

**А. Ш. Шерги, О. В. Бычкова, Е. В. Попова, А. А. Стифуткин**

Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

*e-mail: cherguicherif@hotmail.com*

### Введение

Обнаружение и спектрометрия нейтронов очень важны в различных областях исследований, ядерной промышленности, радиационной защиты, безопасности, защиты персонала и ядерных установок и проблемы контроля распространения ядерного материала.

Одним из этапов разработки детектора нейтронов является выбор сцинтиллятора. В качестве сцинтиллятора (исследуемого) было выбрано сцинтиллятора **ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF** содержащие литий-6. Сцинтиллятор ZnS(Ag) широко используется для регистрации заряженных частиц. Одним из его достоинств является большой световой выход - 95000 фотонов/МэВ [1]. Как правило, данный сцинтиллятор изготавливают в виде пластин толщиной, не превышающей 400 мкм. Сульфид цинка, активированный серебром, является мелкозернистым порошком и имеет высокий показатель преломления (около 2.5 при длине волны 450 нм), и при толщине свыше 100 мкм световой выход значительно снижается из-за многократного рассеяния и затухания сцинтилляционных вспышек внутри сцинтиллятора. Для регистрации нейтронов сульфид цинка смешивают с фторидом лития или нитридом бора.

Одной из важнейших характеристик сцинтилляторов, используемых для регистрации нейтронов, является чувствительность сцинтиллятора к гамма-излучению, которая в большинстве применений должна быть как можно ниже.

Чувствительность сцинтиллятора ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF к гамма-излучению от источника <sup>60</sup>Co в зависимости от порога дискриминатора может достигать значения до 10<sup>-6</sup> без влияния на эффективность регистрации нейтронов [2].

Во втором эксперименте использовался сцинтиллятор (референсный) **GAGG(Ce)**, который является перспективным сцинтилляционным материалом для обнаружения быстрых нейтронов. Это достигается благодаря тому, что материал, во-первых, имеет высокое содержание Gd, который поглощает нейтроны с последующим быстрым излучением гамма-квантов, и, во-вторых, эффективно обнаруживает это излучение благодаря высокой тормозной способности и высокому выходу сцинтилляционного света.

В данной работе представлены результаты двух экспериментов,

**1. Сравнение отклика прототипа смешанного излучения с разными сцинтилляторами на гамма-излучение**

**2. Исследование сборки из сцинтиллятора ZnS(Ag)/LiF и двух SiPM на возможность получения пика от нейтронов**

Все измерения проводились в светонепроницаемом ящике при температуре 25.5±0.2 °С, при напряжении питания SiPMU=31 В, которое подавалось от источника-измерителя **Keithley2400**. Набор данных производился с помощью цифрового осциллографа **LeCroyWaveRunner 620Zi**.

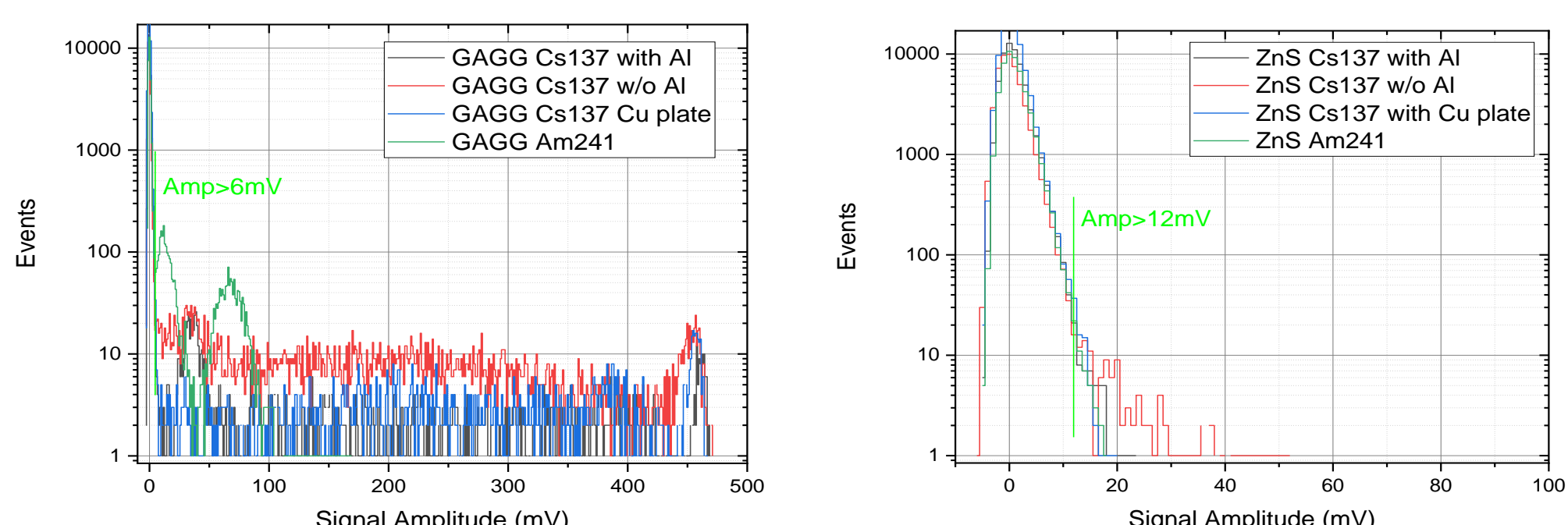
### 1. Сравнение отклика прототипа смешанного излучения с разными сцинтилляторами на гамма-излучение

