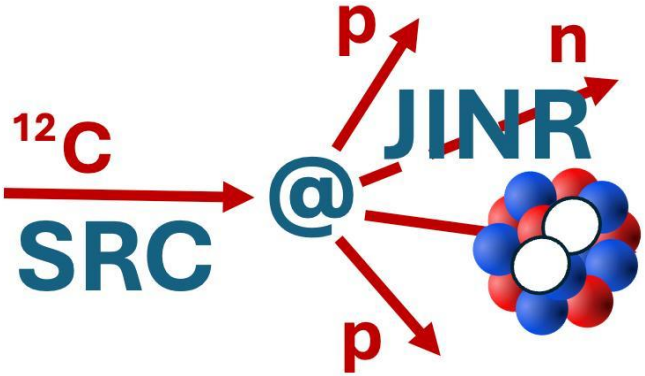
Семинар «Детекторные технологии» #2-2026
19.02.2026

Калибровки времяпролетной системы в эксперименте SRC

Бочкова Ангелина

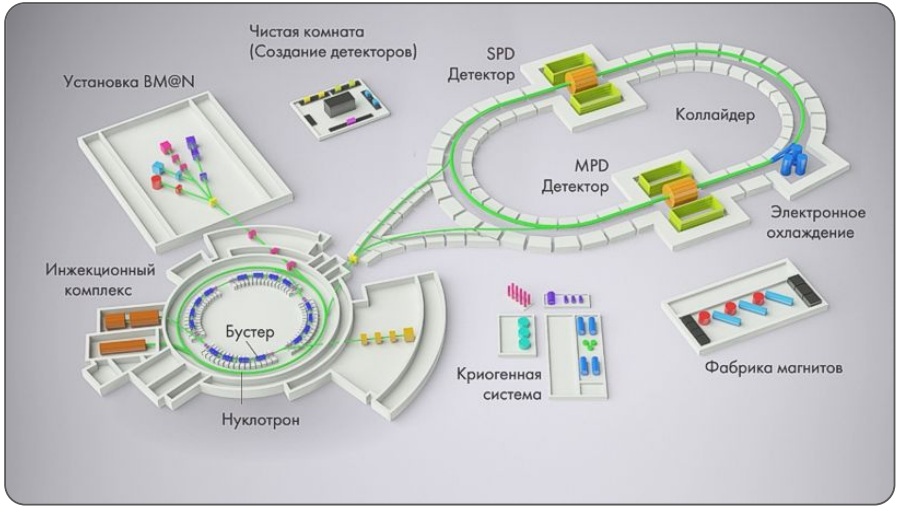


Эксперимент SRC 2022 на установке BM@N

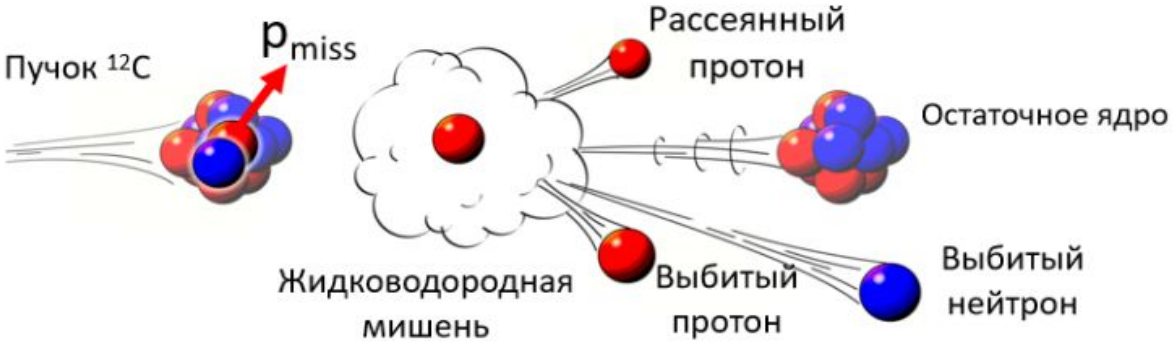
SRC = Short-Range Correlations = КДК = Короткодействующие Двухнуклонные Корреляции

В ОИЯИ изучаются свойства КДК в обратной кинематике. Преимущества:

- возможность изучения свойств остаточного ядра
- подавление перерассеяния ISI/FSI путем идентификации остаточного ядра
- первый шаг к изучению нейтроноизбыточных радиоактивных ядер



Цели: измерение сечения реакций и изучение фрагментации.



Искомые реакции:

$^{12}C(p, 2p)^{10}B$,

$^{12}C(p, 2p)^{10}Be$,

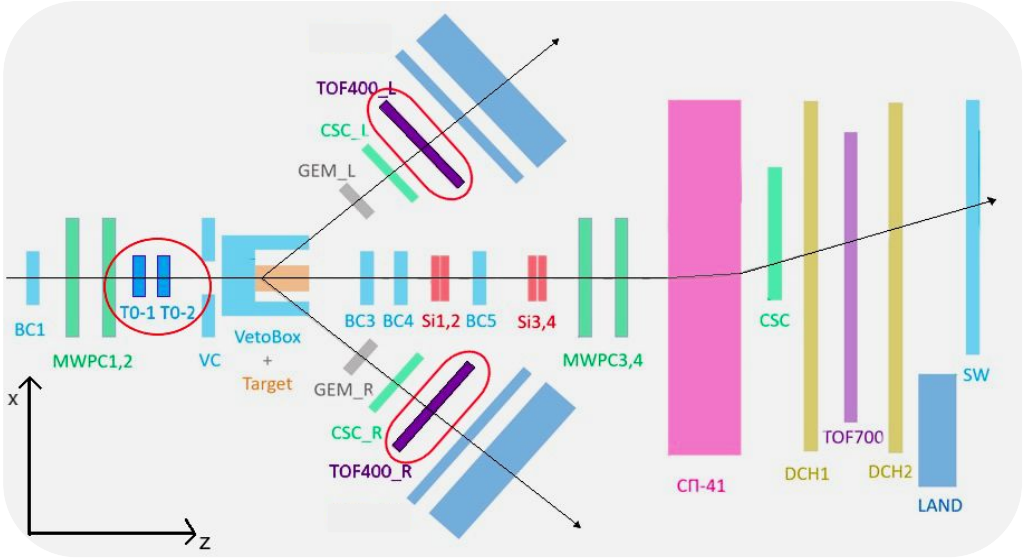
$^{12}C(p, 2p)$ fragments,

Схема экспериментальной установки в 2022 году

BC, T0, VC, VetoBox, SW – сцинтилляционные детекторы (триггер, заряд, вето)

MWPC – многопроволочные пропорциональные камеры (координаты налетающего ядра и фрагментов)
Si – кремниевые детекторы (координаты фрагментов)
СП-41 – анализирующий магнит
DCH – дрейфовые камеры (координаты фрагментов)

GEM – газовые электронные умножители (координаты протонов в плечах)
CSC – катодно-стриповые камеры (координаты протонов в плечах и фрагментов после магнита)
TOF400 – времяпролетный детектор (время протонов в плечах)
SciA – сцинтилляционные стенки (триггер + подтверждение регистрации трека)



Для корректного определения времени пролёта необходимо провести калибровки TOF400.

