



ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ИЗОТОПА Cl-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.

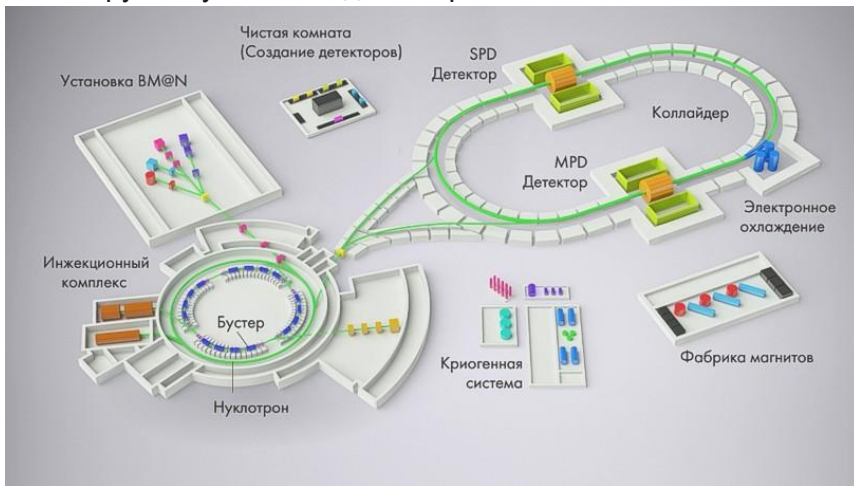


Схема коллайдера NICA

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.

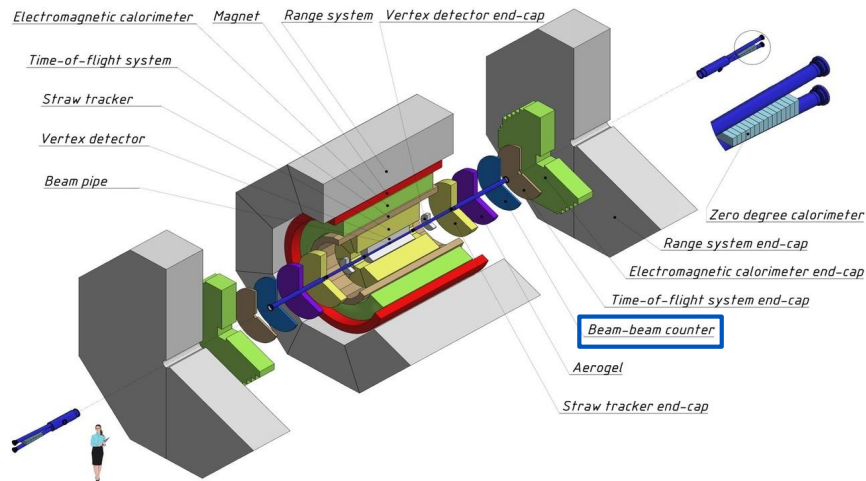


Схема эксперимента SPD

Детектор Beam-Beam Counter (BBC)

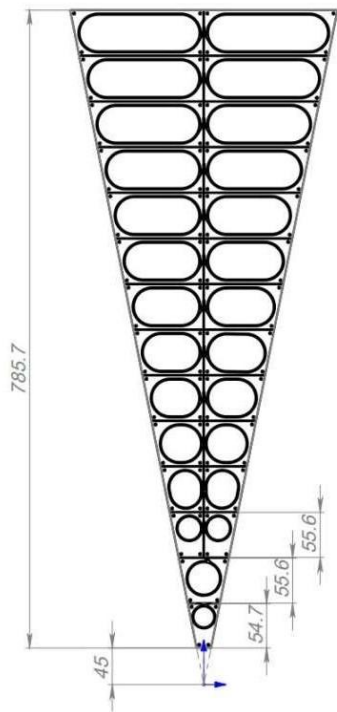
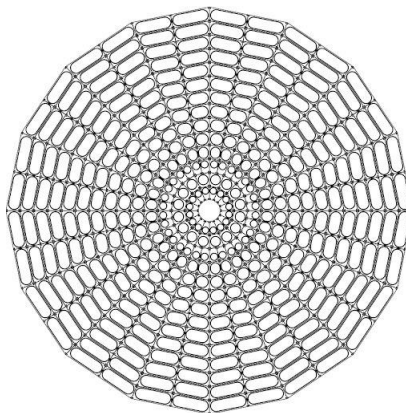


