

УДК 53.072.13

**ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЕТЕКТОРА ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ γ -КВАНТОВ В ПРИСУТСТВИИ
НЕЙТРОННОГО ФОНА**

Д.К. Чумаков, Д.С. Флусова

Научный руководитель: с.н.с, к.ф.-м.н. Г.Н. Дудкин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: dkc1@tpu.ru**THE CHOICE OF DETECTOR MATERIAL FOR γ -QUANTA REGISTRATION WITH THE
PRESENCE OF NEUTRON BACKGROUND**

D.K. Chumakov, D.S. Flusova

Scientific Supervisor: Senior Researcher, Dr. Ph. G.N. Dudkin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: dkc1@tpu.ru

***Abstract.** In the nuclear physics experiments in case of study of reactions with low cross-sections it is crucial to distinguish the data related to reaction under study from the background caused by side reactions. A proper choice of detector may facilitate the procedure of background subtraction and reduce the effects of signals superimposition. In this report the results of γ -quanta registration simulation in Geant4 toolkit with the presence of neutron background are presented.*

Введение. В настоящее время особый интерес представляет изучение в астрофизической области энергий (порядка единиц- десятков кэВ в с.ц.и) реакции синтеза $p + t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$ (19,8 МэВ) - как для фундаментальной физики, с целью получения и уточнения экспериментальных значений сечений этих реакций в данной области энергий [1, 2], так и для астрофизики. Однако при энергиях порядка десятков кэВ ожидается, что сечения этих реакций не будут превышать сотен нанобарн. В то же время, присутствие побочных реакций с выходом нейтронов $t + t \rightarrow {}^4\text{He} + nn$; $t + t \rightarrow {}^5\text{He} + n$ [2] может значительно осложнить получение достоверных данных о выходе исследуемых реакций из-за появления в спектре продуктов этих реакций линий, возникших при взаимодействии нейтронов с материалами детектора и окружающей аппаратуры. В связи с этим, одной из ключевых проблем при постановке эксперимента является выбор детекторов, максимально эффективно регистрирующих γ -кванты, и вместе с тем минимально восприимчивых к действию нейтронов. Экспериментальная оценка воздействия нейтронов на получаемые спектры потребовала бы значительных затрат времени и ресурсов для определения величины вклада вызванных нейтронами реакций в итоговый спектр. Наиболее эффективным способом в данном случае является применение метода Монте-Карло и создание кода, симулирующего регистрацию γ -квантов в присутствии нейтронного фона в инструментарии Geant4. Кроме того, симуляция эксперимента позволяет достаточно надежно определить эффективность регистрации γ -квантов с энергией 19,8 МэВ детекторами. Экспериментальное определение

эффективности регистрации γ -квантов с такой энергией существенно затруднено из-за отсутствия изотопных источников с близкими энергиями.

Экспериментальная часть. Экспериментальные исследования реакции $p + t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$ проводились на импульсном холловском ускорителе ионов ИДМ-40 с использованием мишеней из тритида титана на молибденовой подложке. Время ускоряющего импульса составляет 10 мкс, в течение которых также считывается сигнал со сборки из 8 сцинтилляционных NaI(Tl) или полистирольных детекторов (размер кристаллов $10 \times 10 \times 40 \text{ см}^3$), расположенных возле мишенного узла вакуумной камеры. Короткое время считывания сигнала детекторами позволяет существенно подавить регистрацию естественного радиоактивного фона и космического мюонного излучения.

Для определения максимально эффективного расположения детекторов, в инструментариИ Geant4 была создана симуляция, включающая в себя мишенный узел вакуумной камеры ускорителя ИДМ-40 с молибденовой мишенью, покрытой слоем тритида титана толщиной 1,5 мкм и сборку из 8 сцинтилляционных детекторов, расположенных вокруг мишенного узла тремя вариантами, приведенными на рис. 1.

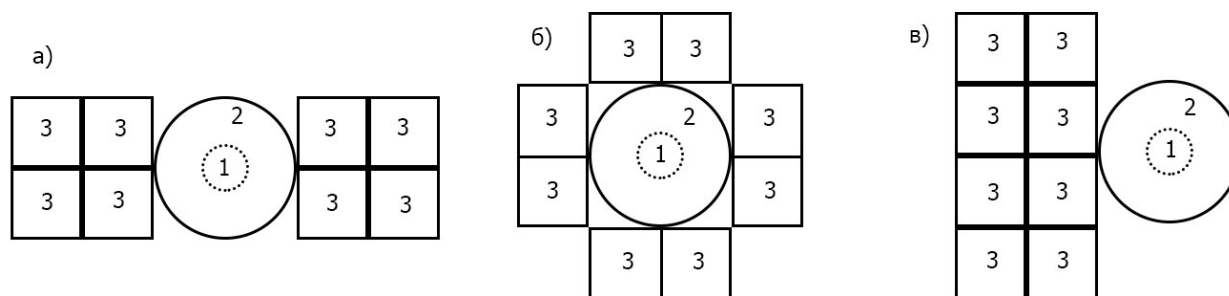


Рис. 1. Варианты расположения детекторов в сборках, вид спереди: 1 – мишень, 2 – крышка вакуумной камеры, 3 – сцинтилляционные детекторы

Мишень в симуляции представляет собой диск из молибдена, к которому «привязан» объект Geant4 типа *GeneralParticleSource (GPS)* – объемный источник γ -квантов с энергией 19,8 МэВ. Для оценки эффективности регистрации γ -квантов из исследуемой реакции важным является учет их анизотропии по углу вылета. В связи с этим, было проведено оценочное сравнение для изотропного источника и анизотропного, с распределением по углу θ , заданным в [3].

