

Д. М. ДЖАНСЕЙТОВ

(Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАССИВА ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ CsI(Tl) ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ 2p РАСПАДА В ^{17}Ne

Аннотация. В данной работе проводится исследование неорганических сцинтилляционных материалов (CsI(Tl)) в сочетании с разными фотоприемниками (pin-диоды и ФЭУ различных свойств и размеров) и другими составляющими (отражательные материалы), применяемых для создания детекторов заряженных частиц широкого диапазона энергий, которые составят часть детекторов в эксперименте по определению 2p распада в ^{17}Ne .

Ключевые слова: двухпротонный распад, сцинтилляционный детектор, неорганический сцинтиллятор CsI(Tl), ФЭУ, энергетическое разрешение, время высвечивания.

Тірек сөздер: екі протондар ыдырауы, сцинтилляцияндық детектор, CsI(Tl) органикалық емес сцинтилляторы, ФЭК, энергетикалық рұқсаттылығы.

Keywords: two proton decay, gamma-ray scintillation detector, an inorganic scintillator CsI(Tl), PMT, charged particles, light collection, energy resolution.

1. Двухпротонный распад ^{17}Ne . Идея двухпротонной радиоактивности является достаточно сырой, она была предложена Гольданским более 50 лет назад. Ситуация резко изменилась в последние несколько лет. Последние годы оказались переломными: после 2002 г., когда двухпротонная радиоактивность была обнаружена экспериментально в ядре ^{45}Fe , в 2005 г. она была обнаружена в ^{45}Zn и, возможно, в ^{48}Ni [1]. В 2007 г. двухпротонная радиоактивность была обнаружена в ^{19}Mg , испускание двух протонов было экспериментально доказано для ^{45}Fe в работе [2]. Такой прогресс стал возможен благодаря интенсивному развитию техники пучков радиоактивных ядер, что является одной из основных тенденций в ядерной физике последнего десятилетия.

Ядро ^{17}Ne может быть возможным кандидатом на одновременный двухпротонный распад.

Главной и пока единственной известной ветвью распада ^{17}Ne с первого возбужденного состояния ($E^* = 1,288$ МэВ) является гамма распад [3]. Последовательное испускание двух протонов, при котором сначала должна получиться система $^{16}\text{F}+p$, а вслед за этим ^{16}F распался бы на $^{15}\text{O}+p$, запрещено законом сохранения энергии (рисунок 1). Из этого следует, что одним из возможных экспериментов является поиск слабой ветви истиннодвухпротонного распада этого состояния в реакции передачи $^1\text{H}(^{18}\text{Ne}, d)^{17}\text{Ne}$, при энергии пучка ^{18}Ne 25-35 МэВ/нуклон. При

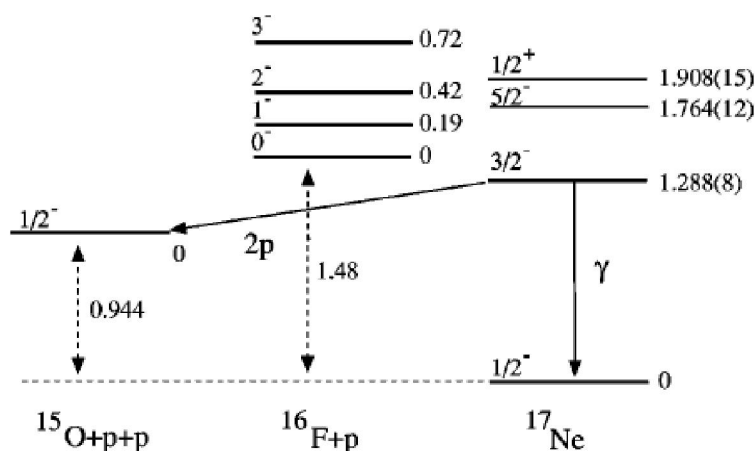


Рисунок 1 – Схема уровней низколежащих состояний в ^{17}Ne , ^{16}F и ^{15}O . Из первого возбужденного состояния в ^{17}Ne , существует канал одновременного двухпротонного распада, который находится в конкуренции с γ -распадом в основное состояние в ^{17}Ne

достижении достаточно хорошего энергетического разрешения ~ 300 кэВ FWHM, возможно отделить искомое 1.288 МэВ резонансное состояние от фона, вызванного заселением 1.764 и 1.908 МэВ резонансных состояний.

