

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ «МИФИ»

УДК 539.1.06

ОТЧЕТ

О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Изучение пространственной неоднородности светособирания детектора  
реакторных антинейтрино iDREAM

Руководитель НИР,  
к.ф.-м.н.

\_\_\_\_\_ Е.А.Литвинович

Студент

\_\_\_\_\_ А.А.Растимешин

Москва 2020

# Содержание

<b>Введение</b>	<b>3</b>
<b>1 Устройство детектора iDREAM</b>	<b>4</b>
<b>2 Анализ калибровочных данных детектора</b>	<b>7</b>
2.1 Проведение измерений . . . . .	7
2.2 Изучение неоднородности светособирания . . . . .	8
<b>Заключение</b>	<b>13</b>
<b>Список использованных источников</b>	<b>14</b>

# Введение

Целью данной работы было изучение неоднородности светособирания детектора iDREAM.

Неоднородность светособирания – это зависимость функции отклика детектора от положения источника излучения. Одними из основных факторов, влияющих на неоднородность светособирания, являются геометрия детектора, расположение ФЭУ, а также отражающие характеристики поверхности мишени.

Детектор iDREAM является экспериментальным образцом промышленного детектора для онлайн мониторинга ядерных реакторов на АЭС по характеристикам потока антинейтрино из активной зоны реактора. В настоящее время детектор проходит подготовку перед вывозом на Калининскую АЭС. В рамках подготовки производились калибровки детектора.

Из-за своих конструктивных особенностей, о которых более подробно будет рассказано ниже, данный детектор обладает большой неоднородностью светособирания. Данная работа посвящена оценке этой неоднородности.

# 1 Устройство детектора iDREAM

Детектор iDREAM представляет собой жидко-сцинтилляционный детектор с сцинтиллятором на основе линейного алкилбензола – ЛАБ, объемом  $1.1\text{ м}^3$ , предназначенный для регистрации реакторных антинейтрино по реакции обратного бета-распада:



Корпус детектора состоит из двух коаксиальных баков из листов нержавеющей стали толщиной 2 мм. Баки закрыты общей герметичной крышкой. Внутренний бак имеет диаметр 1254 мм и высоту 1320 мм. Дно бака во избежание образования «хлопунов», нарушающих рабочую геометрию детектора, усилено решеткой из стальных брусков толщиной 20 мм. Внутренний бак жестко закреплен на дне наружного бака и разделен по высоте на две части выпуклой прозрачной мембраной из акрила с вертикальной трубкой по центральной оси диаметром 180 мм и высотой 470 мм. Мембрана уплотнена между фланцами нижней и верхней частей бака кольцевыми уплотнителями из витона. Снаружи узел уплотнения мембраны закрыт светонепроницаемым кольцеобразным экраном. Пространство под мембраной объемом  $1.1\text{ м}^3$  изолировано от общего объема детектора, заполняется ЖОС и является мишенью детектора. Пространство объемом  $0.5\text{ м}^3$  над мембраной заполняется чистым ЛАБ и является буфером. Внутренний бак закрыт крышкой с круглыми окнами – центральное окно диаметром 200 мм для вывода трубки мембраны и 16 окон диаметром 210 мм для установки 16 узлов ФЭУ Hamamatsu R5912, просматривающих мишень через прозрачные буфер и мембрану. Фотокатоды ФЭУ погружены в ЛАБ буфера. [1] [2]

