

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИСТРАЦИИ γ -КВАНТОВ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 20 МЭВ
СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ ДЕТЕКТОРАМИ В ИНСТРУМЕНТАРИИ GEANT4**

Д.К. Чумаков, В.Ю. Кабак, МуЮйчэнь

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

**SIMULATION OF γ -QUANTA REGISTRATION WITH ENERGIES BELOW 20 MEV IN
SCINTILLATION DETECTORS USING GEANT4 TOOLKIT**

D.K. Chumakov, V.Yu. Kabak, MuYuchen

Scientific Supervisor: Senior Researcher, Candidate of Physical and Mathematical Sciences 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 much more beneficial to create a simulation of experiment to estimate detectors assembly than obtain it experimentally. In this report the simulation of γ -quanta registration by scintillation detectors assembly is presented. As the result of work with the simulation, the simulated instrumental spectra and values of detectors' efficiency are obtained.*

Введение. В настоящее время особый интерес представляет изучение следующих реакций синтеза в астрофизической области энергий (порядка единиц – десятков кэВ в с.ц.и): $p + d \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$ (5.5 МэВ); $p + t \rightarrow {}^4\text{He} + \gamma$ (19.8 МэВ); $t + {}^3\text{He} \rightarrow {}^6\text{Li} + \gamma$ (15.8 МэВ), - в первую очередь для фундаментальной физики – получение и уточнение экспериментальных значений сечений этих реакций (либо S-фактора) в данной области энергий [1, 2] или, в частности, изучение последней реакции, исследование которой может пролить свет на проблему «космологического лития». 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: $t + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + n + p$; $t + {}^3\text{He} \rightarrow {}^5\text{Li} + n$; $t + t \rightarrow {}^4\text{He} + nn$; $t + t \rightarrow {}^5\text{He} + n$; $d + d \rightarrow {}^3\text{He} + n$ [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. Таким образом, требуется создать такую сборку детекторов, которая максимально эффективно регистрировала бы γ -кванты с приведенными выше энергиями. И хотя для pd – реакции оценку эффективности регистрации можно произвести с помощью изотопного AmBe источника с энергией $E_\gamma = 4.44$ МэВ, для оценки эффективности регистрации продуктов реакций с энергиями γ -квантов свыше 10 МэВ нет изотопных источников с близкими энергиями. Экспериментальная оценка потребовала бы значительных затрат времени и ресурсов из-за низких сечений приведенных реакций. В таком случае, более эффективным способом является применение метода Монте-Карло и создание кода, симулирующего регистрацию γ -квантов в специализированных инструментариях ядерной физики, в частности, Geant4.

Экспериментальная часть. При создании симуляции важной частью экспериментальной установки является вакуумная камера холловского ускорителя ионов ИДМ-40, в которой располагается мишень с подложкой из стали, покрытой дейтеридом либо тритидом титана [Ошибка! Источник ссылки не найден.2, 3]. Ускоренные ионы, попадая в ядра мишени, вызывают протекание приведенных выше реакций и возникновение интересующих нас γ -квантов. Так как основной целью является оценка эффективности регистрации, вместо симуляции попадания ионов на мишень был создан источник γ -квантов с необходимой энергией для получения их аппаратурных спектров из симуляции. Основа симуляции - сборка из 8 NaI(Tl) детекторов (размер кристаллов $10 \times 10 \times 40$ см³), расположенных возле мишенного узла вакуумной камеры тремя возможными вариантами, представленными на рис. 1.

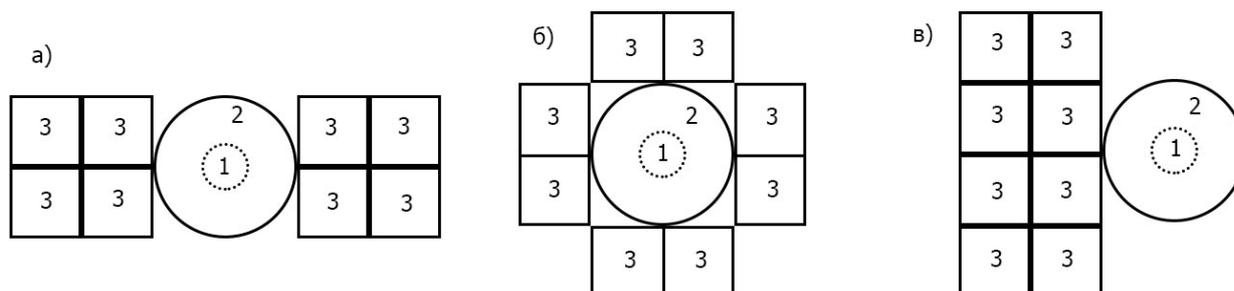


Рис. 1. Варианты расположения детекторов в сборках, вид спереди: 1 – мишень, 2 – крышка вакуумной камеры, 3 – детекторы NaI(Tl)

Планировалось определить полную эффективность сборок из NaI(Tl), а также оценить достаточность одного слоя NaI(Tl) детекторов для регистрации γ -квантов с энергией до 20 МэВ. Симуляция включает в себя следующие составные части: вакуумную камеру; мишень-источник- γ -квантов; сборку из 8 NaI(Tl) детекторов. В симуляцию не включено образование фотонов в сцинтилляторе и работа ФЭУ по причине увеличения времени расчета спектра. Мишень в симуляции представляет собой диск из стали, к которому «привязан» объект Geant4 типа *GeneralParticleSource* (GPS) – изотропный объемный источник γ -квантов с заданной энергией.