Такой эксперимент по обнаружению $2p$ распада ^{17}Ne был проведен в Лаборатории Ядерных Реакций в г. Дубна (Россия), на фрагмент – сепараторе АКУЛИНА в апреле – мае 2013 г.

Как уже отмечалось выше, в качестве реакции для исследования $2p$ распада ^{17}Ne на фрагмент-сепараторе АКУЛИНА была выбрана реакция передачи одного нуклона $^{18}\text{Ne} (25-35 \text{ MeV/A}) + ^1\text{H} \Rightarrow ^2\text{H} + ^{17}\text{Ne}$. Первичный пучок ^{20}Ne с энергией 54 МэВ/нуклон, выведенный из циклотрона У400М, имел интенсивность порядка 0.2 μA . После его прохождения через производящую мишень (^9Be толщиной 300 μm) и клин (^9Be толщиной 750 μm), вторичный пучок ^{18}Ne как результат фрагментации имел энергию 38 МэВ/нуклон на физической мишени. При этом интенсивность пучка на выходе фрагмент-сепаратора АКУЛИНА составляла $5 \cdot 10^4$ pps, а чистота RIB $\sim 15\%$. В эксперименте использовалась газовая криогенная мишень H_2 , с толщиной $\sim 2 \cdot 10^{20}$ атомов на cm^3 .

На рисунке 2 приведена необходимая детектирующая система для эксперимента по изучению $2p$ распада ^{17}Ne , состоящая из двух многопроволочных камер для трекинга частиц, а также круглого и квадратного телескопов.

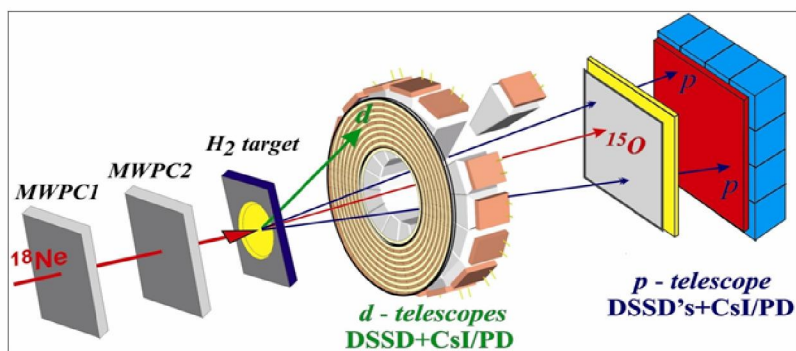


Рисунок 2 – Схема детекторов, расположенных в камере фрагмент – сепаратора АКУЛИНА

В данном эксперименте требуются высокогранулированные кремниевые и сцинтилляционные детекторы с хорошей позиционной чувствительностью и приемлемым энергетическим разрешением. Квадратный телескоп, в первую очередь, необходим для регистрации протонов, вылетающих под малыми углами. Протоны, зарегистрированные квадратным телескопом, в совпадении с дейтронами, которые регистрируются круглым телескопом, по методу недостающей массы дают возможность вычислить из какого дочернего ядра вылетели эти протоны.

Стенка из сцинтилляционных детекторов в эксперименте необходима для регистрации именно двух одновременных протонов, а другие частицы (например, ^{15}O), которые вылетают из мишени, не должны попадать в эти детекторы. С целью остановки всех нежелательных частиц перед квадратным телескопом должен быть установлен металлический поглотитель заданной толщины.

В рамках данной работы разрабатывался 16-ти канальный квадратный сцинтилляционный детектор, являющийся частью квадратного телескопа для регистрации частиц, вылетающих из мишени под малыми углами. Детектор должен быть создан на базе сцинтиллятора, так как для регистрации протонов с энергиями до 50 МэВ требуется большая толщина рабочего вещества. Он должен обладать высоким световыходом и энергетическим разрешением, иметь высокую гранулярность и наименьшую толщину мертвых слоев между соседними кристаллами сцинтилляционной стенки.