Целью данной работы являлась сравнительная оценка отклика на гамма-излучение от источников <sup>241</sup>Am и <sup>137</sup>Cs для разрабатываемого монитора на основе SiPM и сцинтиллятора ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF.

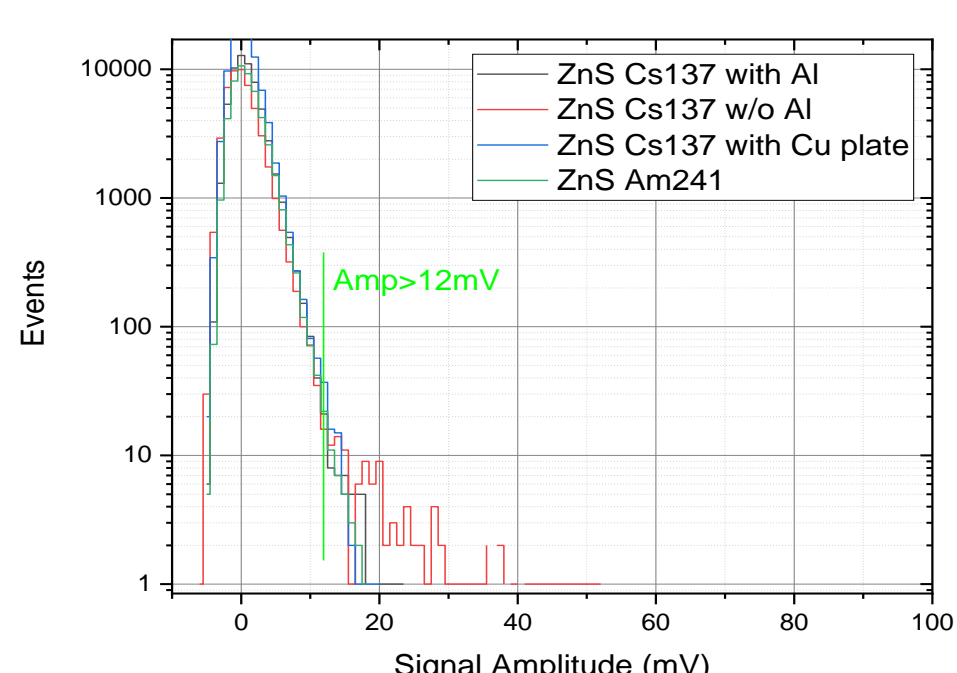
**1.1. Измерения:** Для проведения измерений использовались два идентичных сцинтилляционных детектора. В обоих детекторах использовались SiPM модели PM3315-WB-A0 производства фирмы KETEK, с площадью 3x3 мм<sup>2</sup> и размером ячейки 15 мкм. В первом (исследуемом) детекторе использовался сцинтиллятор ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF площадью 3x3 мм<sup>2</sup> и толщиной 400 мкм. Во втором (референсном) детекторе использовался сцинтиллятор GAGG(Ce) с размерами 3x3x9 мм<sup>3</sup>. В качестве источников гамма-излучения использовались <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am.

Для подавления β-излучения и низкоэнергетического гамма-излучения от источника <sup>137</sup>Cs, между источником и сцинтиллятором, в первом случае, помещали алюминиевую пластину толщиной 5 мм, во втором случае – медную пластину толщиной 2 мм. Все измерения проводились при комнатной температуре.

