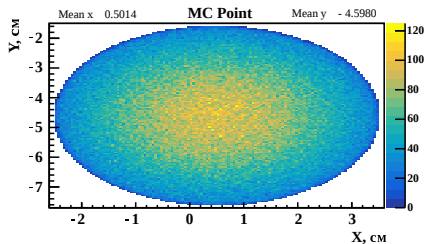
Корреляции протонов по полярным углам



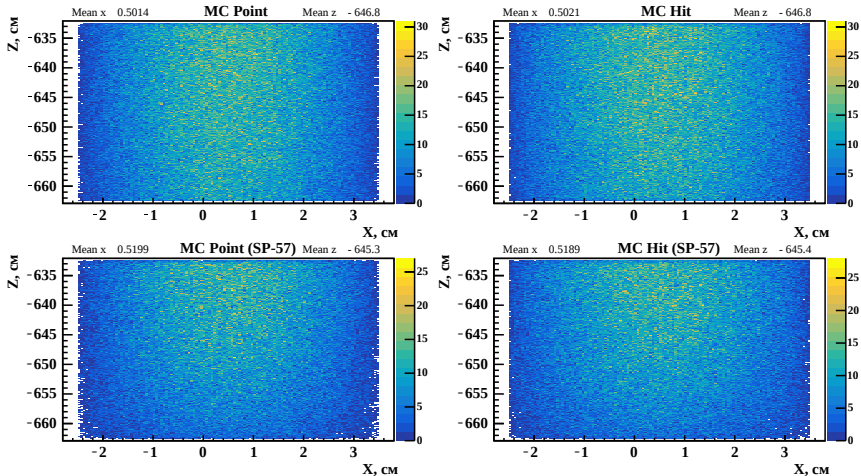
Корреляции протонов по азимутальным углам



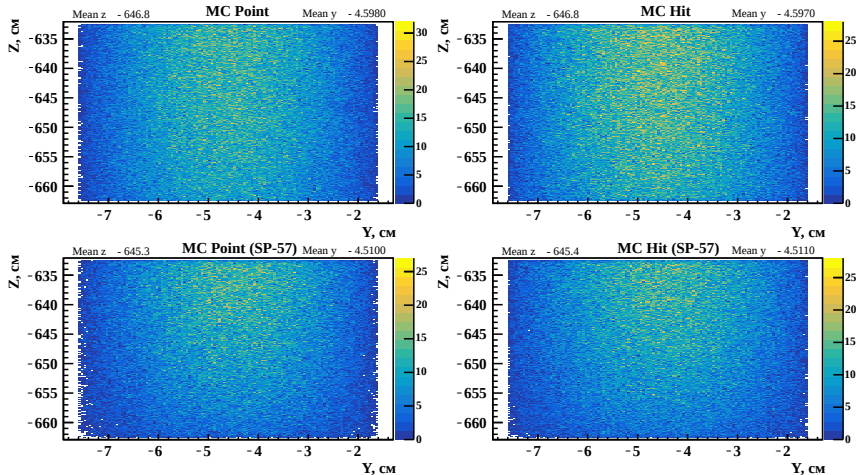
Положение восстановленной вершины реакции в плоскости YX



Положение восстановленной вершины реакции в плоскости ZX



Положение восстановленной вершины реакции в плоскости ZY



Заклучение

В ходе работы были получены следующие результаты

- Из полного числа смоделированных событий вершина реконструируется только в примерно 11% случаев без магнита СП-57 и в примерно 8% случаев с СП-57.
- Показано, как на угловые корреляции протонов в TOF влияют структура плечевых «детекторов» и мишень.
- Исследовано влияние магнита СП-57 на область фазового пространства, доступного при измерениях.
- Полученные результаты могут быть использованы при анализе данных эксперимента по изучению свойств КДК в ядре ^{12}C на установке BM@N, а также для планирования следующих измерений.

Перспективы дальнейшей работы в рамках рассмотренной тематики могут быть связаны, в первую очередь, с моделированием отклика установки и возможностью отделения сигнала от шума для конфигурации исходного эксперимента BM@N.