



# ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПА СІ-38 ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ОТКЛИКА ТАЙЛОВ ДЕТЕКТОРА ВВС SPD

Научный руководитель: Ф.А. Дубинин,  
ст. преподаватель

Студент: А.В. Золотаревский

# Коллайдер NICA и эксперимент SPD

NICA (Nuclotron based Ion Collider fAcility) – ускорительный комплекс, организованный на базе Объединённого института ядерных исследований (Дубна, Россия) для изучения спиновой структуры протона и дейтрона. На ускорителе предполагается наличие двух точек пересечения пучков заряженных частиц, в одной из которых планируется установка детектора SPD.

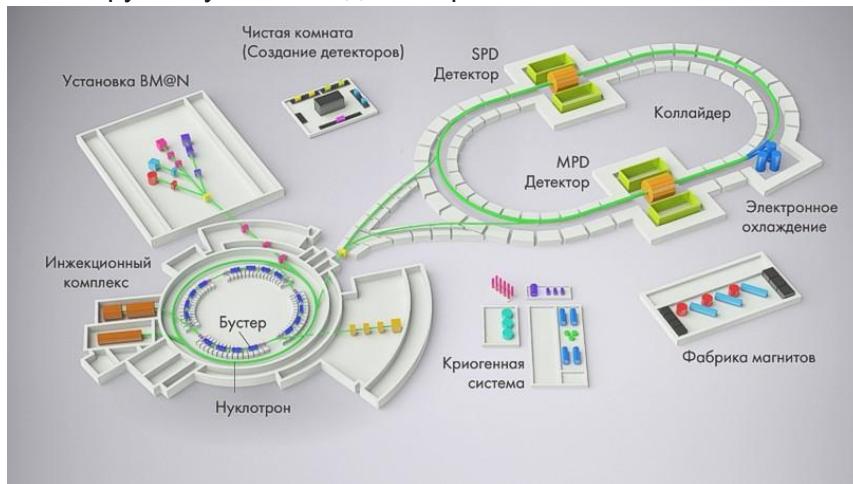


Схема коллайдера NICA

Spin Physics Detector (SPD) представляет собой универсальную установку, предназначенную для изучения спиновой структуры нуклонов и иных спиновых эффектов. Её ключевая особенность — использование столкновений поляризованных пучков протонов и дейтронов.