Алгоритм работы включает в себя розыгрыш значения энергии, поглощенной в детекторе, в соответствии с нормальным распределением со средним, равным поглощенной энергии и σ , заданным по экспериментальному спектру. ПШПВ как функция энергии была определена экспериментально с помощью AmBe источника по пику полного поглощения γ -квантов с энергией 4.44 МэВ. Так как форма пика соответствует распределению Гаусса, а на 1 МэВ поглощенной в NaI(Tl) энергии приходится 40000 сцинтилляционных фотонов, то пуассоновское распределение числа сцинтилляционных фотонов может быть заменено нормальным распределением энергий в спектре с σ , соответствующим найденной ПШПВ. Изменяя пороговое значение энергии, по которому события из спектра считаются зарегистрированными, можно получать полную эффективность регистрации γ -квантов как отношение числа событий в спектре, превышающих порог, к числу разыгранных первичных частиц.

Результаты. На рис. 2 приведено сравнение экспериментального и смоделированного спектров. Сравнение спектров было необходимо для определения корректности работы симуляции. Затем для каждого варианта расположения детекторов произведен расчет аппаратурных спектров в симуляции путем розыгрыша по 10000 γ -квантов с заданными энергиями.

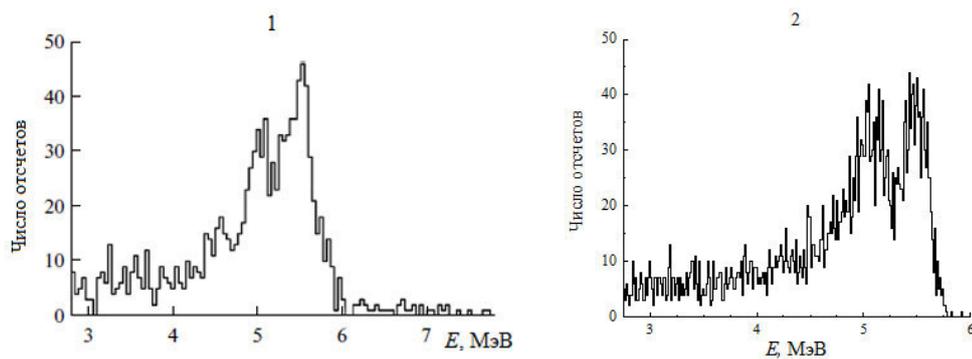


Рис. 2. Спектры γ -квантов с энергией 5.5 МэВ для сборки б): 1 – экспериментальный, 2 – из симуляции

Для заданного порогового значения энергии, равного $(E_\gamma - 2)$ МэВ, полученные значения эффективностей сведены в Таблицу 1. Во всех случаях наиболее эффективной оказалась сборка б), что свидетельствует не только о решающей роли геометрической эффективности в данных случаях, но и о достаточности слоя NaI(Tl) в 10 см для регистрации γ -квантов в диапазоне энергий до 20 МэВ.

Таблица 1

Значения эффективности сборок детекторов

Энергии	Полная эффективность, %		
	5.5 МэВ	15.8 МэВ	19.8 МэВ
Сборка а)	17.04±0.17	13.60±0.14	12.38±0.12
Сборка б)	30.98±0.31	23.38±0.24	19.24±0.19
Сборка в)	12.94±0.13	10.34±0.10	10.20±0.10

Заключение. В результате работы в симуляции, созданной в инструментарии Geant4, была произведена оценка эффективности регистрации γ -квантов с энергиями до 20 МэВ детекторами NaI(Tl) в различных вариантах их расположения путем получения смоделированных аппаратурных спектров. Найдена наиболее эффективная конфигурация расположения детекторов относительно мишенного узла. В дальнейшем эта симуляция может быть использована для оперативной оценки работы детектирующей сборки. Также планируется дополнить симуляцию, включив в нее источник нейтронов, имитирующий протекание побочных реакций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V.M. Bystritskii 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, №. 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. – 2017. – V. 48., №. 4. – С. 659-679.
3. Ускоритель легких ионов холловского типа ИДМ - 20(40). Научно-лабораторная установка лаборатории № 33 (ИЯР) Инвентарный номер 101040023367/001 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