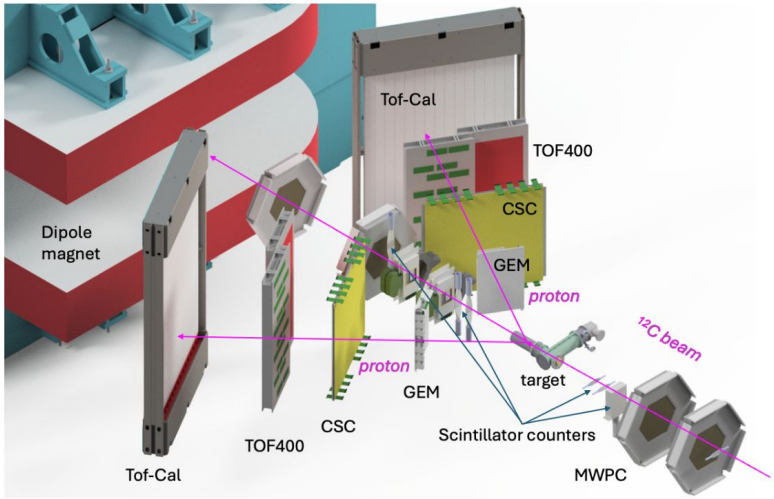
TOF400 для эксперимента SRC

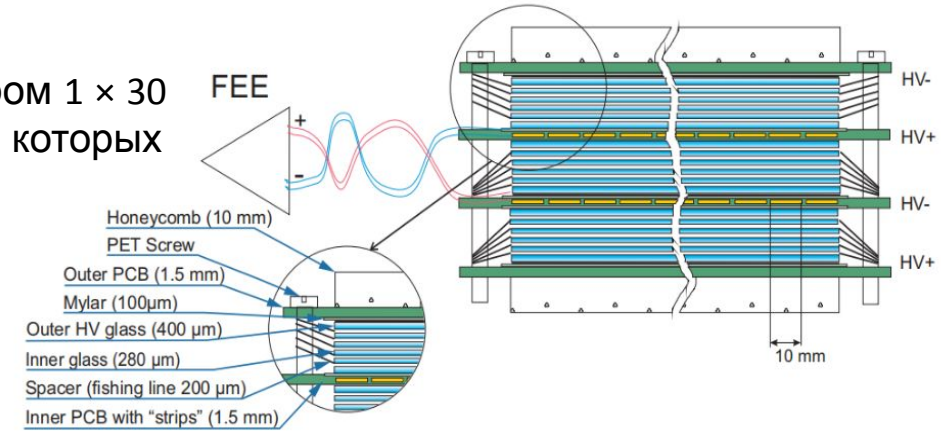
В основе детектора лежит технология MRPC (Multilayer Resistive Plate Chamber), идентична используемой в BM@N и MPD. Производство и обслуживание детектора обеспечены группой В. Бабкина.

Каждое плечо TOF400 расположено на расстоянии 2,95 м от центра мишени и имеет активную площадь размером 1,1 м x 1,2 м. В каждом плече располагается 10 плоскостей MRPC.

Одна плоскость MRPC имеет 48 стрипов размером 1 × 30 см с шагом 12,5 мм, считывание которых осуществляется с обоих концов.

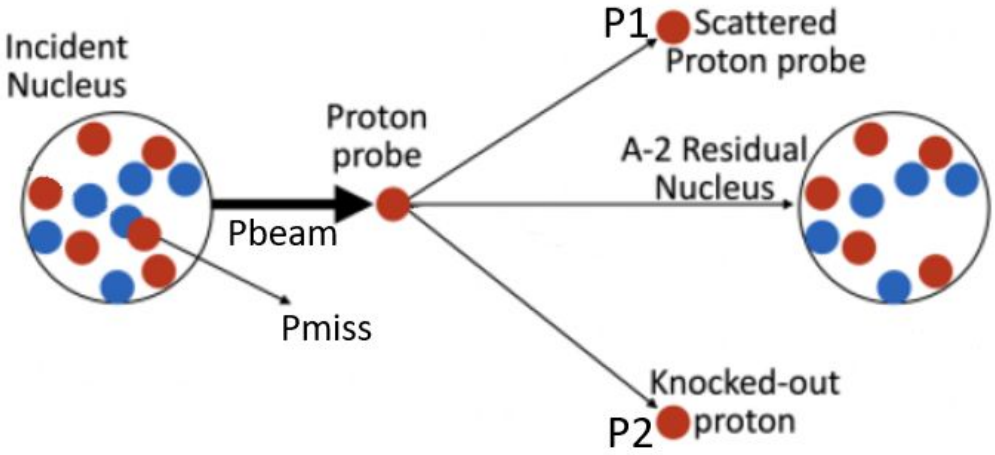
После окончания набора данных 2022 была проведена первичная калибровка TOF400, которая впоследствие потребовала улучшений





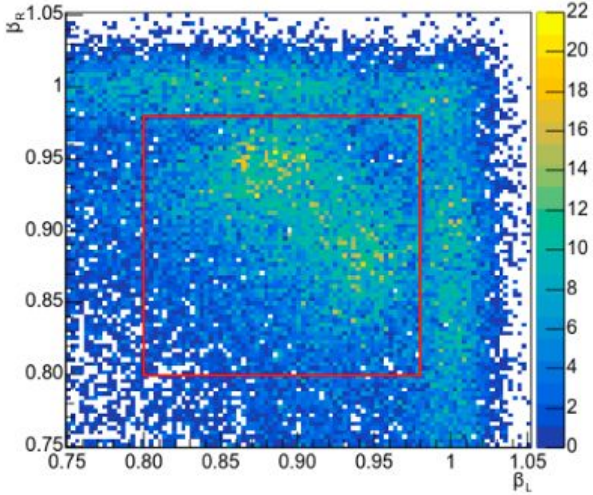
V. Babkin et al. Triple-stack multigap resistive plate chamber with strip readout // Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A. — 2016. — V. 824. — P. 460