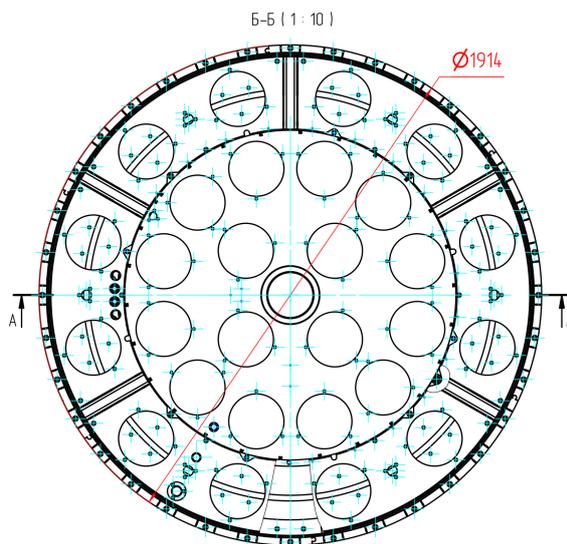
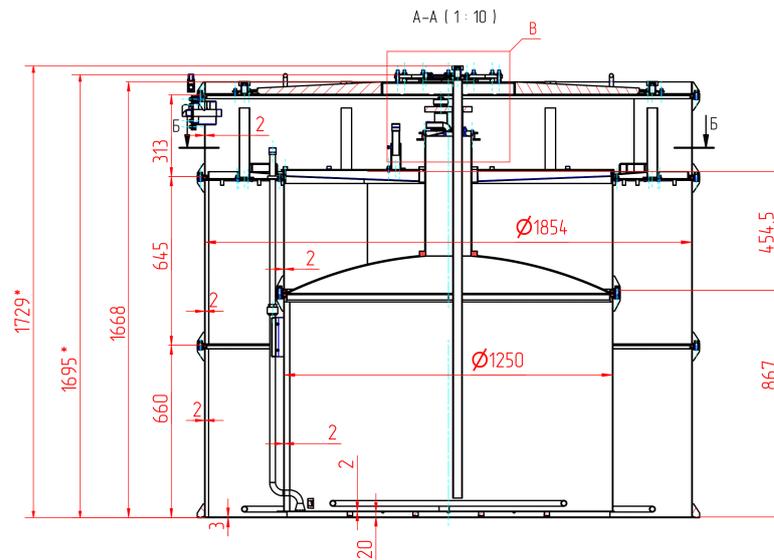


Рисунок 1 – Чертеж детектора iDREAM

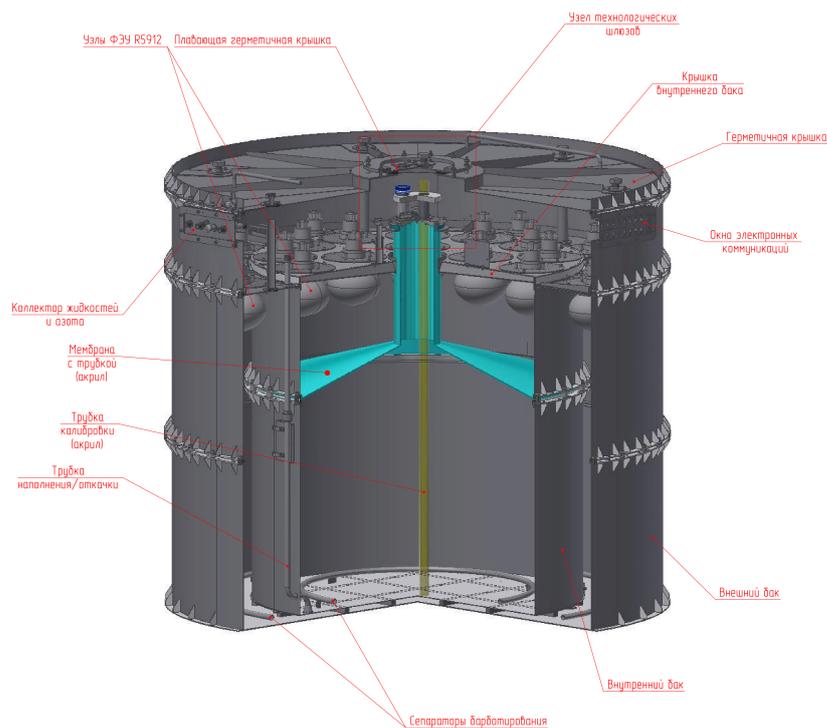


Рисунок 2 – Общий вид детектора iDREAM

Следствием такой конструкции, выбранной из требований, предъявляемых к промышленному детектору (в их числе: простота, компактность, невысокая стоимость), является высокая неоднородность светособирания. Для её компенсации в конструкцию между ФЭУ и мишенью был введен прозрачный буфер, выравнивающий сбор фотонов люминесценции. Тем не менее, буфер не подавляет неоднородность светособирания полностью. Для ещё большей компенсации используется пленка из люмира, которой покрывается дно внутреннего бака, однако, по техническим причинам, пленка отсутствовала на детекторе во время сбора данных.

## 2 Анализ калибровочных данных детектора

### 2.1 Проведение измерений

Для анализа неоднородности светособирания использовался источник гамма-квантов (0.662 МэВ)  $^{137}\text{Cs}$ , помещенный в герметичный контейнер из нержавеющей стали. Детектор имеет вертикальный канал для ввода источников излучения, представляющий собой акриловую трубку, расположенную в сцинтилляторе (внутри самой трубки сцинтиллятора нет).