Схема сектора BBC



Полный круг детектора BBC

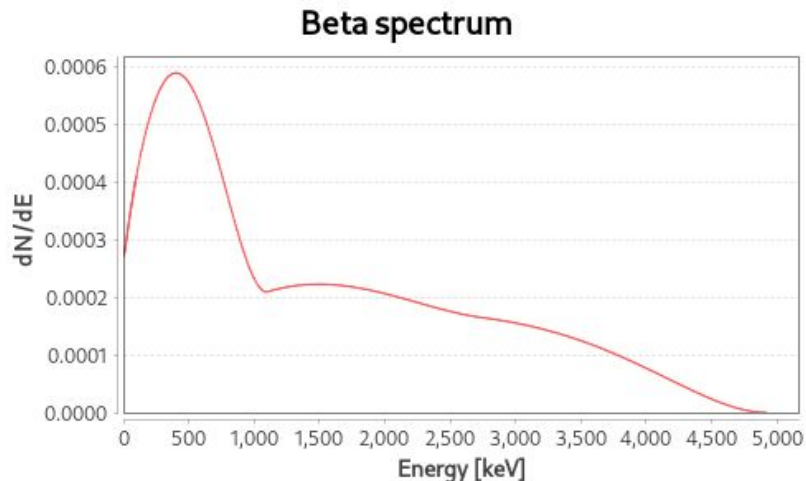
Основная цель BBC — постоянный мониторинг поляризации пучка с использованием азимутальной асимметрии выхода заряженных частиц, а также мониторинг столкновений пучков. Детектор представляет собой совокупность 16 секторов, каждый из которых состоит из 26 тайлов, представляющих собой пластиковые сцинтилляторы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

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

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

Задачи:

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



Реакция образования ^{38}Cl :

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

Реакция распада ^{38}Cl :



Состав природного хлора:

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

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

Выбор NaCl обусловлен доступностью
его покупки

Натрий также захватывает нейтроны:

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

Реакция распада ^{24}Na :

$^{24}\text{Na} \rightarrow ^{24}\text{Mg} + e^- + \bar{\nu}_e$, максимальная
энергия электрона составляет 1.4 МэВ

Расчёт наработанного количества атомов ^{38}Cl

Для нахождения характерного количества атомов ^{38}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,

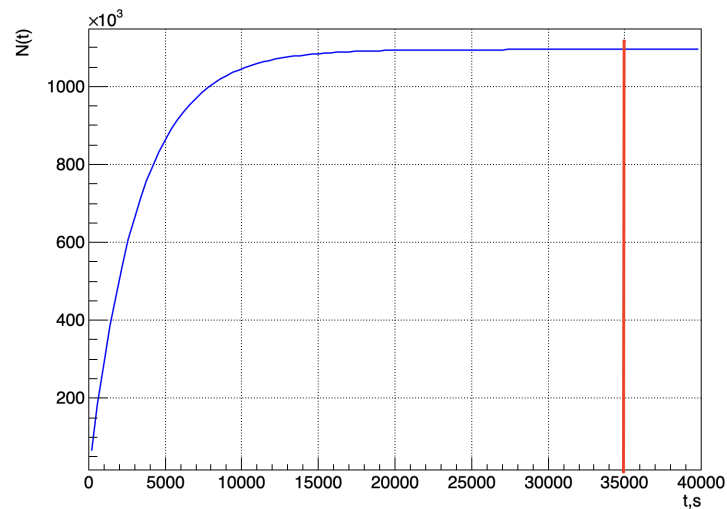
λ - постоянная распада,

N - количество атомов ^{38}Cl ;