2. Тестирование и калибровка разработанного детектора. Невысокая стоимость CsI(Tl) (2-4 евро за 1 cm^3) при приемлемых механических свойствах и достаточно неплохое энергетическое разрешение определяют выбор именно в пользу этого сцинтиллятора. К сожалению, как материал, CsI(Tl) является чрезвычайно нежным и капризным материалом. Для эксперимента по изучению двухпротонной радиоактивности ^{17}Ne были выбраны сцинтилляционные детекторы из CsI(Tl) производства Украины, размерами $16 \times 16 \times 30 \text{ mm}^3$. Все кристаллы прошли тщательную обработку, т.е. все кристаллы были отполированы и отшлифованы.

Боковые грани кристаллов закрыты отражателем VM2000, а входное окно закрыто Mylar толщиной 3,5 мкм. Из этих кристаллов сделана квадратная стенка 4x4 детекторов (рисунок 3).

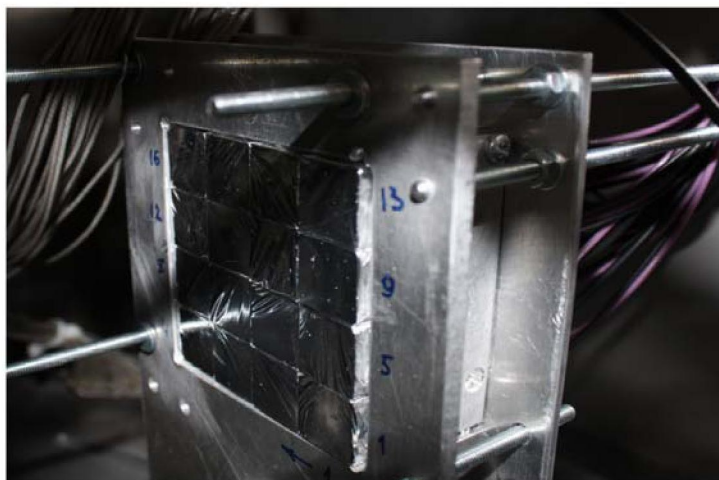


Рисунок 3 – Стенка из 16 сцинтилляционных детекторов CsI(Tl)

Для получения суммарного энергетического спектра со всех 16 кристаллов необходимо установить одинаковые коэффициенты усиления у всех 16 элементов детекторной сборки. Также необходимо выставить нужный для регистрации протонов динамический диапазон от 0 до 60 МэВ. Для этого была проведена калибровка CsI(Tl) детекторов с использованием α -источника ^{226}Ra . Данная калибровка необходима не только для построения суммарного энергетического спектра, но и дает возможность проводить примерный онлайн-анализ данных сразу во время проведения эксперимента.

В ходе облучения детекторной сборки α -частицами ^{226}Ra были измерены энергетические разрешения всех изготовленных CsI(Tl) детекторов. Для анализа данных использовался программный пакет Go4. Энергетическое разрешение измерялось по последнему (четвертому) пику с энергий 7,68 МэВ и составило 3,5%.

Энергетические разрешения, полученные при облучении сцинтилляционной стенки α -частицами ^{226}Ra , на рисунке 4.