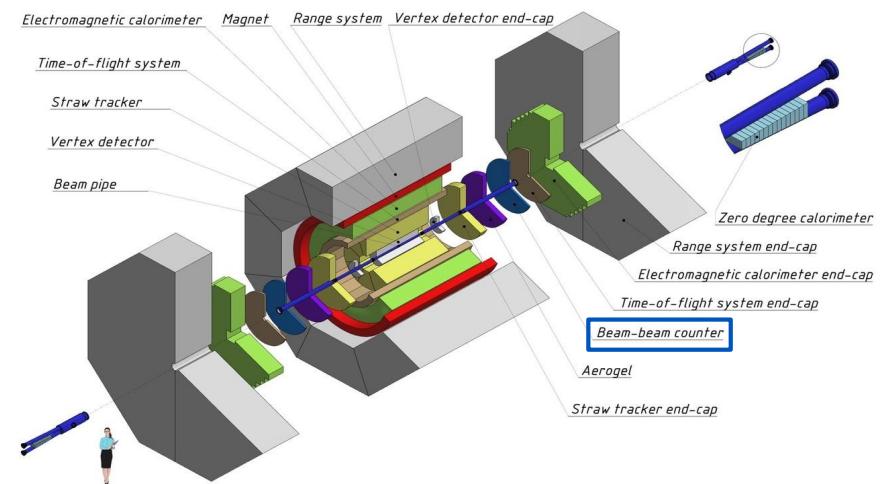


Схема эксперимента SPD

# Детектор Beam-Beam Counter (BBC)

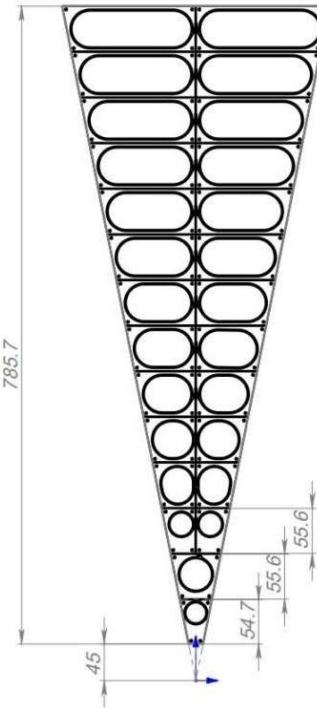
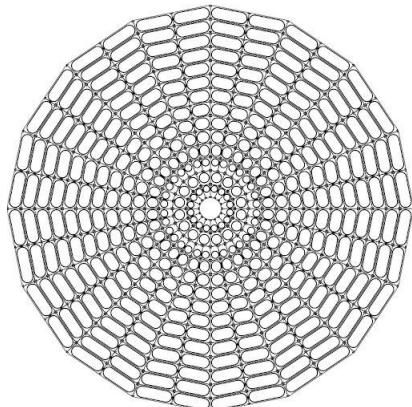


Схема сектора BBC



Полный круг детектора BBC

Основная цель BBC — постоянный мониторинг поляризации пучка с использованием азимутальной асимметрии выхода заряженных частиц, а также мониторинг столкновений пучков. Детектор представляет собой совокупность 16 секторов, каждый из которых состоит из 26 тайлов, представляющих собой пластиковые сцинтилляторы трапециевидной формы.

- пластиковый сцинтиллятор толщиной 1 см
- съём света при помощи спектросмещающего волокна
- регистрация света с помощью SiPM

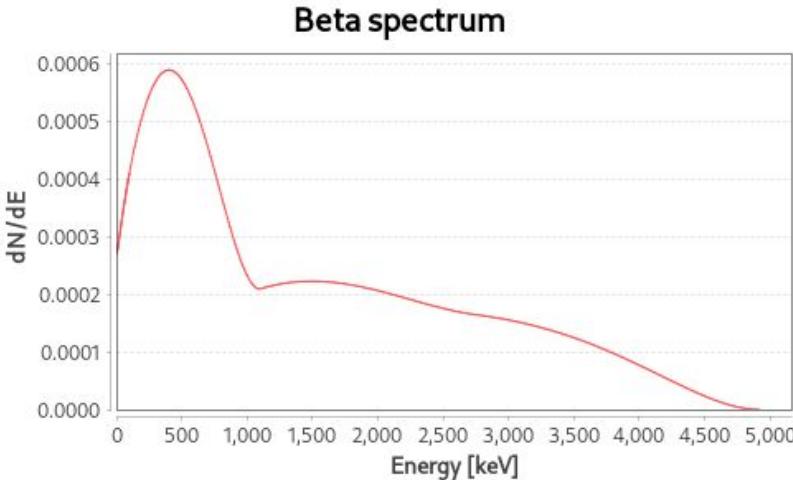
# Цель и задачи

**Целью работы** является исследование возможности применения изотопа  $^{38}\text{Cl}$  для калибровки отклика тайлов детектора BBC SPD.

## Задачи:

1. Произвести расчёт наработанного в результате облучения нейтронным источником количества выбранного изотопа  $^{38}\text{Cl}$
2. Провести измерения с данным изотопом, проанализировать возможность его использования для калибровки отклика тайлов.

# Хлор-38



Реакция образования  $^{38}\text{Cl}$ :

$^{37}\text{Cl} + n$  (тепловой)  $\rightarrow ^{38}\text{Cl}$ ;  $\sigma = 0.43$  барн - сечение реакции захвата теплового нейтрона атомом  $^{37}\text{Cl}$

Реакция распада  $^{38}\text{Cl}$ :



Состав природного хлора:

- $^{35}\text{Cl}$  – примерно 75.8%
- $^{37}\text{Cl}$  – примерно 24.2%

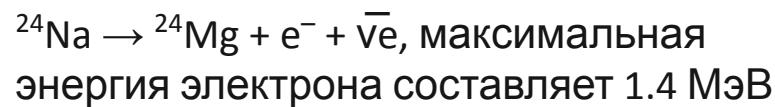
$T_{1/2} = 37.2$  минуты – период полураспада  $^{38}\text{Cl}$

Выбор  $\text{NaCl}$  обусловлен доступностью его покупки

Натрий также захватывает нейтроны:

