

## Обработка и анализ данных детектора Timerix

А.А. Бычков<sup>1</sup>, А.В. Гуськов<sup>2</sup><sup>1</sup>Московский физико-технический институт (государственный университет)<sup>2</sup>Объединённый институт ядерных следований

В октябре 2015 года в ЦЕРНе на установке n\_TOF, представляющей собой импульсный нейтронный источник для проведения экспериментов в области ядерной физики, был проведен сеанс по регистрации нейтронов в широком диапазоне энергий детекторами на основе чипов Timerix. Целью данных измерений было получение данных о целесообразности применения полупроводниковых детекторов (GaAs, Si) для измерения величины нейтронного потока, а также о возможности использования данных детекторов для определения энергии регистрируемых нейтронов по параметрам сигналов в детекторе. В данной работе представлены результаты сравнения экспериментальных данных с результатами Монте-Карло моделирования.

Timerix является пиксельным чипом считывания, разработанным международной коллаборацией Medipix, для экспериментов в области физики элементарных частиц. Детектор на основе чипа Timerix состоит из полупроводникового кристалла (сенсора), толщиной несколько сотен микрон, соединенного с чипом Timerix методом перевернутого кристалла Рис.1. Чип Timerix представляет собой матрицу 256x256 независимых блоков электроники. Организованный таким образом детектор логически делится на пиксели размером 55 мкм x 55 мкм. каждый. В случае, если прохождение частицы через сенсор приводит к срабатыванию нескольких соседних пикселей, образуется кластер Рис.2. Электроника пикселя, в зависимости от режима его работа, позволяет определять как энерговыделение частицы в пикселе (режим time-over-threshold или TOT), так и время появления сигнала в пикселе (режим time-of-arrival или TOA).

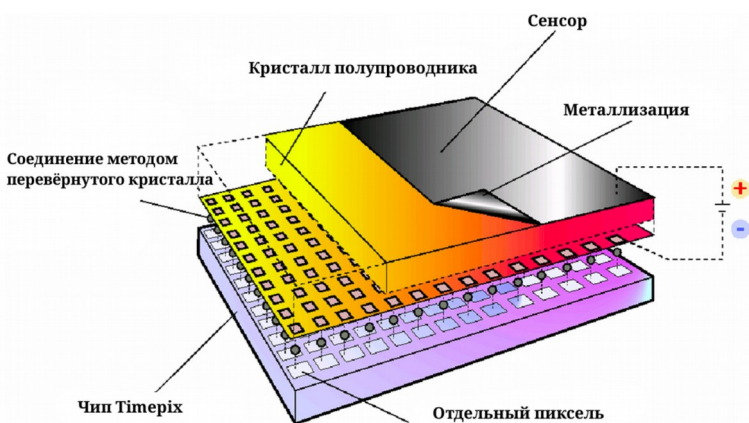


Рис. 1: Структура детектора Timerix.

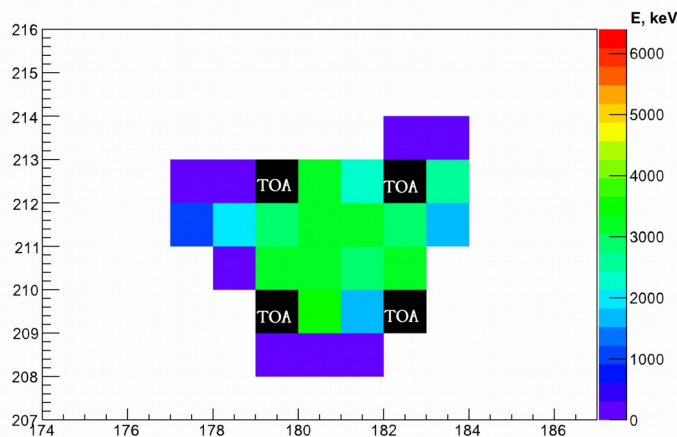


Рис. 2: Пример кластера, часть пикселей которого работает в режиме TOA, что позволяет определить относительное время его регистрации. Цвет пикселя характеризует энерговыделение частицы в нем.

Экспериментальная установка представляла собой сборку из двух детекторов на основе чипа Timerix, расположенных соосно на расстоянии 18 мм. друг относительно друга. Электроника детекторов была идентична и различие между ними состояло в материале кристалла сенсора (первый детектор был оснащен сенсором из арсенида галлия, второй - из кремния, толщина каждого сенсора составляла 300 мкм) Сборка располагалась перед выходом нейтронновода установки n\_TOF (CERN). За сборкой располагался гаситель пучка, представлявший собой блок из фторопласта.

