## Методические исследования работы сцинтилляционных счетчиков во время эксперимента SRC на BM@N 2022 года

Черепанов Степан







#### Короткодействующие двухнуклонные корреляции (КДК)



•КДК имеют большой относительный импульс и малый импульс центра масс

•Нейтрон-протонных пар примерно в 10 раз больше, чем пар с одинаковыми нуклонами

•Учёт КДК приводит к тому, что в нейтроноизбыточных ядрах средняя кинетическая энергия протонов больше средней кинетической энергии нейтронов

**P**<sub>rel</sub>

### Эксперимент SRC 2022 на ВМ@N

- Эксперимент в обратной кинематике
- Преимущества:
- Возможность изучения свойств остаточного ядра
- Первый шаг к изучению нейтроноизбыточных радиоактивных ядер



#### Исследуемые реакции:

- 1.  ${}^{12}C(p, np){}^{10}B$ ,
- 2. <sup>12</sup>C(p, 2p)<sup>10</sup>Be,
- 3. <sup>12</sup>C(p, np) fragments,
- 4. <sup>12</sup>C(p, 2p) fragments



## Детекторы, исследуемые в данной работе

Т0-(1,2); ВС(3,4,5) – сцинтилляционные счётчики МWPС –многопроволочная пропорциональная камера (координаты приходящих ядер и фрагментов) Si – кремниевый детектор (координаты фрагментов)

	T0-1,2	BC3,4	BC5
Сцинтиллятор	BC418	BC408	BC408
Размеры, мм <sup>3</sup>	60x60x1	100x100x3	100x100x5
Световод	Плексиглас	Плексиглас	Плексиглас
ФЭУ	XPM85112/ A1-Q400	Hamamatsu R7724	Hamamatsu R7724



MWPC1,2



PMT	light guide	scintillator	light guide	PMT



#### Фотографии сцинтилляционных счётчиков



#### Анализ сигнала ВС счетчиков и идентификация заряда



## Структура

- Координатная коррекция (Т01,Т02,ВС3,ВС4,ВС5)
- TQDC-коррекция (BC3,BC4,BC5)
- Проверка линейности ФЭУ (BC5)
- Проверка стабильности амплитуды внутри спила (T01,T02,BC3,BC4,BC5)
- Проверка пассивного магнитного экранирования из железа для ФЭУ в плечевых спектрометрах в эксперименте
- Изучение и коррекция стабильности работы сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла

### Координатная коррекция

Восстановление трека ионов проводилось с помощью кремниевых микростриповых детекторов Si1,2,3,4 и многопроволочных пропорциональных камер МWPC3,4. Трек частицы определялся вектором, состоящим из координат x0, y0, z0 = -423,2 см и тангенсов углов Тх, Ту. Координаты точки падения частицы на сцинтиллятор рассчитывались путем экстраполяции ионного трека:

$$x_{T01} = x_0 + (z_{T01} - z_0)T_x,$$
  

$$y_{T01} = y_0 + (z_{T01} - z_0)T_y$$



#### Профили амплитуд для разных ФЭУ условия:

1) Ядро углерода прошло через все пять счетчиков

2) Шаг = 0.1 см по x и по y,

3) Больше 100 событий в каждой ячейке графика



Зависимость средней амплитуды от координаты точки попадания частицы в сцинтиллятор для T01\_1



Зависимость средней амплитуды от координаты точки попадания частицы в сцинтиллятор для T01\_0

# Амплитудное разрешение детекторов до (R) и после (R\_cor) коррекции

	T01_0	T01_1	T01_geom	T02_0	T02_1	T02_geom
R, %	77.15	49.06	25.27	98.65	70.76	28.79
R_cor, %	33.56	25.77	24.72	40.59	30.82	26.53

	BC3_0	BC3_1	BC3_geom	BC4_0	BC4_1	BC4_geom	BC5_0	BC5_1	BC5_geom
R, %	15.91	17.57	14.03	16.54	19.62	14.88	15.09	14.48	13.40
R_cor, %	14.56	14.40	13.51	14.58	14.62	13.79	13.91	13.31	13.17