Реконструкция Pmiss

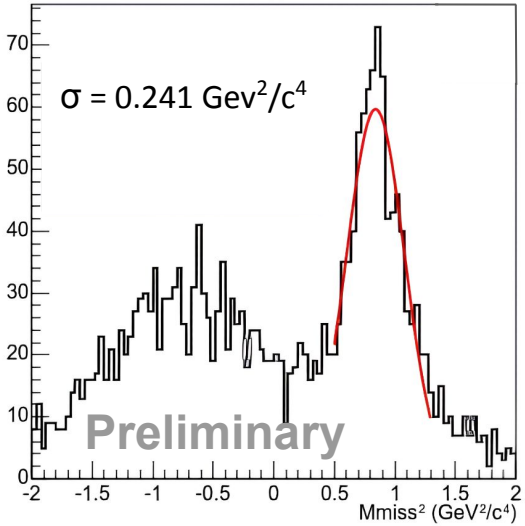


$$Pmiss = P1 + P2 - Pbeam$$

$$M^2miss = P^2miss$$



Первичная калибровка



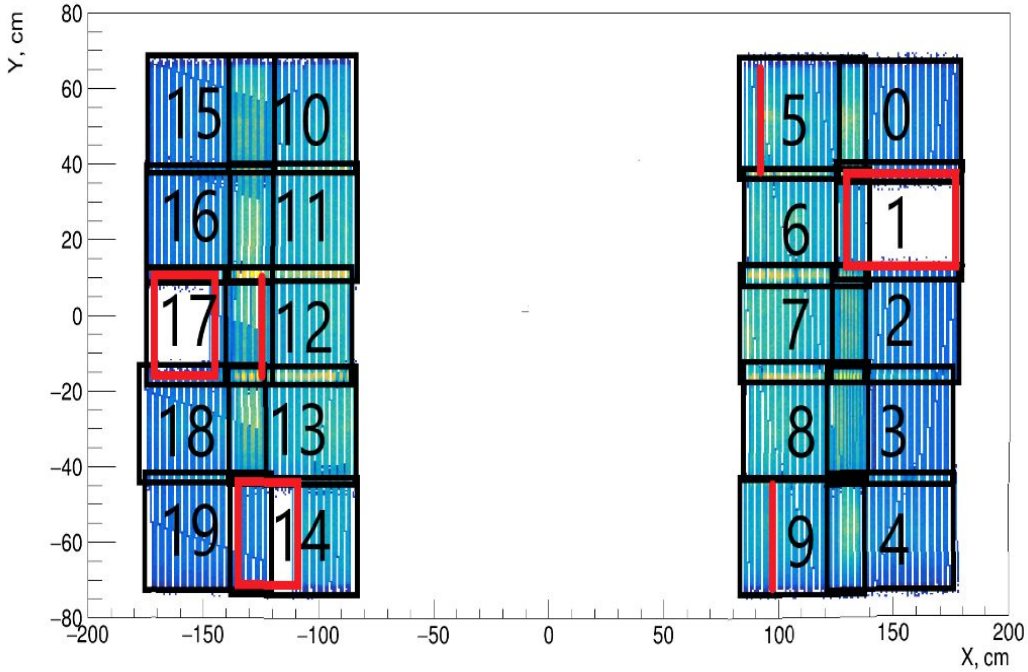
Этапы выполнения калибровки

Время-амплитудная калибровка с использованием 4 каналов T0 вместо 2.

Времяпролётная калибровка, необходимая для достоверности физических результатов.

Для стрипов с недостаточной статистикой была применена время-амплитудная и времяпролётная калибровки с ближайших к ним стрипов с достаточной статистикой.

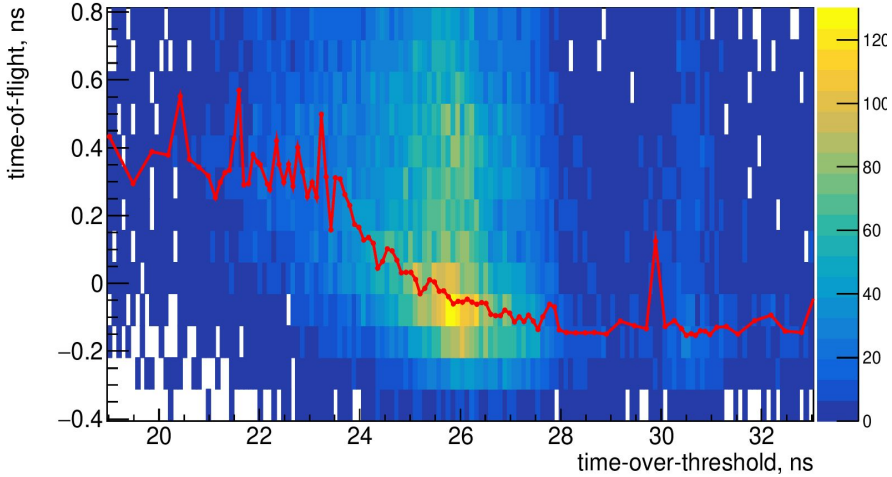
Оценка временного разрешения.

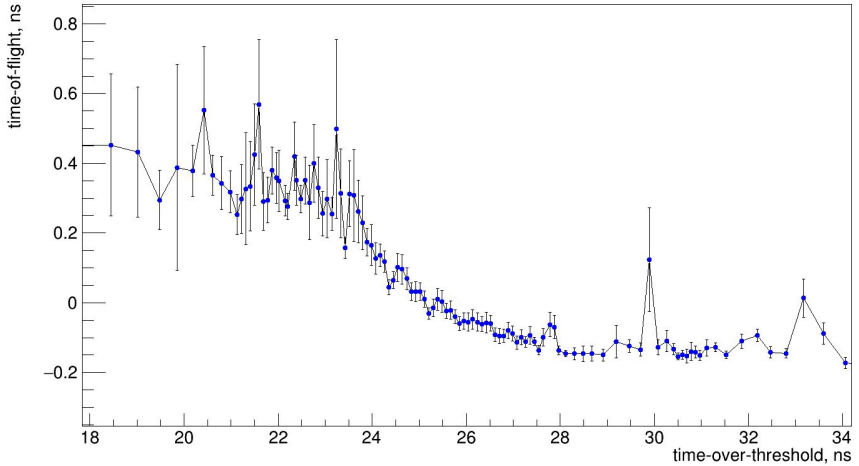


Неработающие стрипы и плоскости, требующие дополнительной коррекции

Время-амплитудная коррекция

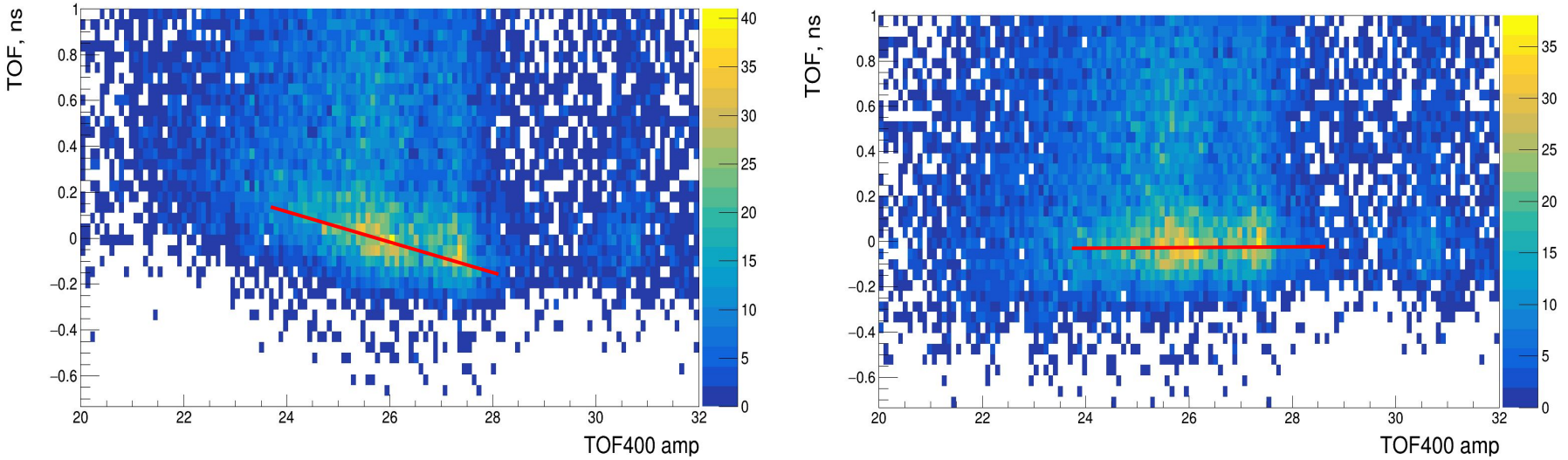
Были использованы экспериментальные файлы с одиночной свинцовой мишенью толщиной 1 мм