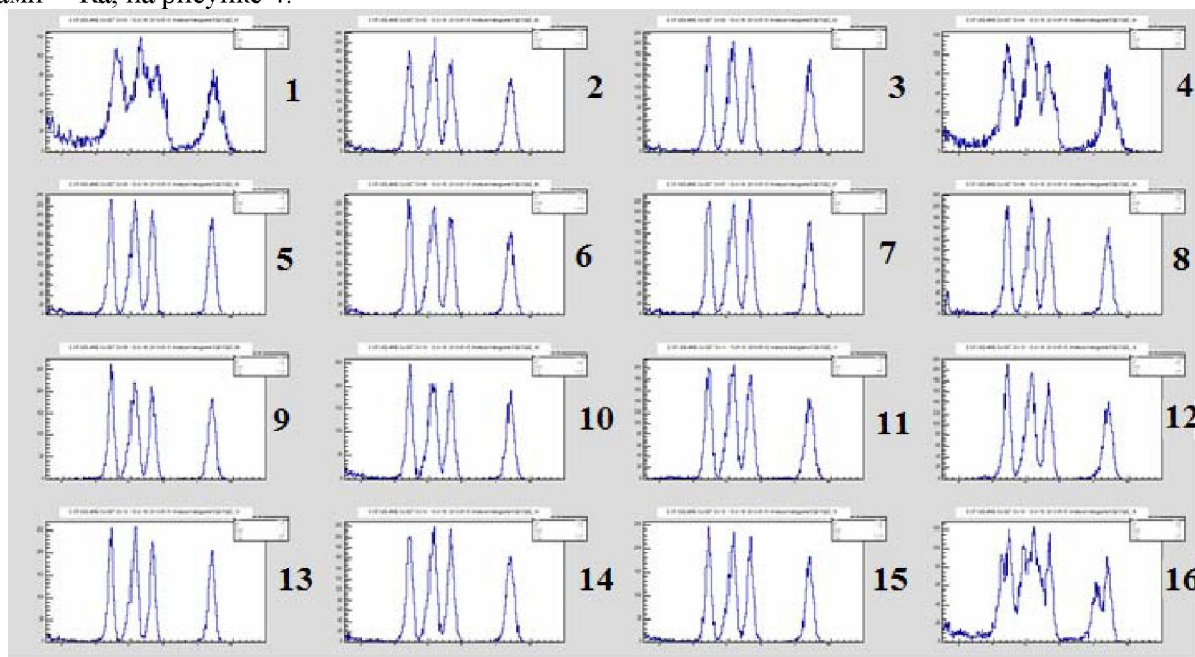


Рисунок 4 – Спектры на α источнике ^{226}Ra во всех 16 детекторах

Также сделана калибровка детектора α -источником ^{226}Ra . Как видно из результатов, три сцинтилляционных детектора имеют пониженное энергетическое разрешение (детекторы 1, 4, 16). Данные детекторы расположены в углах детекторной сборки, вследствие этого в данные три детектора не попадает достаточное количество α -частиц, и, соответственно, в этих детекторах мы имеем меньшую статистику, что сильно влияет на конечное разрешение. В целом, остальные детекторы показали достаточно хорошие разрешения (в среднем 4%), что соответствует требованиям эксперимента.

Как уже было отмечено, в эксперименте по изучению $2p$ распада ^{17}Ne планировалась регистрация протонов с энергиями до 50 МэВ. Максимальная энергия альфа-частиц от имеющихся α -источников не превышает 9 МэВ, что недостаточно для выполнения точной энергетической калибровки в области 10-50 МэВ. Для последующей обработки данных эксперимента была выполнена калибровка сцинтилляционной детекторной сборки на пучке протонов с энергией 30-50 МэВ. Последовательно сепаратор АКУЛИНА был настроен на четыре разные энергии протонов. Энергия протонов вычислялась по время-пролетной методике на основе измерений времени пролета протонов на фиксированной базе 845 см.

На примере одного из каналов показана разница между протонной и α -калибровками (см. рисунок 5).