Где  $R = \Delta Amp/Amp_{mean}$ , под geom понимается среднее геометрическое от двух счётчиков  $\sqrt{BC_0}Amp \cdot BC_1Amp$ 

# Распределение амплитуды до и после коррекции для T01\_0



## Структура

- Координатная коррекция (Т01, Т02, ВС3, ВС4, ВС5)
- ТQDС-коррекция (ВС3,ВС4,ВС5)
- Проверка линейности ФЭУ (ВС5)
- Проверка стабильности амплитуды внутри спила (T01,T02,BC3,BC4,BC5)
- Проверка пассивного магнитного экранирования из железа для ФЭУ в плечевых спектрометрах в эксперименте
- Изучение и коррекция стабильности работы сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла

#### Оцифровка сигнала со сцинтилляционных счетчиков



#### Оцифровка сигнала со сцинтилляционных счетчиков



#### TQDC-коррекция до коррекции

После коррекции



# Амплитудное разрешение детекторов до (R) и после (R\_cor) коррекции

	BC3_0	BC3_1	BC3_geom	BC4_1	BC4_2	BC4_geom	BC5_0	BC5_1	BC5_geom
R, %	17.9	18.2	14.6	17.1	19.2	15.0	17.5	16.7	15.1
R_cor, %	17.3	17.4	14.2	16.9	18.8	14.4	17.0	15.8	14.8



## Структура

- Координатная коррекция (**Т01, Т02**, ВС3, ВС4, ВС5)
- TQDC-коррекция (BC3,BC4,BC5)
- Проверка линейности ФЭУ (ВС5)
- Проверка стабильности амплитуды внутри спила (T01,T02,BC3,BC4,BC5)
- Проверка пассивного магнитного экранирования из железа для ФЭУ в плечевых спектрометрах в эксперименте
- Изучение и коррекция стабильности работы сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла

### Проверка линейности ФЭУ



Амплитудное распределение для ВС5

Относительная ошибка рассчитывалась по формуле:

$$rac{|A_{
m pred} - A_{
m exp}|}{A_{
m pred}}$$

#### Верхний ФЭУ ВС5

	<b>L</b>				
Эксп	Предсказание	Отн. ошибка, %	Z <sup>2</sup> Eff		
131.26	131.26	-	1(H)		
266.97	262.52	1.66	2(2p)		
526.43	525.04	0.26	4(He)		
679.72	656.30	3.45	5(He+p)		
1175.4	1181.3	0.50	9(Li)		
2140.1	2100.2	1.90	16(Be)		
3233.6	3281.5	1.48	25(B)		
4475.6	4725.4	5.58	36(C)		
<b>Amb, a.u.</b> 3000 2000	Prediction     Experiment	20 25 30	35		
Линейная зависимость амплитуды от Z <sup>2</sup> eff 15					

## Структура

- Координатная коррекция (Т01, Т02, ВС3, ВС4, ВС5)
- TQDC-коррекция (BC3,BC4,BC5)
- Проверка линейности ФЭУ (BC5)
- Проверка стабильности амплитуды внутри спила (T01,T02,BC3,BC4,BC5)
- Проверка пассивного магнитного экранирования из железа для ФЭУ в плечевых спектрометрах в эксперименте
- Изучение и коррекция стабильности работы сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла

#### Проверка стабильности амплитуды внутри спила

Amplitude stability of BC3\_1, BC3\_2, BC3\_SUM



#### Итоги

• Координатная коррекция, значительно улучшила амплитудное разрешение для сигналов с отдельных ФЭУ. Однако, для среднего геометрического сигналов двух ФЭУ общее улучшение амплитудного разрешения оказалось небольшим.

• TQDC-коррекция, показала незначительное улучшение амплитудного разрешения сцинтилляционных счётчиков.

• Также была проверена линейная зависимость амплитуды сигнала от квадрата эффективного заряда и стабильность амплитуды внутри спила.