Контейнер с источником может перемещаться на любое расстояние от крышки детектора до его дна.

При проведении измерений источник перемещался по вертикальному каналу со дна детектора до отметки в 815 миллиметров с шагом по 100 миллиметров, а начиная с отметки 815 миллиметров и до 1115 миллиметров – с шагом по 50 миллиметров. На каждой отметке производились измерения энергии частиц на протяжении 100 секунд. Результаты замеров записывались в ROOT файлы.

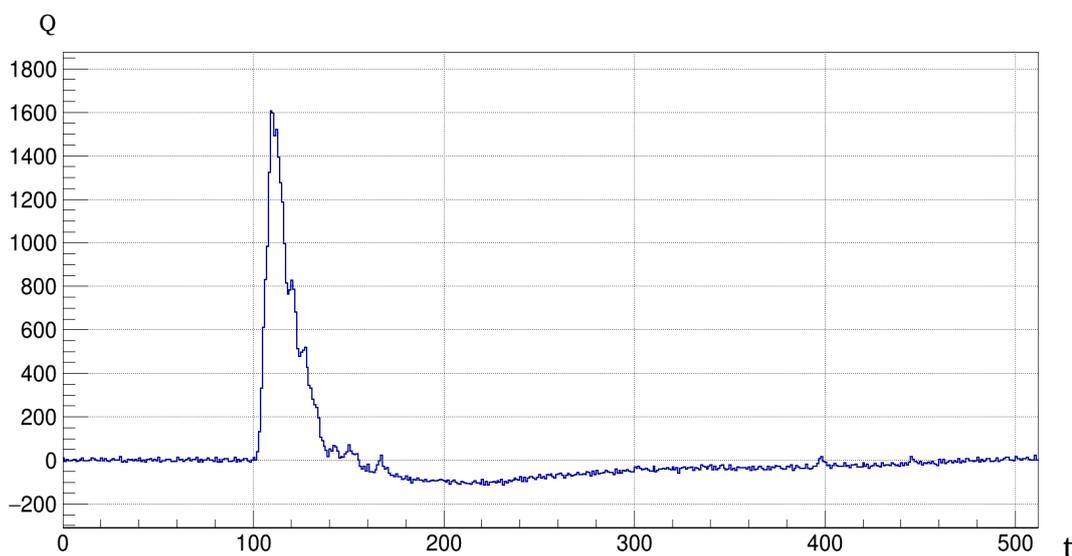


Рисунок 3 – Вид сигнала с детектора при попадании  $\gamma$ -кванта в мишень.

## 2.2 Изучение неоднородности светособирания

Для того, чтобы найти энергию, выделившуюся при попадании частицы в мишень, необходимо сначала посчитать заряд (в условных единицах), образовавшийся в ФЭУ. Для того, чтобы это сделать, необходимо проинтегрировать пик, представленный на рисунке 4. После этого необходимо перевести условный заряд в энергию гамма-кванта с помощью деления полученного заряда на коэффициент QE [канал/МэВ]. Данный коэффициент получается экспериментально: выбирается реперное значение высоты (реперная точка), для неё подбирается коэффициент QE таким образом, чтобы энергия, после деления на QE, получилась равной 0.662 МэВ.

Область интегрирования, в свою очередь, может определяться двумя способами:

1. В первом случае интегрирование производится на фиксированном промежутке (рис.4): интегрируется отрезок фиксированной величины в окрестности пика. Для всех сигналов промежутки остаются одним и тем же относительно положения пика. В данном случае необходимо обратить внимание на «хвост» (область графика с отрицательными значениями после пика). Если его наличие никак не учесть, то при интегрировании этот участок может попасть в область интегрирования, что приведет к искажению результата. Чтобы это исключить, необходимо провести деконволюцию сигнала.