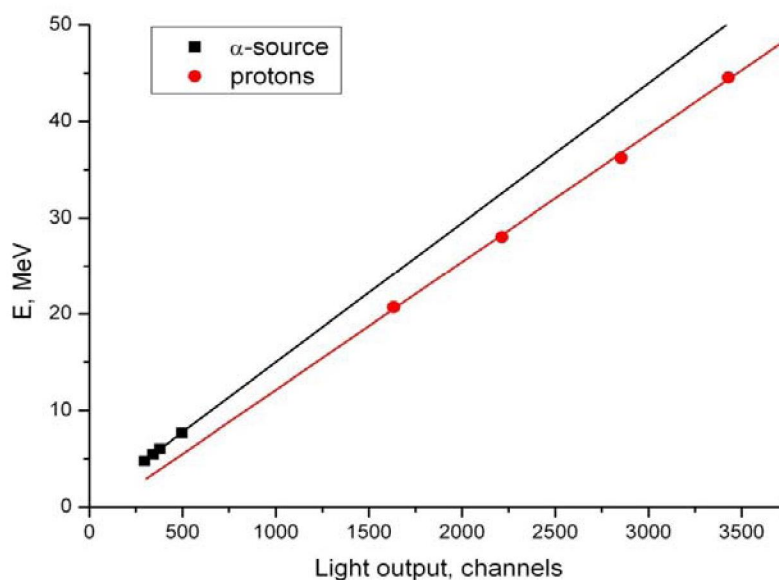


Рисунок 5 – α и p калибровки для CsI(Tl) детектора №10

Было установлено, что для разных сортов частиц световой выход кристаллов значительно отличается и зависит от энергии (см. α - и p -калибровки, которые довольно сильно отличаются друг от друга). Как видно из графика на рисунке 28, при энергиях около 8 МэВ, разница между двумя калибровками составляет около 2 МэВ, а при экстраполяции α -калибровки в область протонов с энергией порядка 50 МэВ, разница становится еще более существенной и составляет уже 6 МэВ.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 B. Blank et al. First Observation of ^{54}Zn and Its Decay by Two-Proton Emission. Phys. Rev. Lett. 2005, V. 94, P. 232501
- 2 Л.В. Григоренко – Теоритическое изучение двухпротонной радиоактивности. ЭЧАЯ, 2009, Т. 40, В. 5.
- 3 L.V. Grigorenko, Yu.L. Parfenova, and M.V. Zhukov. Possibility to study a two-proton halo in ^{17}Ne . Phys. Rev. C71, 051604(R) (2005).

REFERENCES

- 1 B. Blank et al. First Observation of ^{54}Zn and Its Decay by Two-Proton Emission. Phys. Rev. Lett. 2005, V. 94, P. 232501
- 2 L.V. Grigorenko – Teoriticheskoe izuchenie dvuhprotonnoj radioaktivnosti. JeChAJa, 2009, T. 40, V. 5. (In Russ)
- 3 L.V. Grigorenko, Yu.L. Parfenova, and M.V. Zhukov. Possibility to study a two-proton halo in ^{17}Ne . Phys. Rev. C71, 051604(R) (2005).

Резюме

Д. М. Жансейітов

(Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан)

¹⁷Ne ЯДРОСЫНЫҢ 2p – ЫДЫРАУЫН ЗЕРТТЕУГЕ АРНАЛҒАН ТӘЖІРИБЕДЕ ЗАРЯДТАЛҒАН БӨЛШЕКТЕРДІ ТІРКЕЙТІН CsI(Tl) ДЕТЕКТОРЛАР МАССИВІНІҢ ПАРАМЕТІРЛЕРІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

Осы жұмыста заманауи материалдардың зерттеулері жүргізіледі, олар: бейорганикалық сцинтиллятор (CsI(Tl)), фото қабылдағыштар (әртүрлі фотокатодтары бар фотоэлектрондық көбейткіш) және шағылдырғыштар, зарядталған бөлшектерді тіркейтін сцинтиляциялық детекторлар. Бұл детекторлар ¹⁷Ne экспериментінде екі протонды ыдырауды анықтайтын детекторлардың негізін құрайды.

Тірек сөздер: екі протондар ыдырауы, сцинтиляцияндық детектор, CsI(Tl) органикалық емес сцинтилляторы, ФЭК, энергетикалық рұқсаттылығы.

Summary

D. M. Janseitov

(Eurasian national university, Astana, Kazakhstan)

OPTIMIZATION THE PARAMETER DETECTOR ARRAY BASED ON CsI (TL) FOR REGISTRATION CHARGED PARTICLES IN EXPERIMENT AIMED AT DETERMINING 2P DECAY OF ¹⁷Ne

Investigation of inorganic scintillator material (CsI(Tl)) in combination with different photodetectors (pin-diodes and a photomultiplier different properties and sizes) and other components (reflective material) used to create the charged-particle detectors energy of a wide range of which form part of the detectors in the experiment to determine the 2p decay of ¹⁷Ne.

Keywords: two proton decay, gamma-ray scintillation detector, an inorganic scintillator CsI(Tl), PMT, charged particles, light collection, energy resolution.