#### Экспериментальная установка



(а) Технический рисунок одного массива ТоF в рамке с 15 сцинтилляторными счетчиками и 30 ФЭУ. (b) 3D-модель экспериментальной установки с анализирующим магнитом SP-41 и расположенными рядом с ним слоями ТоF и калориметрами. (c) 3D-модель, показывающая рамку для ТоF-слоя с одним модулем сцинтиллятора и металлическим коробом вокруг ряда PMT.

## Амплитудное распределение с магнитным полем и без него



<sup>12</sup>С на входе, Q < 4 на выходе</li>
Регулярное магнитное поле (до выключения магнитного поля - Run\_3238\_Digi)
Магнитное поле отсутствует (Run\_3239\_Digi)
Регулярное магнитное поле (после выключения магнитного поля - Run\_3240\_Digi)



<sup>12</sup>С на входе, Q < 4 на выходе

Регулярное магнитное поле (до выключения магнитного поля) Магнитное поле отсутствует Регулярное магнитное поле (после выключения магнитного поля)

### Оценка максимального отклонения сигнала



Статистика хи-квадрат для бинов гистограммы определяется как:  $\chi^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n} \frac{(\nu_i - \nu_i^{\exp})^2}{\nu_i^{\exp}}$ 

где:  $v_i$  это число событий в і бине,  $v^{exp}_i$  это число событий в і бине для Run без поля, n это число бинов.  $k_I = I/I_0$ ,  $I_0$  это начальная интенсивность, I это искуственно измененная амплитуда, n-1 это количество степеней свободы.

Бины где v<sup>ехр</sup><sub>i</sub> < 10 были исключены из суммирования

#### Итоги

Анализ подтверждает, что система пассивного магнитного экранирования ФЭУ, эффективно защищает от остаточного магнитного поля до 25 Гаусс. При всех испытательных условиях не наблюдалось снижения амплитуды или нестабильности в работе ФЭУ.

## Структура

- Координатная коррекция (Т01, Т02, ВС3, ВС4, ВС5)
- TQDC-коррекция (BC3,BC4,BC5)
- Проверка линейности ФЭУ (BC5)
- Проверка стабильности амплитуды внутри спила (T01,T02,BC3,BC4,BC5)
- Проверка пассивного магнитного экранирования из железа для ФЭУ в плечевых спектрометрах в эксперименте
- Изучение и коррекция стабильности работы сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла

# Зависимость координаты максимума пика от номера файла











#### Итоги

• В результате проведённого анализа была исследована стабильность амплитудного сигнала сцинтилляционных счётчиков в зависимости от номера файла. Были выделены устойчивые участки с постоянной амплитудой, а также обнаружены файлы с отклонениями от основной зависимости. Часть таких файлов была исключена из рассмотрения, другие — выделены отдельно и обработаны с учётом их особенностей.

• Далее во первых планируется провести аппроксимацию, с помощью полиномов, стабильных участков и участков с особенностями и применить эту аппроксимацию, чтобы выровнять амплитудную зависимость на одно значение. Во вторых планируется сравнить эффективность счетчиков до и после коррекции.

## Спасибо за внимание!

### Научные руководители:



Мария Пацюк



#### Тимур Атовуллаев



Сергей Седых

#### Normalization of the carbon peak to a value of 4500 a.u.



The two upper distributions correspond to signals from the top PMTs before and after normalization, while the two lower distributions correspond to the bottom PMTs before and after normalization, respectively.

The carbon peak for BC3\_(1,2) was selected using the condition:  $4400 < \sqrt{BC4_0} Amp \cdot BC4_1 Amp < 5400$ &&  $4400 < \sqrt{BC5_0} Amp \cdot BC5_1 Amp < 5400$ 

For the remaining PMTs, the procedure was analogous

### Coordinate correction

	T01_SUM	T02_SUM	BC3_SUM	BC4_SUM	BC5_SUM
R, %	24.91	32.74	14.21	15.72	13.81
R <u>_cor</u> , %	23.03	25.69	13.66	14.18	13.16

#### **TQDC-correction**

	BC3_SUM	BC4_SUM	BC5_SUM
R, %	14.8	15.3	15.7
R_corr, %	14.1	14.4	15.0





# Amplitude distributions as a function of the hit position coordinates

#### Condition:

• nTracks == 1