Расчет кривых эффективности регистрации γ -квантов проводился как для NaI(Tl) детекторов, так и для полистирольных. Кроме того, для полистирольных детекторов была проверена целесообразность использования свинцового конвертера γ -квантов как средства увеличения эффективности регистрации и установлена его оптимальная толщина.

Затем источник γ -квантов в симуляции был заменен источником нейтронов с энергетическим распределением, соответствующим побочным реакциям $t + t \rightarrow {}^4\text{He} + nn$; $t + t \rightarrow {}^5\text{He} + n$, возникающим при передаче импульса ядру трития в мишени. Такое ядро, двигаясь далее в мишени, может столкнуться с другими ядрами трития и вызвать реакции с образованием нейтронов. Эти нейтроны могут далее взаимодействовать со стенками вакуумной камеры, материалом детектора и окружающим оборудованием, вызывая появление γ -квантов в результате протекания реакций неупругого

рассеяния и радиационного захвата. Спектр γ -квантов из побочных реакций, вызванных нейтронами, был также получен и проанализирован на наличие пиков в области высоких энергий.

Результаты. Из полученных в симуляции спектров было установлено, что наиболее эффективной является сборка детекторов (б) с максимальным телесным углом. В целом, эффективность регистрации γ -квантов NaI(Tl) детекторами выше, чем у полистирольных, а их разрешение – лучше. Несмотря на то, что NaI(Tl) детекторы регистрируют γ -кванты эффективнее полистирольных, чувствительность детектора к нейтронам в области высоких энергий и склонность к наложению сигналов за счет большего времени высвечивания вызвали сомнения в целесообразности их использования.

Были получены спектры γ -квантов из вызванных взаимодействием нейтронов с окружающими материалами для NaI(Tl) и полистирольного детекторов. экспериментального и смоделированного спектров. В случае использования NaI(Tl) детекторов на γ -спектре проявляются пики радиационного захвата нейтронов ^{127}I и ^{203}Tl в районе 6 МэВ. Большое время высвечивания NaI(Tl) детекторов (0,25 мкс против 2 нс у полистирольных) приводит к наложению сигналов от регистрации γ -квантов исследуемой реакции и γ -квантов радиационного захвата нейтронов, что приводит к искажению итогового спектра.

Большим преимуществом полистирольного детектора, помимо быстрого времени высвечивания, является отсутствие на спектре γ -квантов с энергиями свыше 4 МэВ, вызванных взаимодействием нейтронов с веществом детектора. В целях повышения эффективности регистрации γ -квантов из реакции $p + t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$ полистирольными детекторами, было предложено использовать свинцовую оболочку-конвертер, охватывающую детекторы. При прохождении через свинец, γ -квант более вероятно образует регистрируемую детектором электрон-позитронную пару, чем в самом полистирольном детекторе. Толщина свинцовой оболочки, при которой максимальная эффективность регистрации сочетается с наименьшими искажениями спектра, составляет 1.5 мм.

Заключение. В результате работы в симуляции, созданной в инструментарии Geant4, была произведена оценка эффективности регистрации γ -квантов с энергиями 19,8 МэВ NaI(Tl) и полистирольными детекторами путем получения смоделированных аппаратных спектров. Выбор материала для детекторов, помимо эффективности регистрации, был обоснован чувствительностью к нейтронам и длительностью времени высвечивания детекторов. Определена целесообразность использования свинцовой оболочки-конвертера для полистирольных детекторов. Наиболее подходящей можно считать сборку из полистирольных детекторов со свинцовым конвертером толщиной 1,5 мм. В дальнейшем эта симуляция может быть использована для оперативной оценки работы детектирующей сборки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bystritskii V.M. et al. Effect of pd and dd Reactions Enhancement in Deuterids TiD_2 , ZrD_2 and Ta_2D in the Astrophysical Energy Range // Physics of Particles and Nuclei: Scientific Journal. – 2016. – Vol. 13, No. 1. – P. 79-97.
2. Bystritsky V.M. et al. Pulsed ion hall accelerator for investigation of reactions between light nuclei in the astrophysical energy range // Physics of Particles and Nuclei: Scientific Journal. – 2017. – Vol. 48, Iss. 4. – P. 659–679.
3. Canon R.S. et al. ${}^3\text{H}(p,\gamma){}^4\text{He}$ reaction below $E_p=80$ keV // Physical Review C: Scientific Journal. – 2002. – Vol. 65. – P. 044008.