

Калибровка энергетической шкалы модуля детектора реакторных антинейтрино

Студент — Р. Р. Биктимиров^{1, 2} Научный руководитель — Д. В. Попов^{1, 2}

¹Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»

²Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»



Цели и задачи

Цель:

подбор оптимальной конфигурации модульного детектора реакторных антинейтрино путем определения его спектрометрических характеристик посредством анализа экспериментально полученных данных.

Задачи:

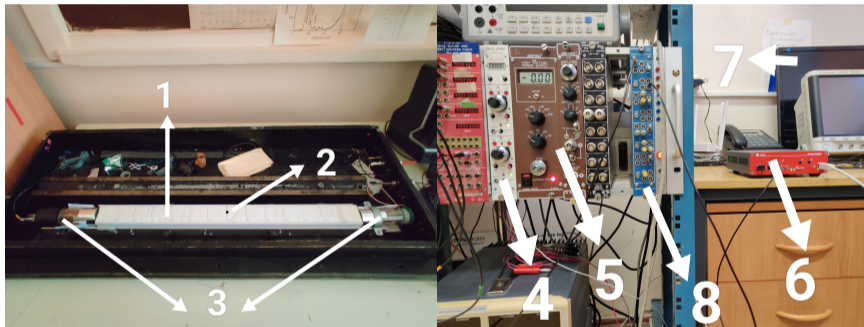
- 1 калибровка энергетической шкалы детектора;
- 2 определение энергетического разрешения детектора;
- 3 определение функции отклика детектора.

Мотивация:

- проведение независимого мониторинга состояния и состава топлива реактора;
- оценка мощности ядерного реактора.



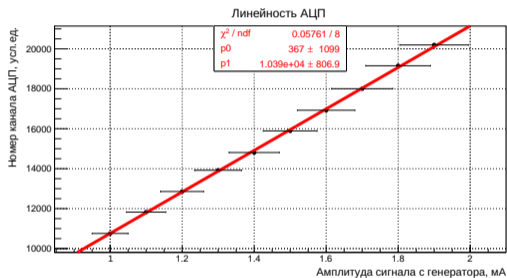
Схема установки



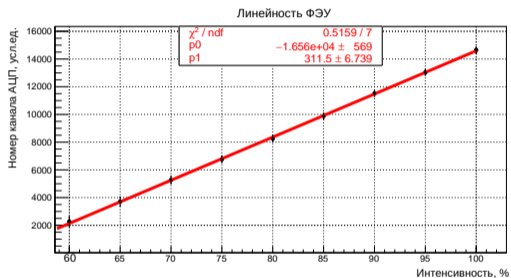
1 - сцинтиллятор с размерами (70 × 5 × 5) см; 2 - источник радиоактивного излучения; 3 - два ФЭУ; 4, 5 - источники высокого напряжения; 6 - АЦП; 7 - ПК, 8 - «Fan In Fan Out (сумматор)».



Линейность электроники



Зависимость номера канала АЦП от амплитуды поступающего на него сигнала



Зависимость номера канала АЦП от интенсивности светового диода



Экспериментальные спектры

Зарядовые спектры источников

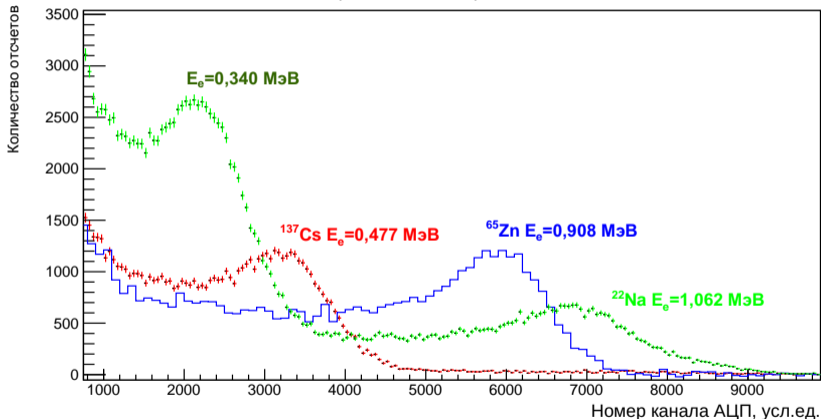


Рисунок — Зарядовые спектры источников излучения



Функция отклика детектора

$$S(Q) = \int_0^{E_{\max}} S_{\text{th}}(E) \cdot N \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot \sigma_E(E)} \cdot e^{-\frac{(E - kQ - b)^2}{2\sigma_E^2(E)}} dE,$$

где $S_{\text{th}}(E)$ — 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 α — параметр, характеризующий максимально допустимое относительное разрешение при высоких энергиях; β — статистический параметр, зависящий от числа фотоэлектронов; γ — параметр шумов электроники; k — коэффициент пропорциональности между наблюдаемой энергией E_{vis} и условным зарядом Q в линейном приближении: $E_{\text{vis}} = k \cdot Q + b$, где коэффициент b отвечает за смещение нуля по оси энергии; N — нормировка.