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

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

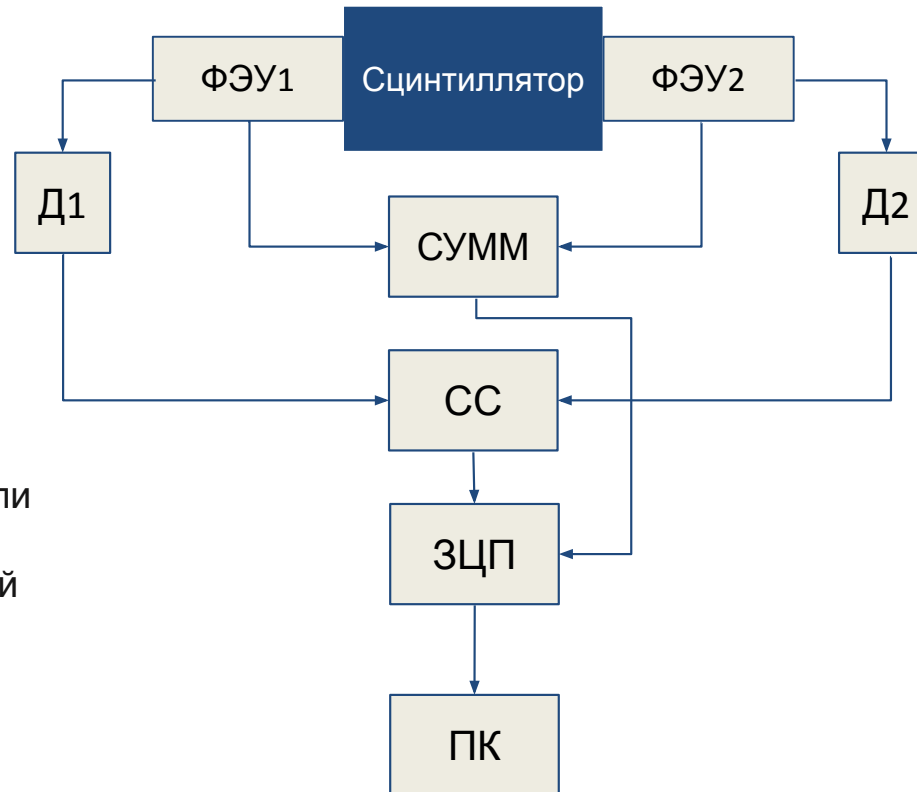
Имеем следующие условия: облучение 1 кг NaCl источником ^{252}Cf с полным потоком 10^5 быстрых нейтронов, находящимся на расстоянии 5 см под слоем замедлителя (полиэтилен). Построен график зависимости числа атомов ^{38}Cl от времени облучения $N(t)$. Из него можно оценить время наработки $t \approx 35000$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