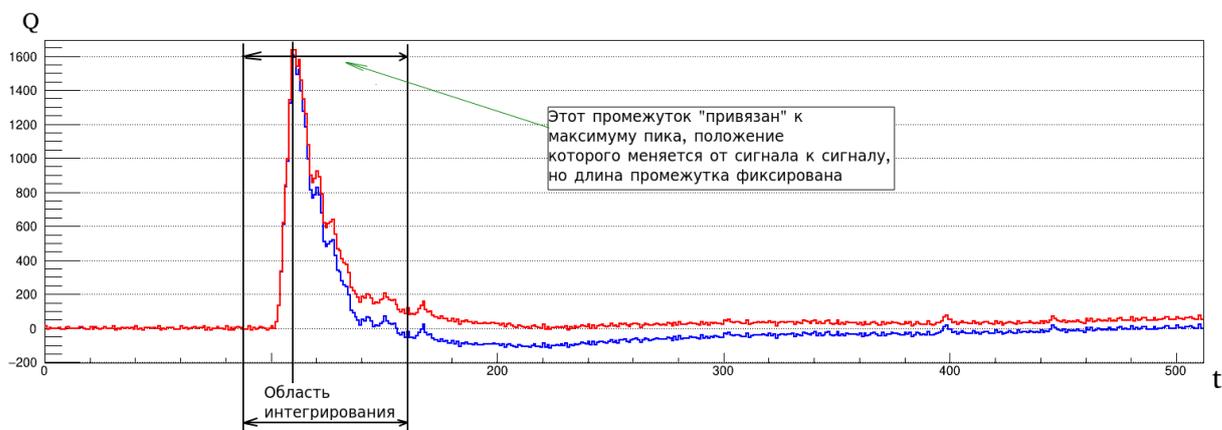


Рисунок 4 – Вид сигнала при попадании  $\gamma$ -кванта до деконволюции (синий) и после (красный) с указанием области интегрирования. Интегрирование производится по красному сигналу.

2. Во втором случае интегрирование производится «от нуля до нуля»: берется точка по оси  $t$  в которой начинается рост пика (слева) и точка, в которой значение пика достигает нуля (справа). По этой области производится интегрирование. Очевидно, что для каждого сигнала отрезок, на котором производится интегрирование, будет разным и будет напрямую зависеть от формы сигнала. Производить деконволюцию сигнала не требуется.

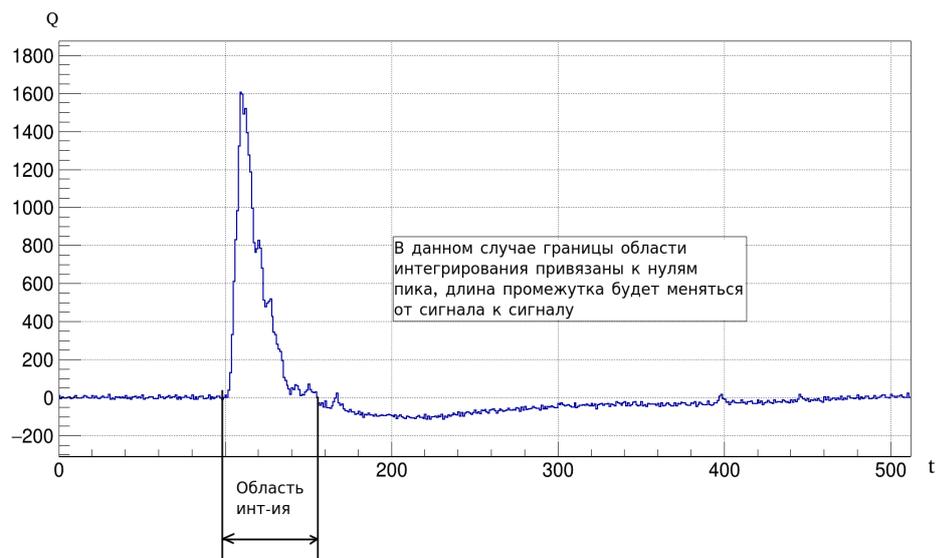


Рисунок 5 – Вид сигнала с детектора при попадании  $\gamma$ -кванта в мишень с указанием области интегрирования

В дальнейшем будет произведено сравнение обоих способов.

После вычисления энергий, выделившихся в каждом событии, были построены энергетические спектры для каждого положения источника. Приведем в качестве примера спектр на высоте 415 миллиметров. Эта точка была выбрана в качестве реперной поскольку она находится в центре мишени. Видно, что максимум распределения приходится на энергию 0.662 МэВ.