После обработки экспериментальных данных были получены двумерные гистограммы зависимости энерговыделения в кластере от энергии нейтрона для детектора с GaAs сенсором (Рис. 3) и кремниевым сенсором (Рис. 4). Из гистограмм можно видеть что во всем диапазоне энергий нейтронов события с энерговыделением до 1 МэВ образуют широкую полосу как для GaAs так и для Si. Также видно, что в случае Si в нескольких диапазонах энергий нейтронов наблюдаются события с большим энерговыделением (до  $\sim 50$  МэВ), в то время как для GaAs похожий эффект наблюдается только при энергии нейтронов  $\sim 0.01$  МэВ и сравнительно слабо. С помощью метода идентификации частиц по параметрам кластера, было установлено, что события с энерговыделением в диапазоне 0.1 МэВ — 1 МэВ в основном являются электромагнитными, в то время как события с энерговыделением больше 1 МэВ — адронными.

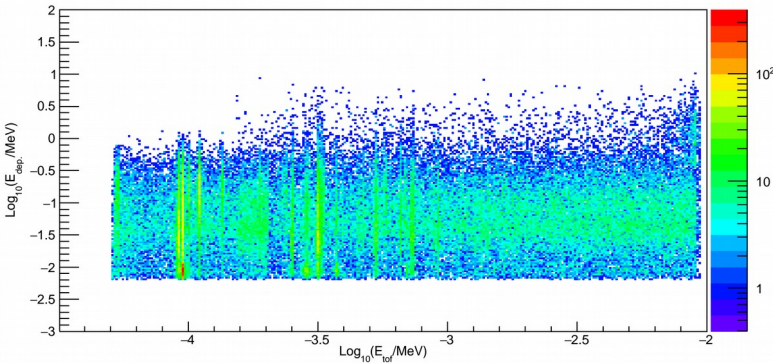


Рис. 3: Зависимости энерговыделения (логарифм величины энергии, выраженной в МэВ) в кластере от энергии нейтрона для детектора с GaAs сенсором.

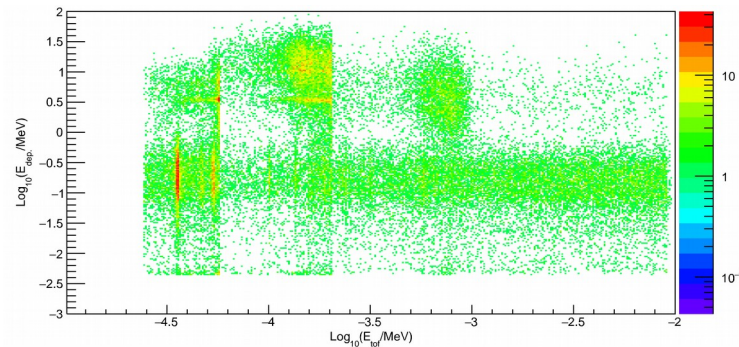


Рис. 4: Зависимости энерговыделения (логарифм величины энергии, выраженной в МэВ) в кластере от энергии нейтрона для детектора с кремниевым сенсором.

Для получения зависимости эффективности регистрации сенсоров и детекторов от энергии нейтронов и изучения влияния окружения детекторов на их эффективность регистрации было проведено Монте-Карло моделирование сборки детекторов. Для проведения моделирования была написана программа на основе пакета Geant4, предназначенного для моделирования прохождения элементарных частиц через вещество. В программе описывались геометрические параметры элементов установки и их относительное расположение, задавался химический состав всех элементов установки.

В результате моделирования были получены: зависимость эффективности регистрации сенсоров двух типов от энергии нейтронов (Рис. 5), зависимость эффективности регистрации детектора на основе Si сенсора от энергии при наличии гасителя пучка и при его отсутствии (Рис. 6), зависимость энерговыделения в детекторе с кремниевым сенсором от энергии нейтронов (Рис. 7). Можно видеть, что эффективность сенсора из GaAs на  $\sim 3$  порядка выше эффективности сенсора из Si вплоть до энергий  $\sim 10$  кэВ. Было установлено, что наличие скачка эффективности при энергиях выше  $\sim 10$  кэВ связано с вкладом ядер отдачи и других адронов. Из Рис. 6 можно установить, что в эффективность регистрации детектора заметный вклад вносит его окружение (впереди стоящий детектор с GaAs сенсором, компоненты самого детектора и др.) так как эффективность регистрации детектора на порядок выше эффективности регистрации сенсора. Наличие гасителя пучка практически не влияет на изменение эффективности регистрации детектора. Из гистограммы Рис. 7 было установлено отсутствие событий с высоким энерговыделением для нейтронов с энергией в диапазоне 1 - 1000 эВ, которые наблюдались экспериментально в детекторе с кремниевым сенсором.