Амплитудные спектры, полученные с референсного и исследуемого детекторов, показаны на рисунке 1 и 2 соответственно. Черным и красным цветом отмечены данные, набранные от <sup>137</sup>Cs с алюминиевой пластиной и без пластины, синим цветом – с медной пластиной. Зеленым цветом отмечены данные, набранные с <sup>241</sup>Am.



**Рисунок 1.** – Амплитудные спектры с референсного детектора со сцинтиллятором GAGG(Ce).



**Рисунок 2.** – Амплитудные спектры с исследуемого детектора со сцинтиллятором ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF.

**1.2. Результаты:** Из полученных данных была найдена относительная эффективность регистрации гамма-излучения для детектора с ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF по сравнению с детектором с GAGG(Ce).

Для этого был выбран порог между событиями в пьедестале и событиями, относящимися к полезному сигналу, то есть непосредственно к регистрации гамма-излучения. Значение порога для детектора с GAGG(Ce) составило 6 мВ, для детектора с ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF – 12 мВ.

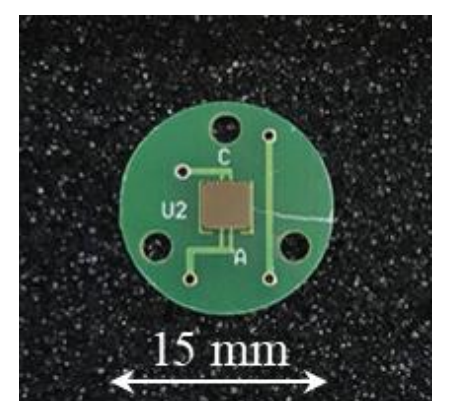
Затем для обоих детекторов было посчитано отношение числа событий после порога к полному числу событий. Относительная эффективность регистрации излучения от источника <sup>137</sup>Cs для детектора с ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF по сравнению с детектором с GAGG(Ce) составила 1.7±0.2%, для измерений с алюминиевой и медной пластинами 1.5±0.2% и 3.4±0.2% соответственно. Для измерений с источником <sup>241</sup>Am значение относительной эффективности регистрации получилось равным 0.6±0.2%.

### 2. Исследование сборки из сцинтиллятора ZnS(Ag)/LiF и двух SiPM на возможность получения пика от нейтронов

В данной работе проводится тестирование сборки из сцинтилляционного экрана ZnS(Ag)/LiF и двух SiPM на возможность получения в амплитудном распределении пика от нейтронов, что позволило бы повысить точность дискриминации нейтронного излучения.

**2.1. Измерения:** Для этого была разработана сборка, в которой считывание сигнала со сцинтилляционного экрана производится с обеих сторон одновременно двумя фотодетекторами. На обе стороны сцинтилляционного экрана с помощью оптического клея были приклеены два SiPM модели PM3315-WB. Каждый SiPM распаян на двух платах диаметром 15 мм (Рис.3), которые соединены параллельно и получают положительное напряжение питания с одной платы. Суммарный сигнал с обоих SiPM поступает на вход усилителя и затем на осциллограф, с помощью которого записывались осциллограммы сигнала длительностью 20 мкс. В качестве триггера использовался режим самозапуска с величиной порога 20 мВ.

Было проведено пять наборов данных, по 1000 осциллограмм каждый. Первые два набора были сделаны при включении только одного из двух SiPM на +3 В перенапряжения, второй SiPM в этот момент был отключен и, соответственно, экран считывался с одной стороны. Для оставшихся трех наборов данных оба SiPM работали при перенапряжениях +2.5, +3 и +4 В, соответственно экран считывался с двух сторон.