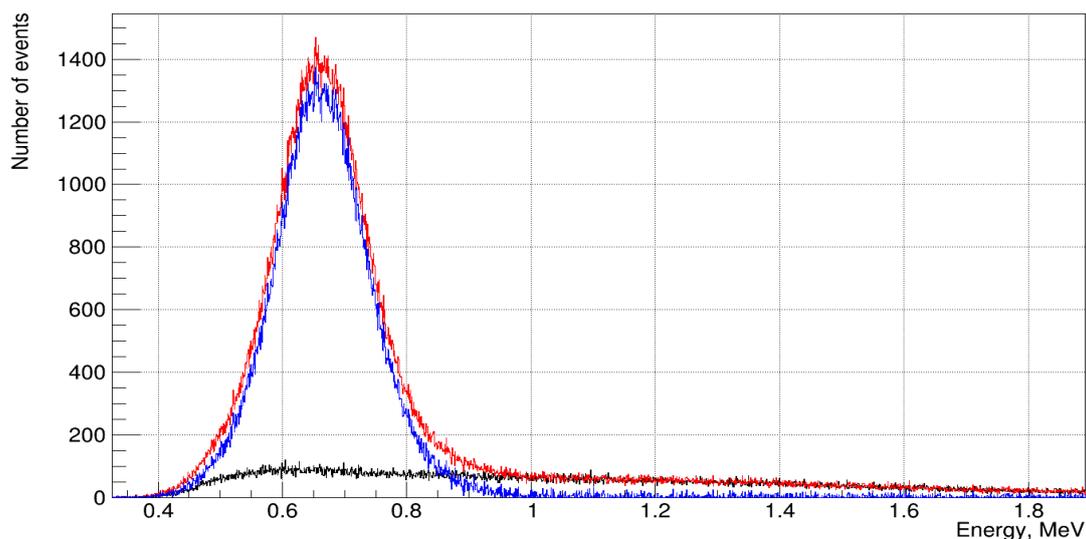


Рисунок 6 – Энергетический спектр излучения на высоте 415 миллиметров. Красным показан спектр  $^{137}\text{Cs}$  с фоном, синим показан спектр  $^{137}\text{Cs}$  без фона, черным показан спектр фона.

На этом моменте мы подошли к моменту непосредственного наблюдения неоднородности светособирания. Если на одном графике построить спектры для нескольких разных положений источника, то получим картину, представленную на рисунке 7. Видно, что зарегистрированная энергия зависит от положения источника.

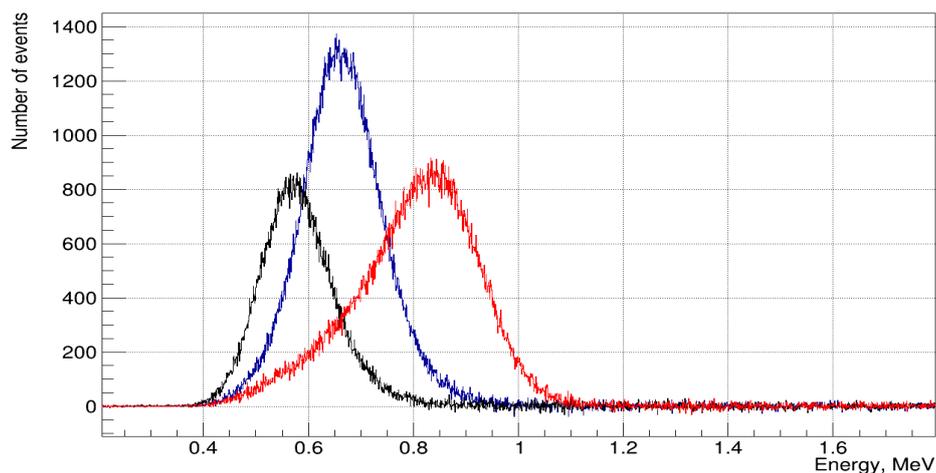


Рисунок 7 – Энергетические спектры излучения на высотах 115мм (черный), 415мм (синий) и 865мм (красный).