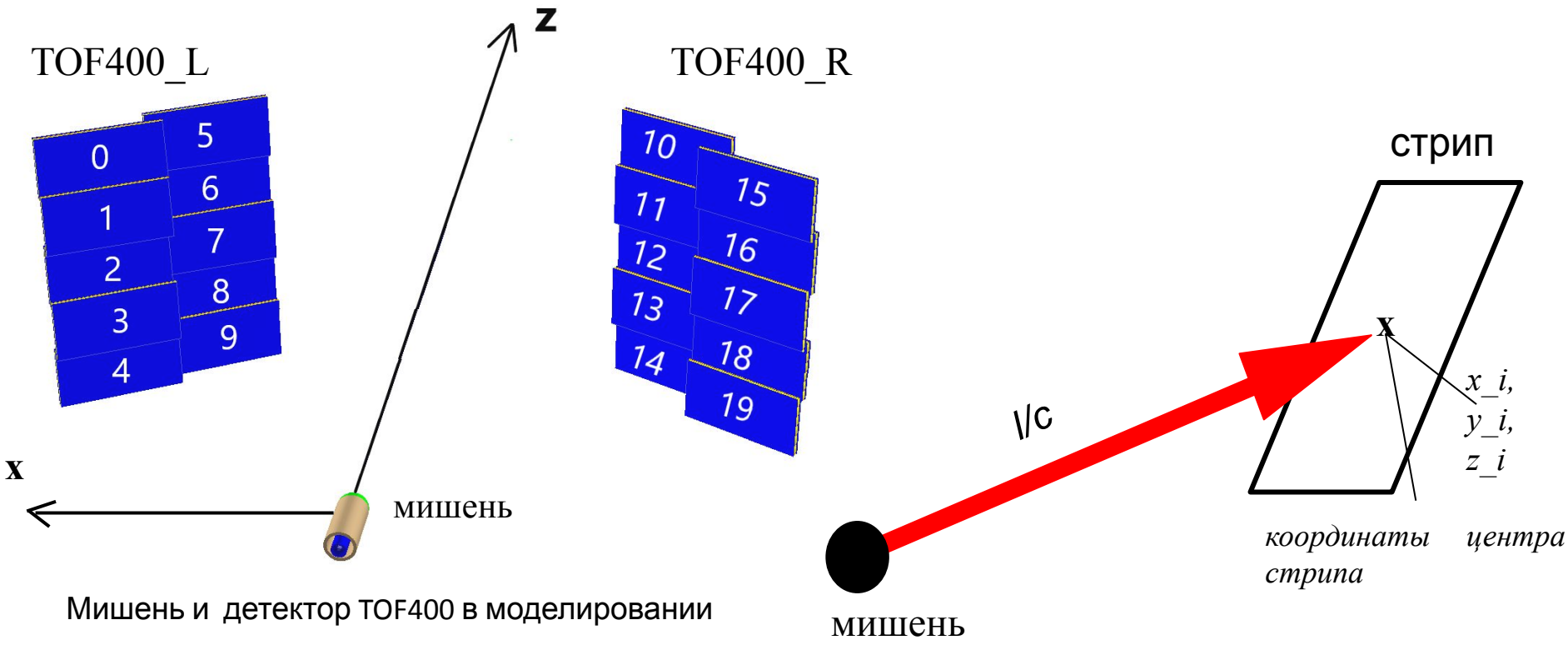
Слева показана зависимость времени пролёта от амплитуды TOF400. Справа – граф, использующийся для процедуры коррекции время-амплитудной зависимости системы детектора TOF400. Пример для плоскости 7 стрипа 1

Результат время-амплитудной коррекции



Зависимость времени пролёта от амплитуды TOF400: слева – до выравнивания, справа - после. Пример для плоскости 5 стрипа 4

Времяпролётная коррекция - этап 1

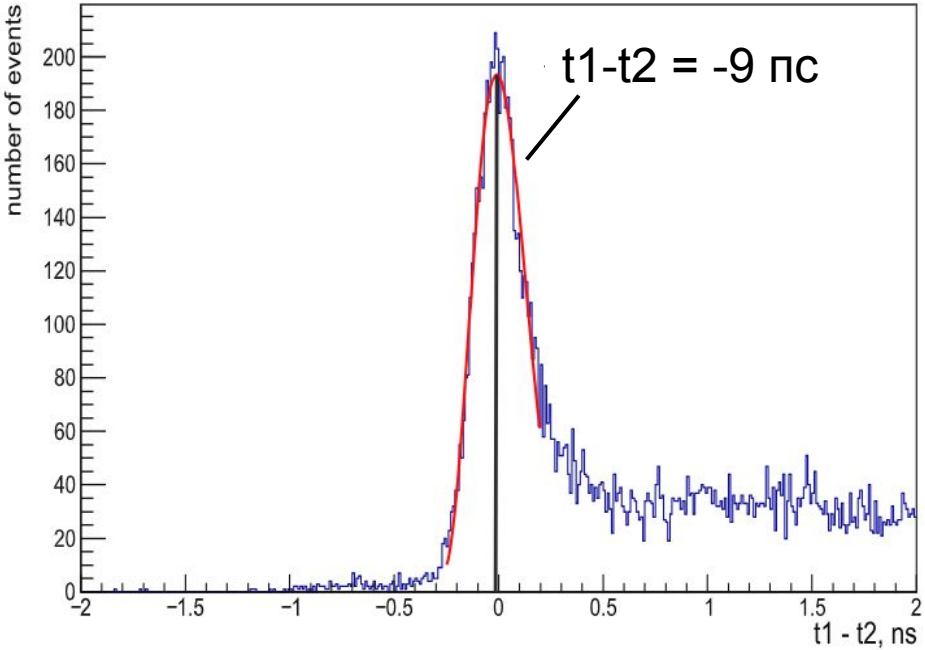


Мишень и детектор TOF400 в моделировании

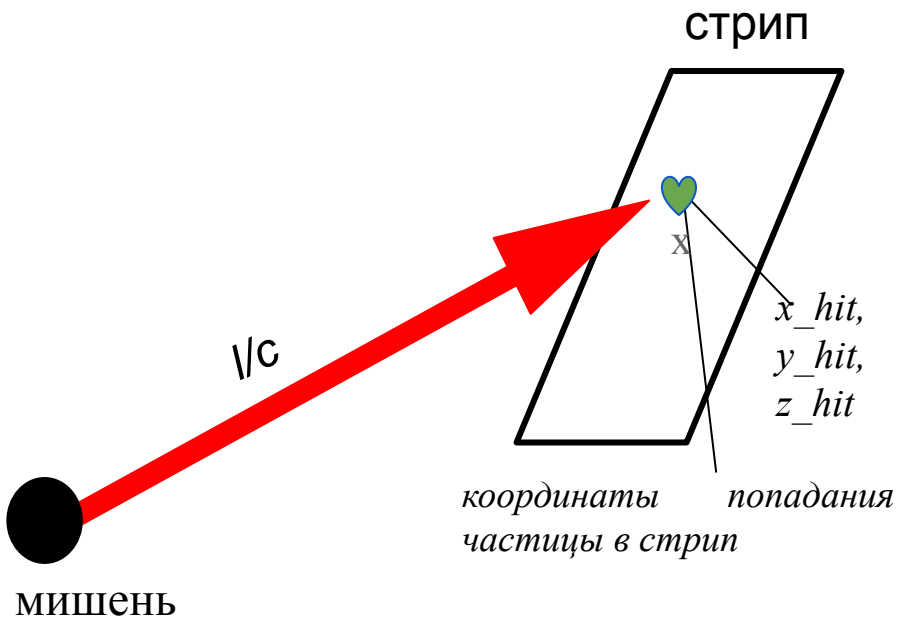
Времяпролётная коррекция - этап 2

t1 - время, зарегистрированное детектором TOF400 [ns]