$^{23}\text{Na} + n$  (тепловой)  $\rightarrow ^{24}\text{Na}$ ;  $\sigma = 0.53$  мбарн - сечение реакции захвата теплового нейтрона атомом  $^{23}\text{Na}$

Реакция распада  $^{24}\text{Na}$ :



# Расчёт наработанного количества атомов $^{38}\text{Cl}$

Для нахождения характерного количества атомов  $^{38}\text{Cl}$ , получаемых при облучении NaCl источником нейтронов, можно составить дифференциальное уравнение:

$dN/dt = R - \lambda N$  — уравнение баланса между распадом и наработкой изотопа, где

$R$  - скорость наработки изотопа,

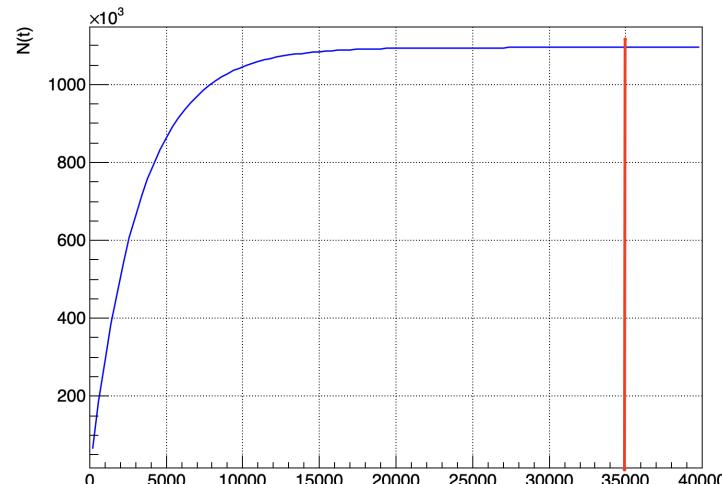
$\lambda$  - постоянная распада,

$N$  - количество атомов  $^{38}\text{Cl}$ ;

Решение этого уравнения при  $t \rightarrow \infty$ :

$$N_{\text{inf}} = R/\lambda = RT/\ln 2, \text{ где } R = 0.242 \cdot \frac{\sigma \Phi N_A m_{\text{NaCl}}}{4\pi R^2 \mu_{\text{NaCl}}}$$

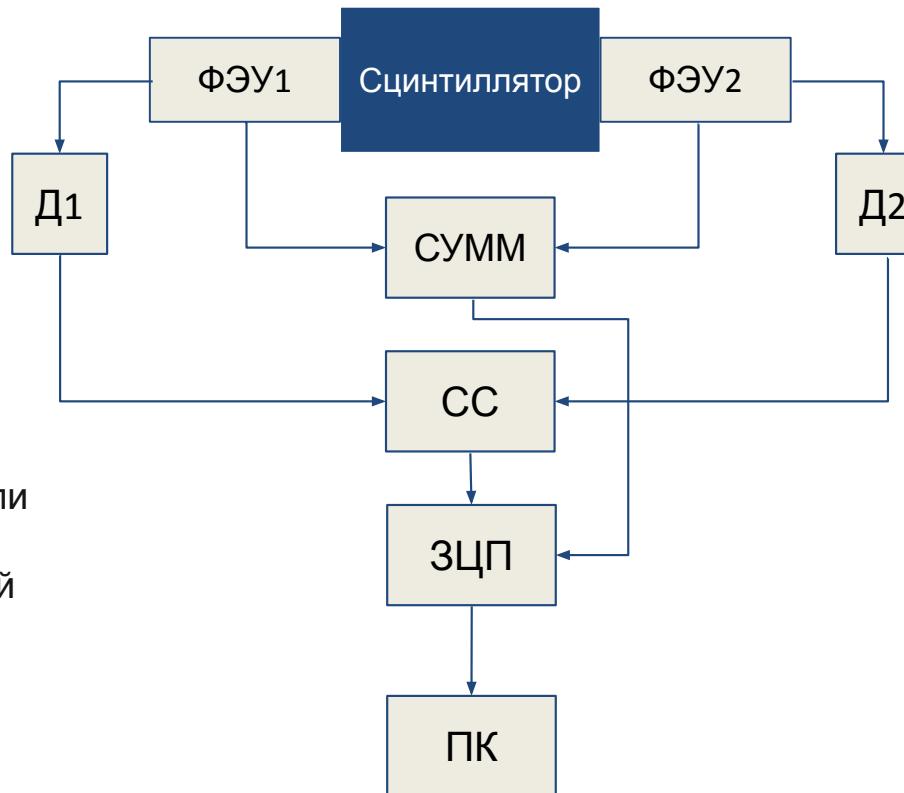
Имеем следующие условия: облучение 1 кг NaCl источником  $^{252}\text{Cf}$  с полным потоком  $10^5$  быстрых нейтронов, находящимся на расстоянии 5 см под слоем замедлителя (полиэтилен). Построен график зависимости числа атомов  $^{38}\text{Cl}$  от времени облучения  $N(t)$ . Из него можно оценить время наработки  $t \approx 35000$  с или 10 часов



