# Разработка сцинтилляционного спектрометра для детектирования реакторных антинейтрино

Студент — Р. Р. Биктимиров <sup>1, 2</sup> Научный руководитель — Д. В. Попов <sup>1, 2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

 $^{2}$ Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



### Введение

### Мотивация:

- Проведение независимого мониторинга состояния и состава топлива ядерного реактора, а также оценка мощности и дистанционный контроль его энерговыработки.
- Поиск «новой физики» и развитие нейтринной физики ядерных реакторов.

### Цель:

Сборка блока модульного детектора реакторных антинейтрино на основе органических пластиковых сцинтилляторов и определение его спектрометрических характеристик. Задачи:

- Определение спектрометрических характеристик и сравнение по ним между собой пластиковых сцинтилляторов;
- Определение спектрометрических характеристик и сравнение по ним между собой вакуумных ФЭУ;
- Одбор оптимальной конфигурации блока модульного детектора реакторных антинейтрино.



Сцинтилляционный спектрометр



Спектрометр: пластиковый (полистирол с добавками ПОПОП и п-терфенил) сцинтиллятор размерами (70 × 5 × 5) см, сигнал с которого снимается вакуумными ФЭУ с диаметром фотокатода 46,5 мм. Блок представляет собой сборку из нескольких спектрометров.



### Схема установки



Функциональный вид установки (не в масштабе): 1 — вакуумный ФЭУ, 2 — кювета, 3 — оптический диффузор, 4 — LED-драйвер (далее — источник). Генератор высокого напряжения, делитель, кабель питания, сигнальный провод и АЦП на рисунке не обозначены.



## Зарядовые спектры с ФЭУ при различных яркостях светодиода



¢

Насыщение  $\Phi \exists \forall (U=1250B = const)$ 



Зависимость дисперсии кривой отклика ФЭУ от среднего. Красная линия — ожидаемая зависимость:  $D = k \cdot \mu$ 



### Зависимость отклика ФЭУ от подаваемого напряжения



Зависимость среднего значения кривой отклика ФЭУ от подаваемого на него напряжения, аппроксимированная законом [1], где n = 10 — кол-во динодов, a — свободный параметр.



#### Разработка спектрометра



### Зависимость отклика ФЭУ от подаваемого напряжения



Зависимость относительного разрешения кривой отклика ФЭУ от подаваемого напряжения 🚫

### Сравнение ФЭУ по относительному разрешению



e paspeue

Относите

13.5

В данной работе было произведено измерение основных спектрометрических характеристик различных ФЭУ:

- найден предел на амплитуды их сигналов (до 600 мВ);
- определен рабочий диапазон подаваемого напряжения питания (от 950 до 1150 В);
- в рабочей области (по амплитуде и напряжению) ФЭУ полностью соотносится с эмпирическим законом [1].

По полученным в ходе эксперимента данным было произведено сравнение ФЭУ между собой по величине их относительного разрешения. Существенных отличий по этому параметру обнаружено не было, поэтому для дальнейшей работы будут использованы все образцы.



# Спасибо за внимание, до новых встреч!





•



### Зависимость отклика ФЭУ от напряжения

Напряжение, Вольт





Зарядовые спектры источников

Зарядовые спектры источников излучения



Разработка спектрометра

$$S(Q) = \int_{0}^{E_{max}} S_{th}(E) \cdot N \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_{E}(E)} \cdot e^{-\frac{(E - kQ - b)^{2}}{2\sigma_{E}^{2}(E)}} dE,$$

где  $S_{th}(E)$  — спектр по энерговыделению, получаемый методом Монте-Карло; E — энергия;  $\sigma_E(E)$  — энергетическое разрешение:  $\sigma_E(E) = E \cdot \sqrt{\alpha^2 + \frac{\beta^2}{E} + \frac{\gamma^2}{E^2}}$ , где  $\alpha$  — параметр, характеризующий неоднородность светособирания детектора;  $\beta$  — статистический параметр, зависящий от числа фотоэлектронов;  $\gamma$  — параметр шумов электроники; k — коэффициент пропорциональности между наблюдаемой энергией  $E_{vis}$  и условным зарядом Q в линейном приближении:  $E_{vis} = k \cdot Q + b$ , где коэффициент b отвечает за смещение нуля по оси энергии; N — нормировка.



Энергетическая шкала сцинтилляционного детектора в области E = 0,340 - 1,062 МэВ





Относительное энергетическое разрешение (в единицах ПШПВ)





Fig. 4. Energy dependent resolution  $\Delta L/L$  for the fabricated plastic scintillator.

а)Ү.Кіт и др.[1]



1. Energy Resolution of the Fabricated Plastic Scintillator / Y. Kim [и др.]. — 2018. 2. Dietze G., Klein H. GAMMA-CALIBRATION OF NE 213 SCINTILLATION COUNTERS // Nuclear Instruments and Methods. — 1982.