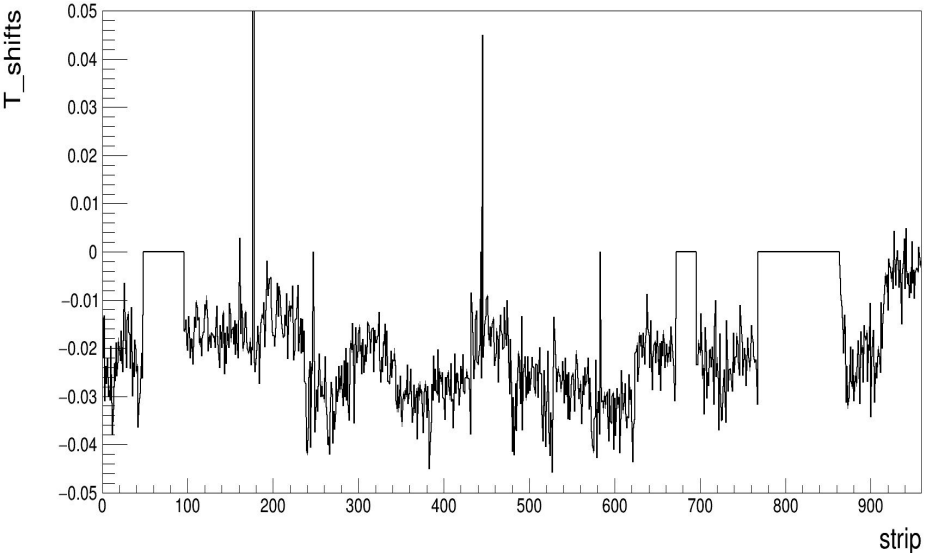
t2 - время, вычисленное на основании координат попадания частицы в стрип и положения мишени через скорость света

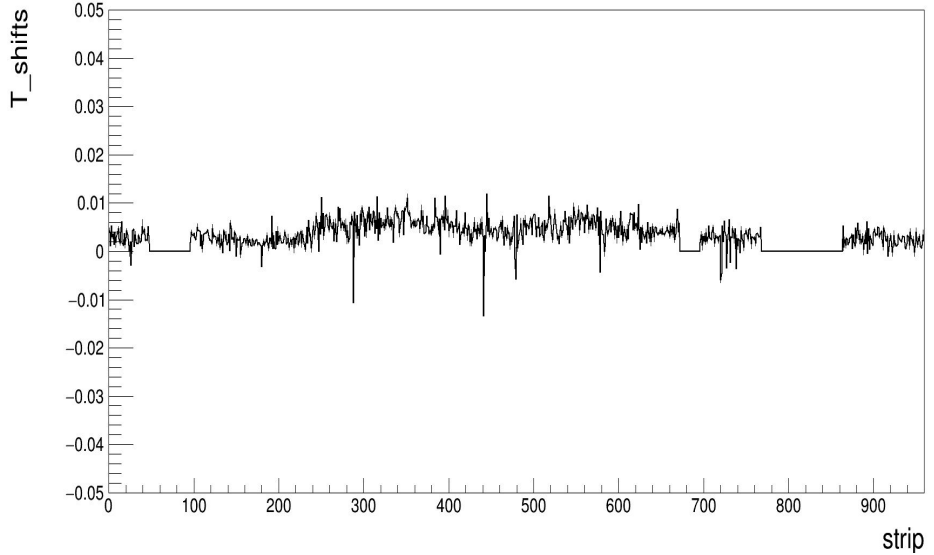


Распределение разницы (t1-t2) для плоскости 4 стрипа 16.
Положение пика характеризует времяпролётную поправку



Результат выполнения времяпролётной коррекции

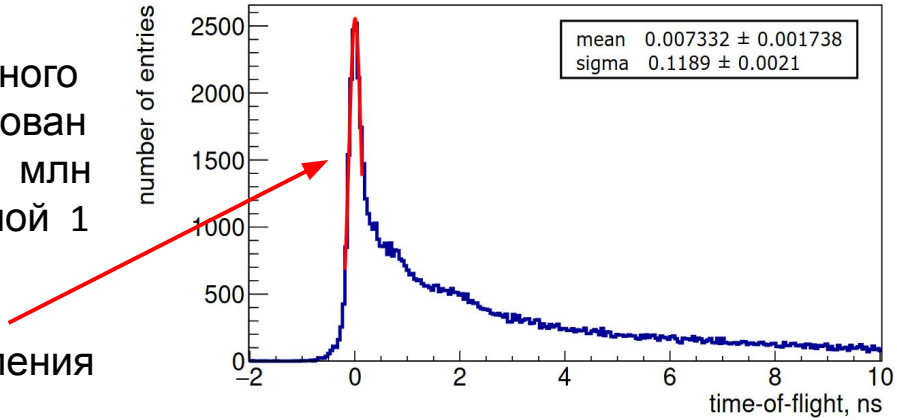




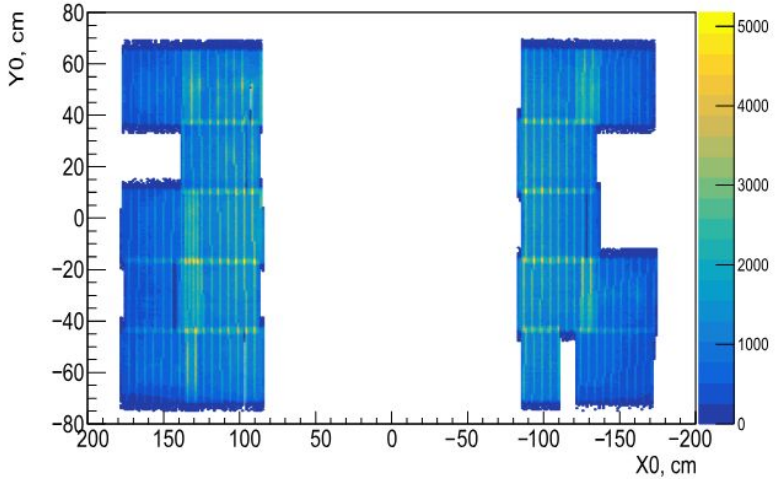
Положение пика распределения разниц между временем t1 и t2 (*T_shift)* для всех стрипов: слева - до калибровки, справа - после.
Области, где *T_shift* = 0, соответствуют стрипам с недостаточной статистикой

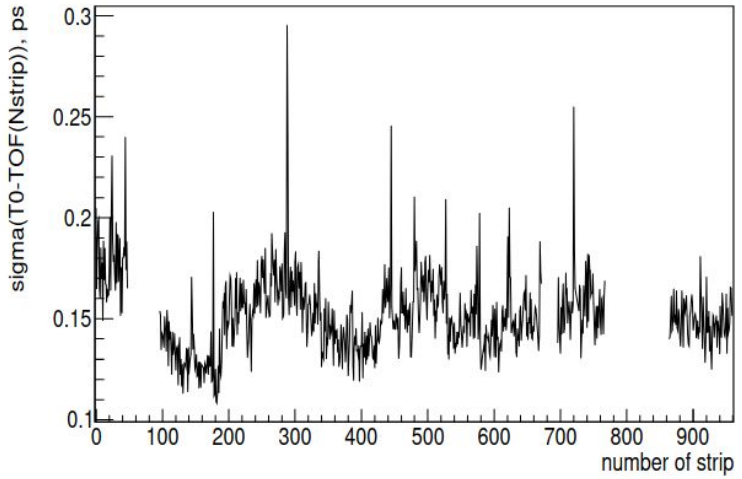
Временное разрешение

Для оценки временного разрешения измеренного времени пролета между T0 и TOF400 был использован специальный калибровочный набор данных из 20 млн событий с одиночной свинцовой мишенью толщиной 1 мм.