Для большей наглядности построим график зависимости отношения  $\frac{E_i}{E_{415}}$  (рис. 8), где  $E_i$  – энергия на  $i$ -ой высоте,  $E_{415}$  – энергия на высоте 415 мм

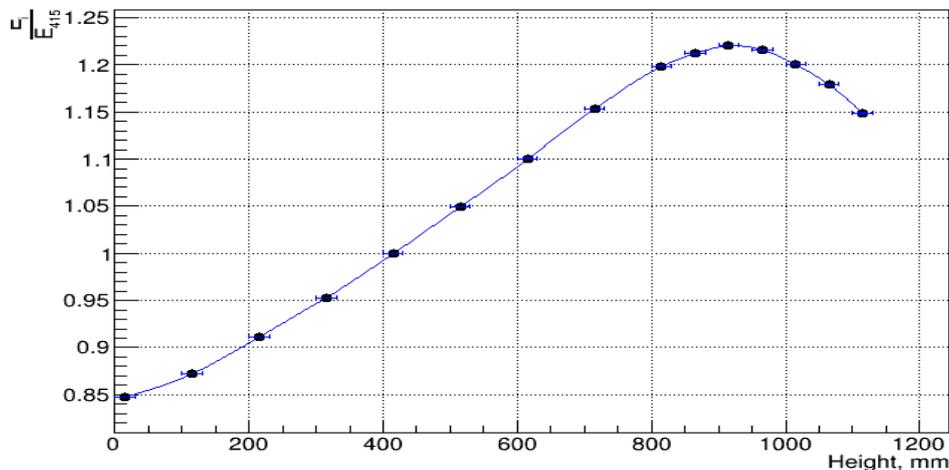
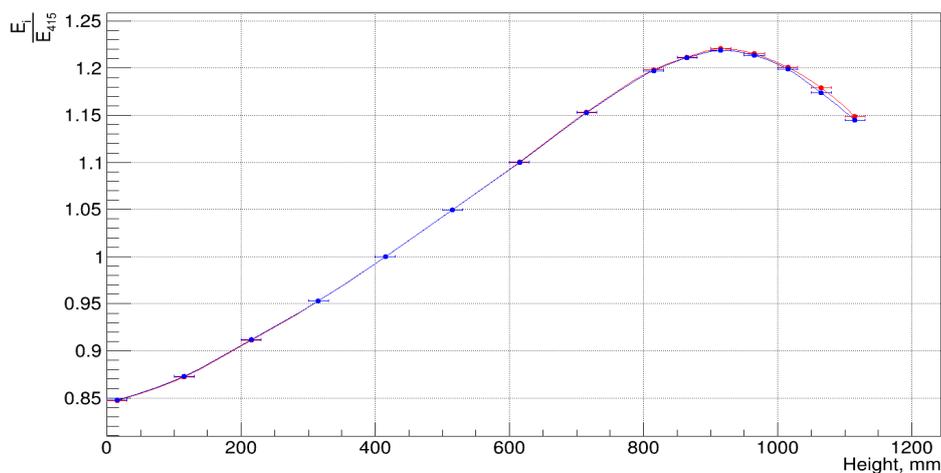


Рисунок 8 – Неоднородность светосбора вдоль вертикальной оси детектора

Из рисунка 8 следует, что отклонение светособирания относительно положения источника на высоте 415 миллиметров составляет (-15%; +22%).

Приведенные выше результаты получены при применении второго способа определения энергии. Для сравнения с первым способом проведем аналогичные действия, а для наглядного сравнения изобразим на одном графике зависимости неоднородности светосбора от положения источника.



3

Рисунок 9 – Неоднородность светосбора вдоль вертикальной оси детектора при определении области интегрирования первым способом (красный) и вторым (синий)

Видно, что зависимости практически не отличаются друг от друга. Исходя из этого, можно утверждать, что в рамках данной задачи оба способа дают одинаковые результаты.

В свою очередь значение полученной неоднородности говорит об необходимости дальнейших работ по улучшению светособирания детектора, в первую очередь, об установке светоотражающего люмира на поверхности мишени.

## Заклучение

Проведена калибровка детектора iDREAM источником гамма-квантов  $^{137}\text{Cs}$ , перемещаемым вдоль вертикальной оси детектора.

На основе анализа калибровочных данных исследована пространственная неоднородность светосбора детектора, которая составила  $(-15\%, +22\%)$  относительно геометрического центра детектора. В дальнейшем планируется установка светоотражающего покрытия на дно детектора и проведение нового цикла калибровок. Будет проведено сравнение полученных результатов с данными моделирования в Geant4.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] М. Б. Громов и др. «Промышленный детектор iDREAM для мониторинга режимов работы атомных реакторов нейтринным методом». в: *Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия* 3 (2015). ISSN: 0579-9392.
- [2] М. Б. Громов и др. *Техническое описание опытного образца детектора iDREAM*. 2016.