$N(t)$

$$A_{\text{теор}} = 195 \text{ Бк}$$

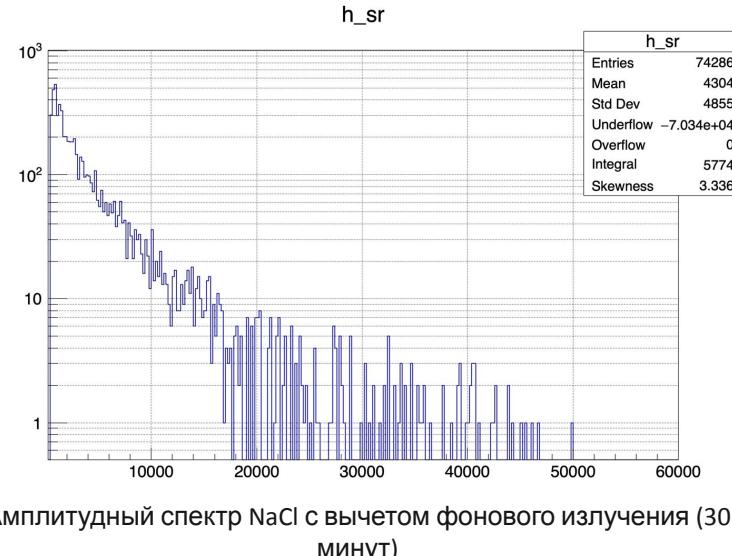
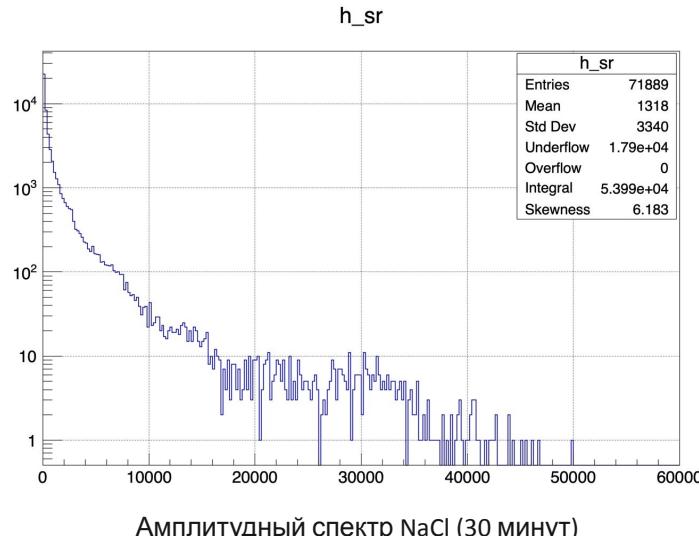
# Экспериментальная установка



ФЭУ(1,2) – Фотоумножители  
Д(1,2) – Дискриминаторы  
ЗЦП – Зарядово-цифровой преобразователь  
ПК – Компьютер  
СУММ - Сумматор  
СС - Схема совпадений

# Представление результатов

Облучение проводилось в течение 3-х суток. Измерения проводились на образце массой  $m = 430$  г толщиной  $d \approx 2$  см



Количество событий  $N = 5774$  за 30 минут.