Результаты данной работы будут использованы при планировании следующего сеанса набора данных на установке n\_TOF (CERN).

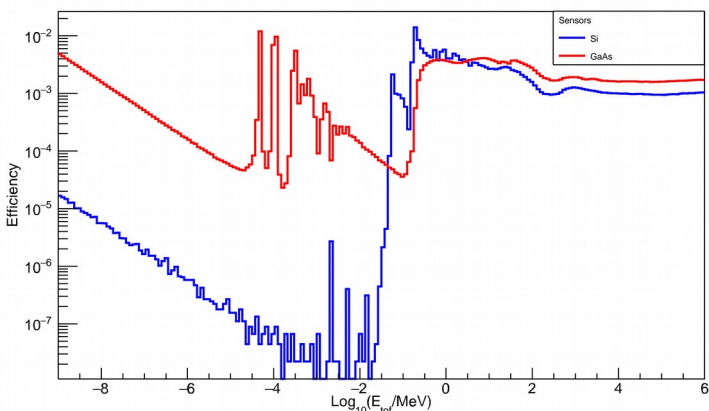


Рис. 5: Зависимость эффективности регистрации нейтронов сенсором из GaAs и Si от энергии нейтронов.

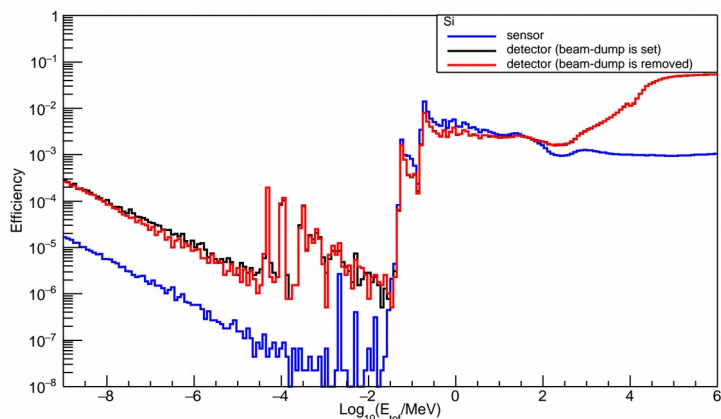


Рис. 6: Зависимость эффективностей регистрации нейтронов сенсором (Si) и детектором в отсутствии гасителя пучка и при его наличии от энергии нейтронов.

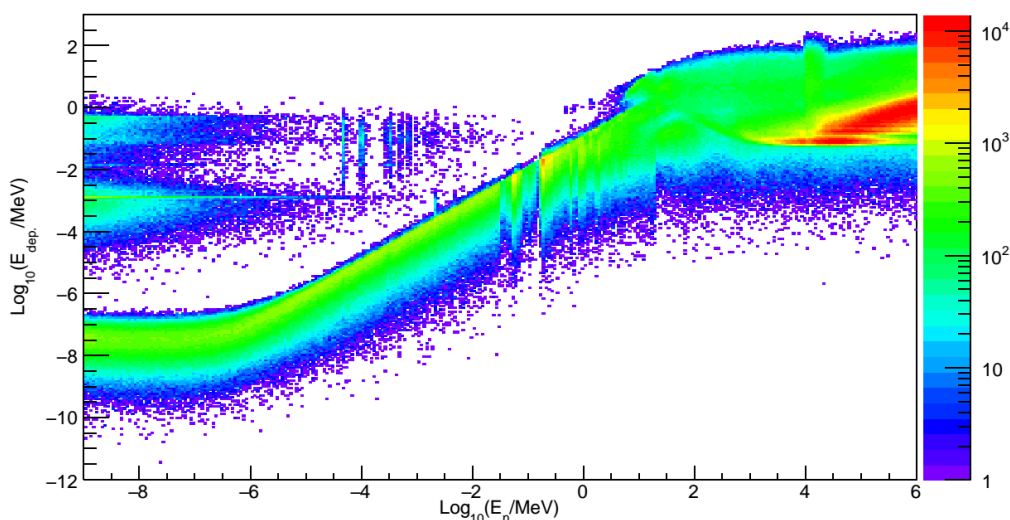


Рис. 7: Зависимость энерговыведения в детекторе с кремниевым сенсором от энергии нейтронов.

### Литература

- 1 X. Llopart, R. Ballabriga et al., Timepix, a 65k programmable pixel readout chip for arrival time, energy and/or photon counting measurements, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 581, Issue 1-2, p. 485-494.
- 2 C. Guerrero et al., Performance of the neutron time of flight facility n\_TOF at CERN (2013)
- 3 С. Беланова, А. В. Игнатюк и др. "Радиационный захват нейтронов" Справочник, Энергоатомиздат (1985)