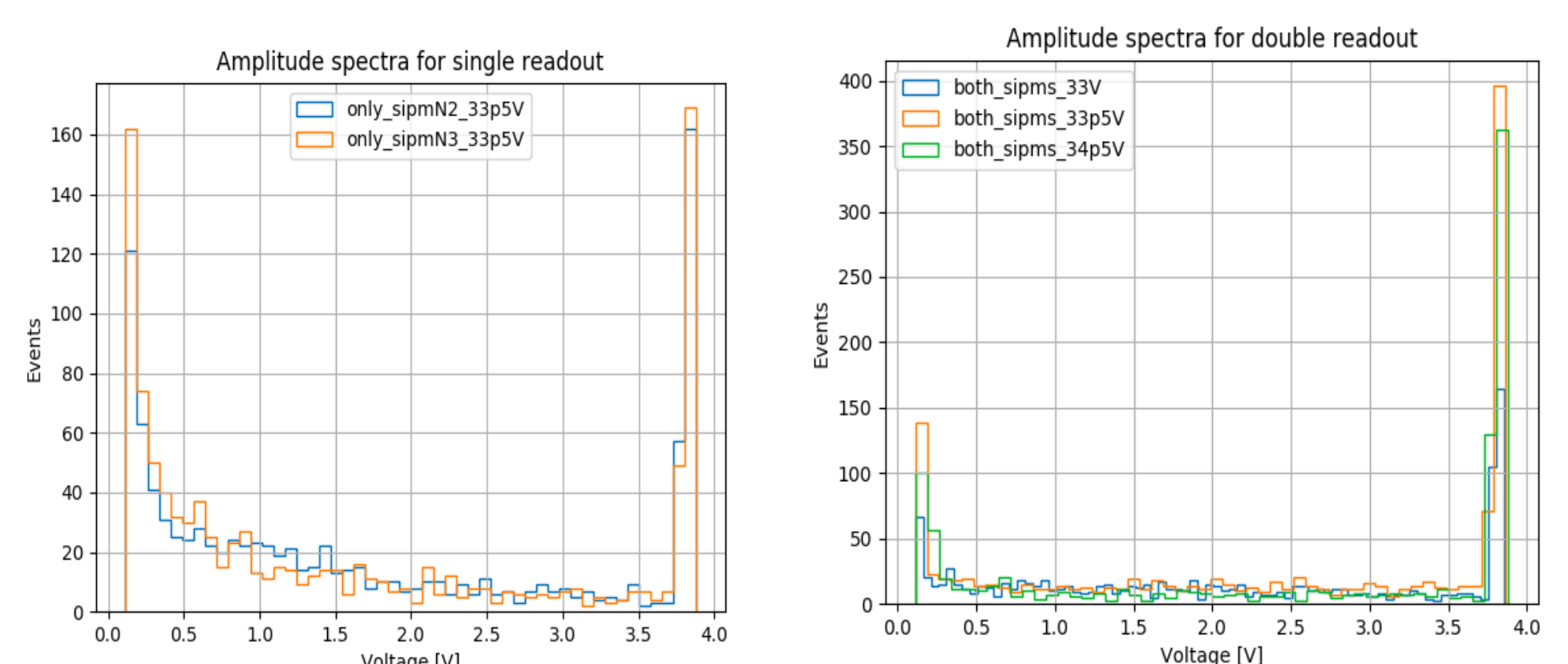


**Рисунок 3.** Фотография платы с распаянным SiPM.

Для дискриминации сигналов, вызванных взаимодействием нейтронов, и сигналов от гамма-квантов и заряженных частиц может быть использован метод дискриминации по амплитуде импульса с детектора. Данный метод заключается в том, что импульсы с амплитудой выше заданного порога отбираются как полезные.

При этом распределение амплитуд отобранных импульсов будет иметь форму плато. Разница в амплитудах импульсов и, соответственно, форма амплитудного спектра определяются разным положением точки взаимодействия нейтронов с ядрами лития – чем ближе к поверхности SiPM образовались альфа-частица или тритон, тем больше фотонов будет зарегистрировано. По причине плохого светосбора пик от нейтронов в амплитудном спектре не может быть получен.

**2.2. Результаты :** С помощью скрипта, написанного на языке Python, из набранных осциллограмм были получены амплитудные спектры (Рис.4). Из спектров видно, что пик от нейтронов отсутствует как при одностороннем считывании экрана, так и при двустороннем.



**Рисунок 4.** Амплитудные спектры при А) одностороннем считывании Б) двустороннем считывании сцинтилляционного экрана ZnS(Ag)/LiF.

### Список литературы

- [1] F. Pino et al., *Study of the thermal neutron detector ZnS(Ag)/LiF response using digital pulse processing*, *JINST*10(2015) T08005
- [2] C. Wu et al., *A study of ZnS(Ag)/<sup>6</sup>LiF with different mass ratios*, *Radiat. Meas.*58 (2013) 128.
- [3] [www.ketek.net/](http://www.ketek.net/)