$n = 4.8 \pm 0.7$  имп/сек

$n_{\text{расч}} = 98$  имп/сек без учёта вероятности выхода  
электронов

# Заключение

В ходе измерений удалось зарегистрировать импульсы, приходящие от  $^{38}\text{Cl}$ , однако скорость счёта была низкой и составила:

$$n = (4.8 \pm 0.7) \text{ имп/сек}$$

Изотоп  $^{38}\text{Cl}$  пригоден для калибровки отклика тайлов при условии использования источника нейтронов с потоком тепловых нейтронов больше  $10^7$

**Спасибо за  
внимание**



# Back up

# Back up

## Состав и характеристики вещества тайлов:

- polystyrene Styrolution 124N – 98.0-98.5%
- p-Terphenyl (CAS 92-94-4) – 1.5-2.0%
- POPOP (CAS 1806-34-4) – 0.01-0.04%

Light Output, % Anthracene	Decay Time, ns	Wavelength of Max. Emission, nm	Light Attenuation Length, cm (1x20x200 cm samples)	Main Applications
60–70	2.5	430	>200	$\alpha$ , $\beta$ , $\gamma$ , fast n

# Back up

$$F = \frac{\Phi}{4\pi R^2}, \quad - \text{плотность потока нейтронов}$$

$$R_a = \sigma F N_{Cl}, \quad - \text{скорость образования атомов } {}^{38}\text{Cl}$$

$$\nu_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{\mu_{NaCl}} = \nu_{Cl} = \frac{N_{Cl}}{N_A} \Rightarrow N_{Cl} = N_A \frac{m_{NaCl}}{\mu_{NaCl}}$$

$$R_a = 0.242 \cdot \frac{\sigma \Phi N_A m_{NaCl}}{4\pi R^2 \mu_{NaCl}}$$

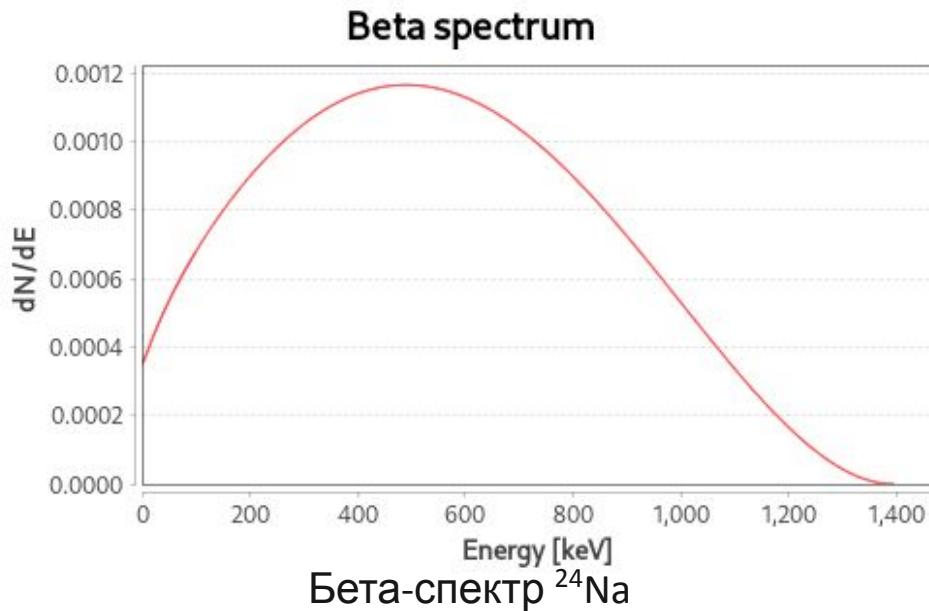
$$N = \frac{R}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad - \text{решение дифференциального уравнения}$$

$$A = \frac{N_0 \cdot \ln 2}{T_{1/2}} \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}$$

# Back up

$E_{\text{Cl}} = 4.5 \div 5 \text{ МэВ}$

$E_{\text{Na}} = 1.3 \div 1.4 \text{ МэВ}, T_{1/2} = 15 \text{ часов}$



# Back up



CAEN FERS-5200

CAEN FERS-5200 – это система предварительной обработки данных, которая используется в экспериментальной физике для сбора данных с большого массива детекторов.

# Back up

Расчётная активность  $^{38}\text{Cl}$ ,  
наработанного при облучении NaCl  
источником нейтронов  $^{252}\text{Cf}$  составляет:

$$A_{\text{теор}} = 195 \text{ Бк}$$

Тогда в телесном угле  $2\pi$  должно  
регистрироваться около 98 имп/сек без  
учёта выхода электронов, так как, ввиду  
того, что источник имеет значительную  
толщину, выход значительно снижен.