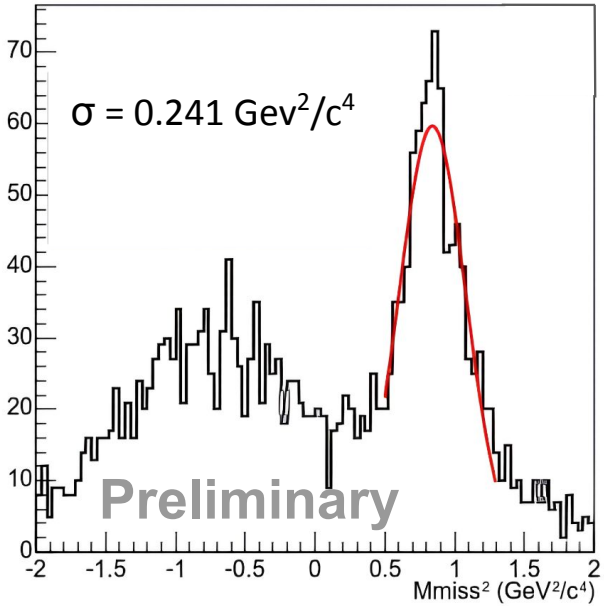
Большинство стрипов имеют ширину пика распределения времени пролёта для быстрых частиц около **150** пс.



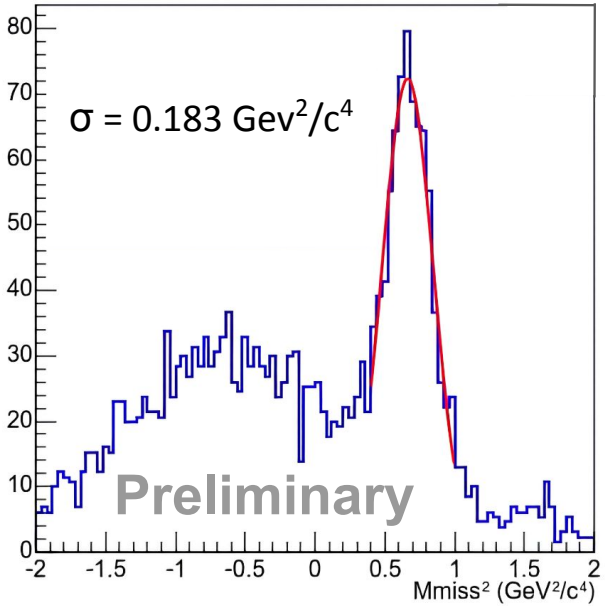


Реконструкция Pmiss

Первичная калибровка



Новая калибровка



После применения калибровок улучшилось разрешение величины недостающей массы с σ = 0,241 ГэВ^2/c^4 до 0,183 ГэВ^2/c^4 (на 24 %).

Выводы

- ★ определены время-амплитудные коррекции для стартового сигнала с использованием 4 каналов T0 и для системы TOF400;
- ★ вычислены времяпролётные поправки, необходимые для получения реального времени пролёта;
- ★ рассмотрена возможность применения время-амплитудной коррекции с каналов с большой статистикой для каналов с недостаточной статистикой;
- ★ большинство стрипов имеют ширину пика распределения времени пролёта для быстрых частиц около 150 пс.

Проведенная калибровка TOF400 будет использована для всех последующих физических анализов данных.

Благодарности

Коллегам – Румянцеву Михаилу Михайловичу, Седых Сергею Александровичу, Пиядину Семену Михайловичу, Йоханссону Горану

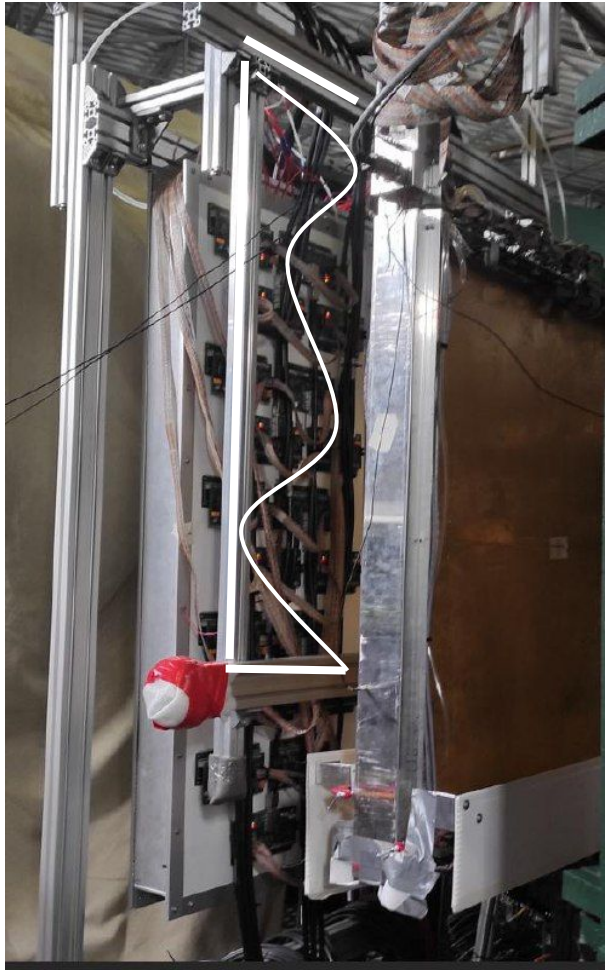
Руководителям – Пацюк Марии Александровне, проф. Эли Пясецкому



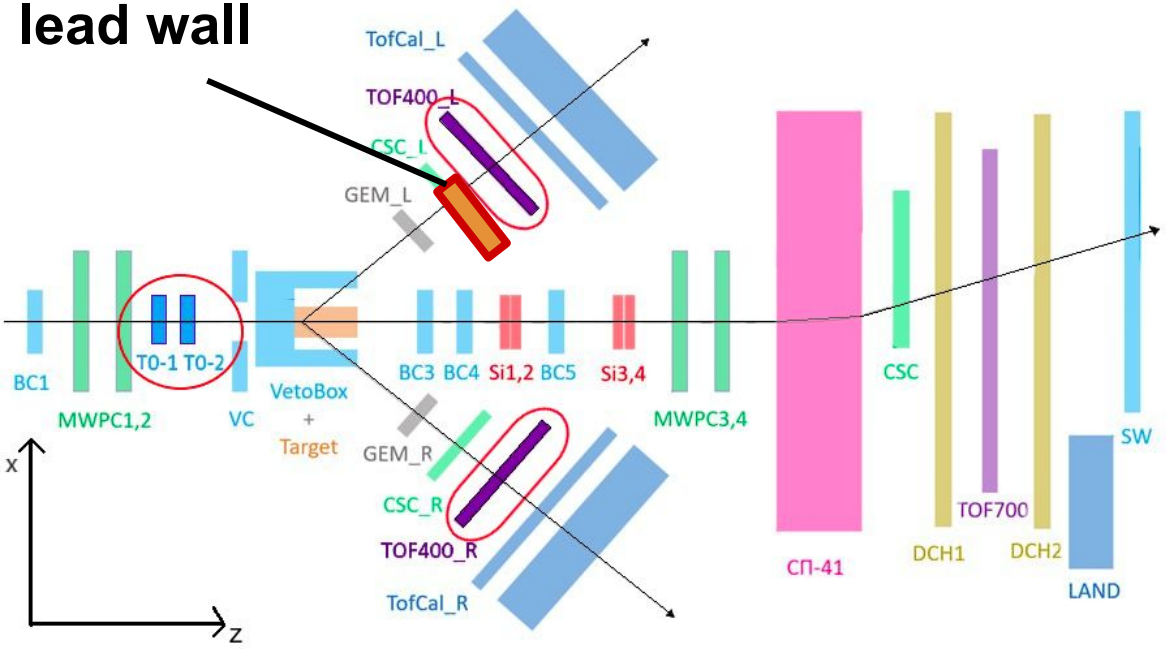
Спасибо за внимание!