$N(t)$

$$A_{\text{теор}} = 195 \text{ Бк}$$

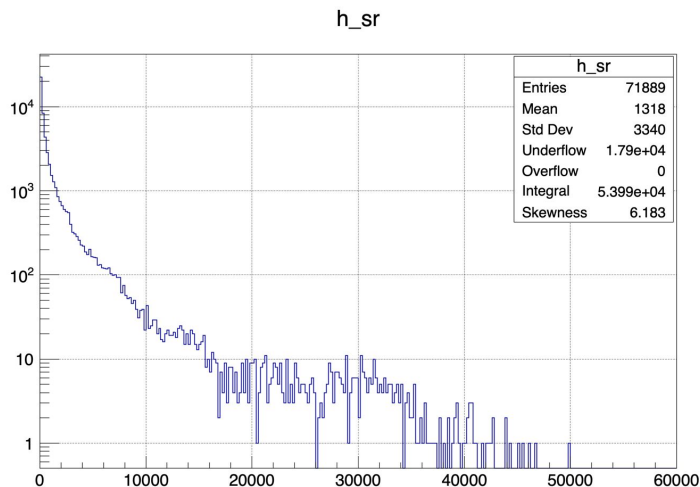
Экспериментальная установка



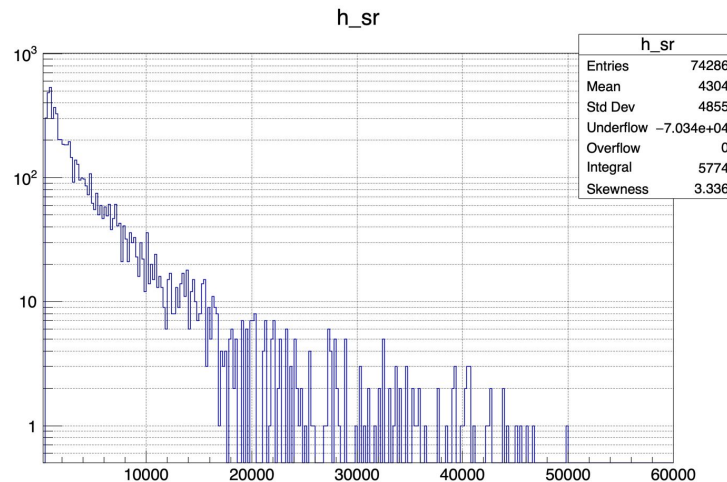
ФЭУ(1,2) – Фотоумножители
Д(1,2) – Дискриминаторы
ЗЦП – Зарядово-цифровой
преобразователь
ПК – Компьютер
СУММ - Сумматор
СС - Схема совпадений

Представление результатов

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



Амплитудный спектр NaCl (30 минут)



Амплитудный спектр NaCl с вычетом фонового излучения (30 минут)

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}Cl , однако скорость счёта была низкой и составила:

$$n = (4.8 \pm 0.7) \text{ имп/сек}$$

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

**Спасибо за
внимание**



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	α , β , γ , fast n

Back up

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

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

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

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

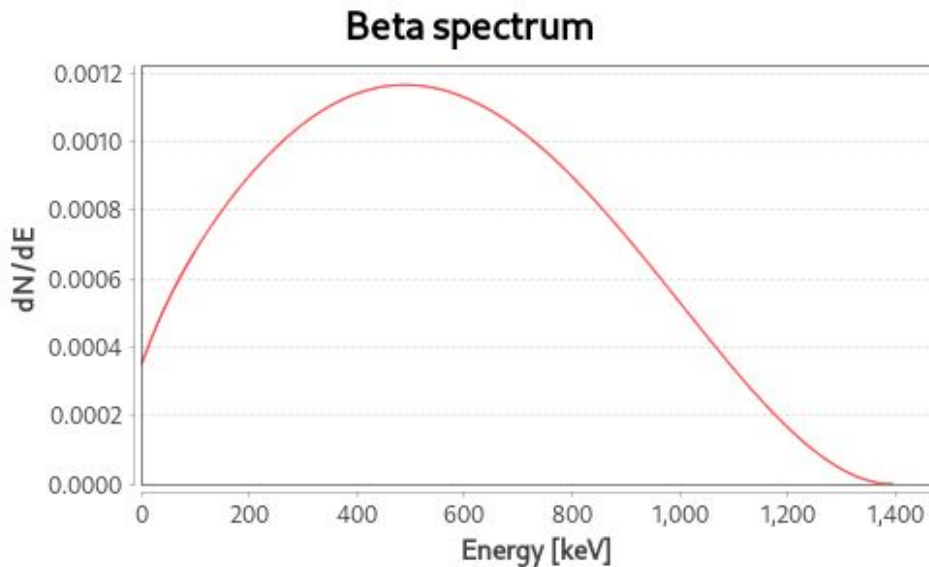
$$N = \frac{R}{\lambda} \cdot (1 - e^{-\lambda t}) \quad - \text{решение дифференциального уравнения}$$

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

Back up

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

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



Бета-спектр ^{24}Na

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.

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

$$A_{\text{теор}} = 195 \text{ Бк}$$

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