BACKUP



Frame for the lead wall on the left arm



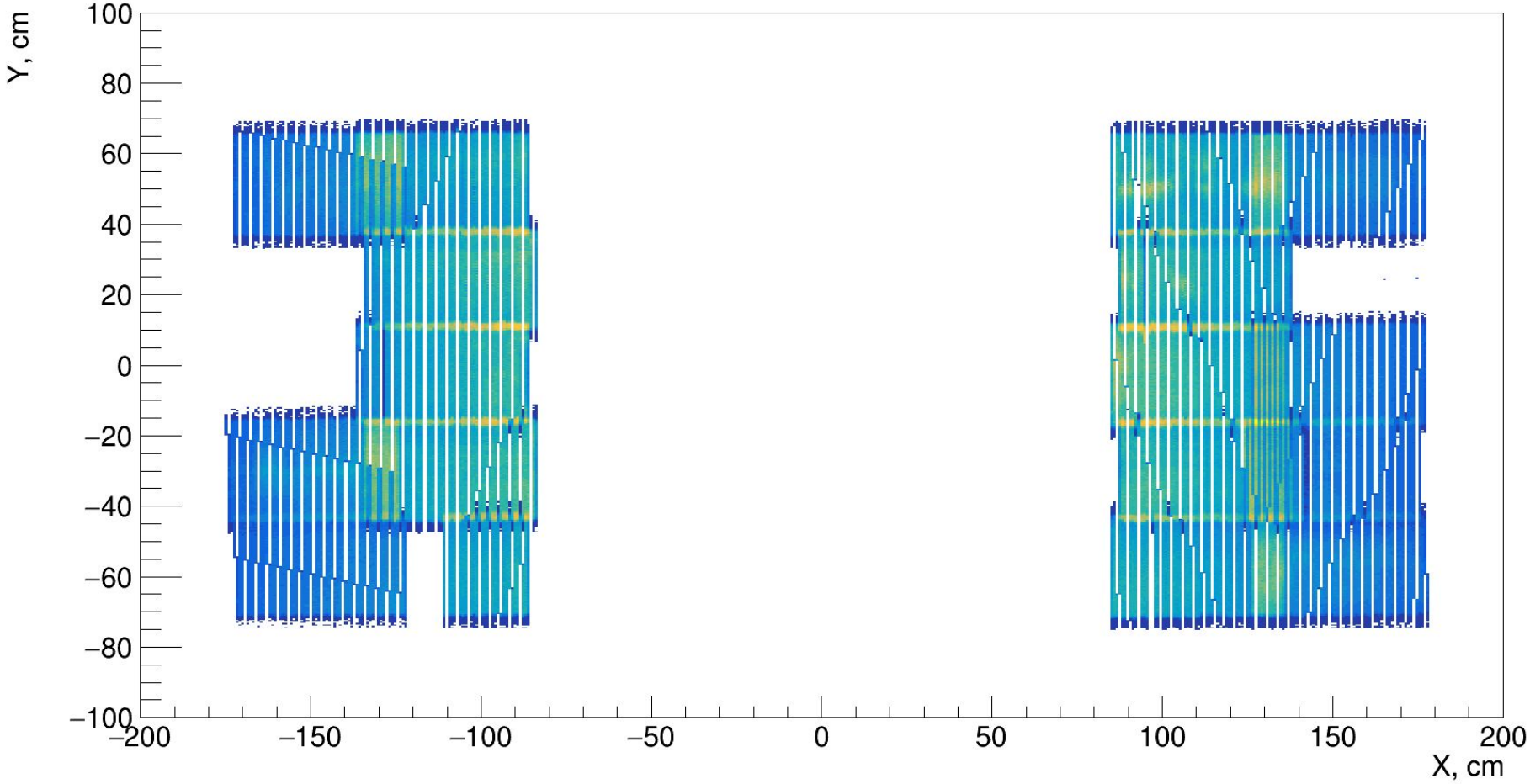
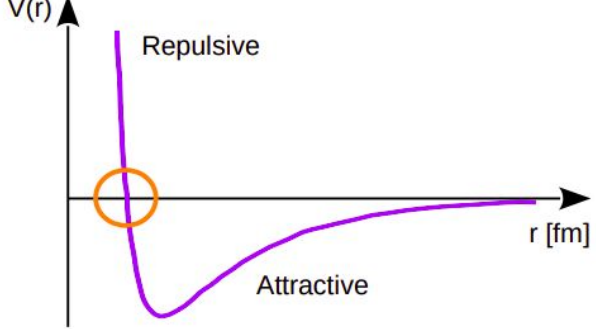

Y, cm
100
80
60
40
20
0
−20
−40
−60
−80
−100
−200
−150
−100
−50
0
50
100
150
200
X, cm

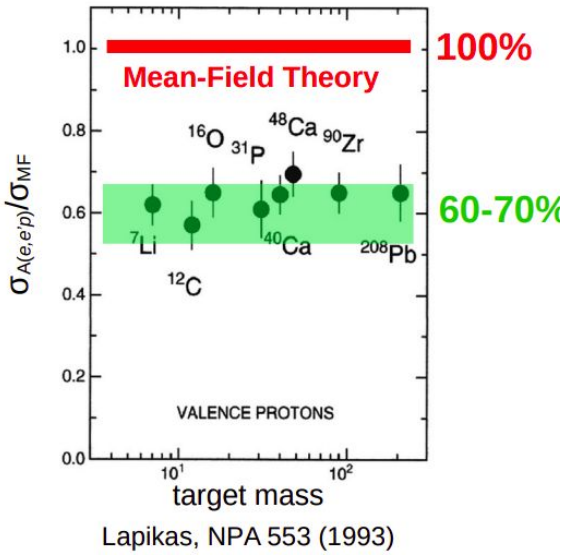
Таблица 1: Параметры используемого детектора MRPC

Ширина газового зазора	200 мкм
Количество зазоров в детекторе	15 шт
Газовая смесь	$C_2H_2F_4$ (90%) + SF_6(5%) + C_4H_{10}(5%)
Напряженность электрического поля в зазоре	115 кВ/см
Активная область	30*60 $см^2$
Размер и количество считывающих электродов	48 полосок размером 60*1 $см^2$

Детектор MRPC состоит из трёх отсеков, разделённых печатными платами. На внутренних печатных платах вытравлены считывающие электроды в виде длинных полосок (стрипов). Каждый отсек представляет собой сборку из 6 стёкол, разделённых леской. Стёкла выполняют роль резистивных электродов, в то время как леска формирует между стеклами пять равномерных газовых зазоров. Внешние стороны внешних стёкол каждого отсека покрыты токопроводящей краской. При подаче высокого напряжения на токопроводящий слой в газовых зазорах детектора формируется равномерное электрическое поле.

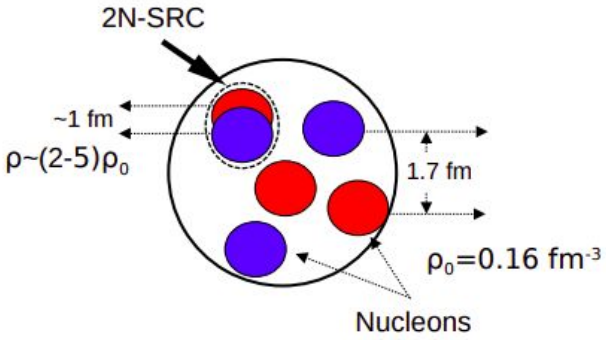


- Dominated by the **scalar interaction**
- Scalar ➔ 0: strong **tensor attraction**
  spin/isospin dependent



Lapikas, NPA 553 (1993)

- Nucleon pairs in close proximity

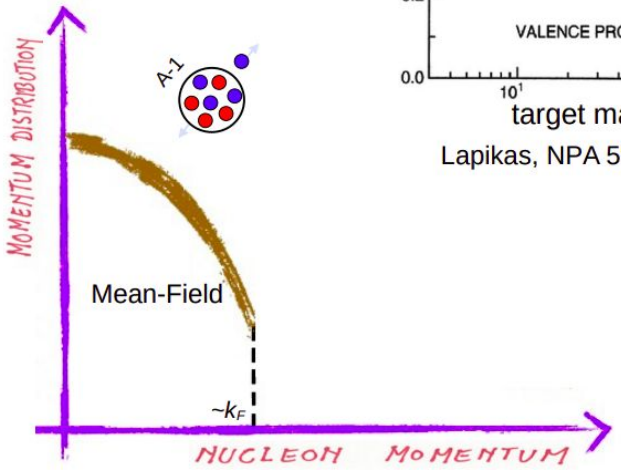


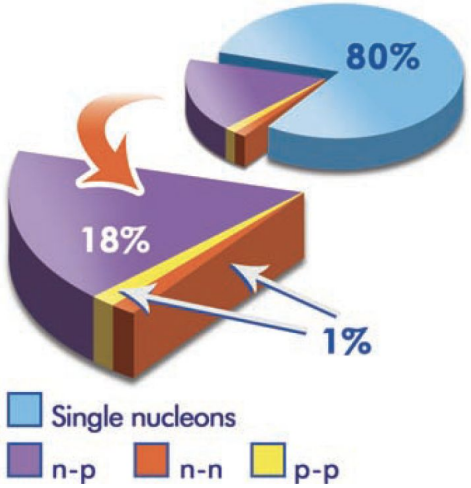
Nuclear Shell Model

Wigner, Mayer and Jensen
1963 Nobel Prize

1st successful description

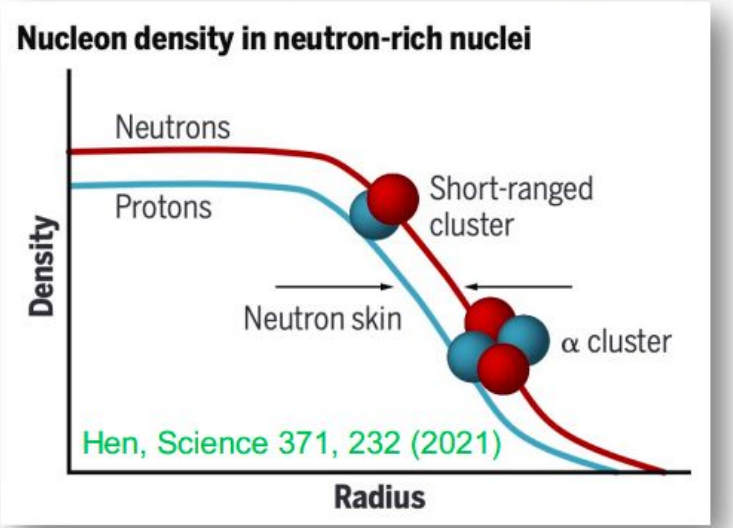
- ground-state energies
- excitation spectra
- ...





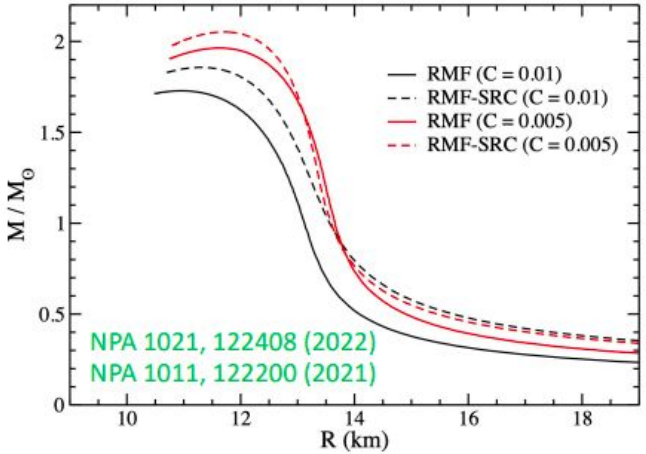
➢ Studying SRC is important

- ❑ Short-Range forces are the extreme cases of NN & NNN forces
- ❑ SRC could be important in forming neutron-rich nuclei



- ❑ SRC in forming ultra-heavy neutron stars?

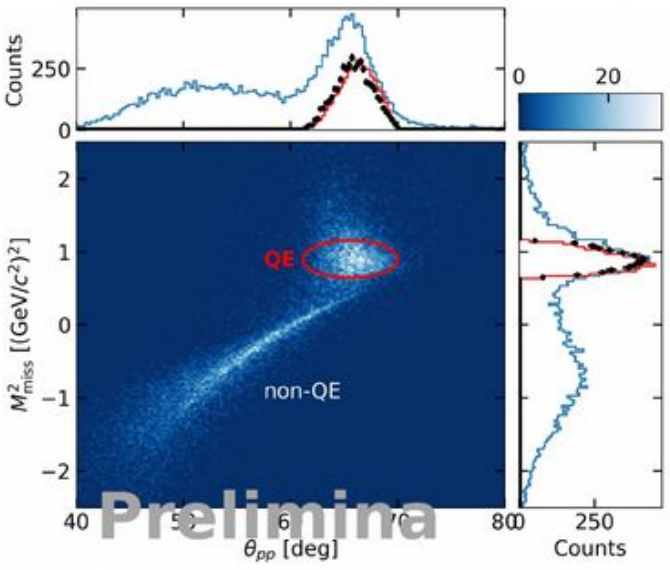




- ❑ SRC in the mass matrix for neutrino-less double beta decay?

Wang, Zhao, Meng, arXiv: 2304.12009, Song, Yao, Ring, Meng, Phys. Rev. C **95**, 024305

Quasi-Elastic identification
$^{12}C(p,2p)^{11}B$



Two single tracks in the arms, 11B, incoming 12C
Reaction vertex within the target
Velocity cut
2d Mmiss2 vs. angle between protons cut

1% uncertainty was estimated as leakage of non-QE events in the red ellipse
Total bkg estimation (2.5 +-2.2) %