Аппроксимация спектров модельной зависимостью

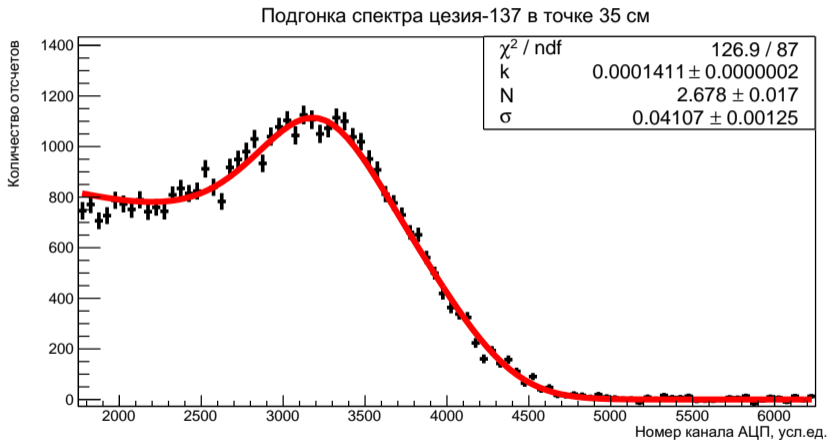


Рисунок — Аппроксимация зарядового спектра ^{137}Cs в точке 35 см



Энергетическая шкала

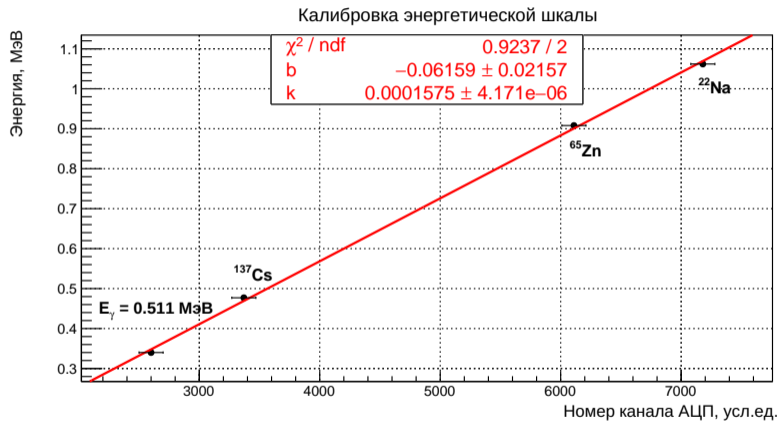


Рисунок — Энергетическая шкала сцинтилляционного детектора в области $E = 0,340 - 1,062 \text{ МэВ}$

Относительное разрешение

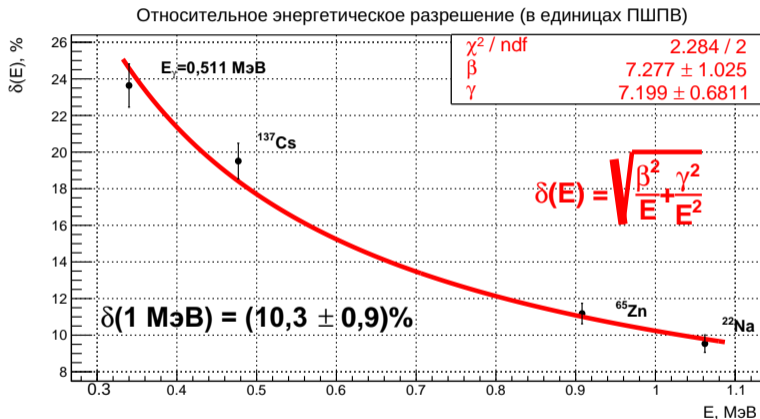


Рисунок — Относительное энергетическое разрешение (в единицах ПШПВ)



Заключение

В данной работе была произведена калибровка энергетической шкалы пластикового сцинтилляционного детектора и определена зависимость относительного энергетического разрешения от энергии. По полученным в ходе эксперимента данным было определено:

- В исследуемой области энергий шкала линейна;
- Значение относительного энергетического разрешения для $E = 1$ МэВ составило:

$$\delta(1 \text{ МэВ}) = (10,3 \pm 0,9)\% \text{ (в единицах ПШПВ).}$$



Спасибо за внимание,
до новых встреч!



Дополнительные слайды: неоднородность светособирания

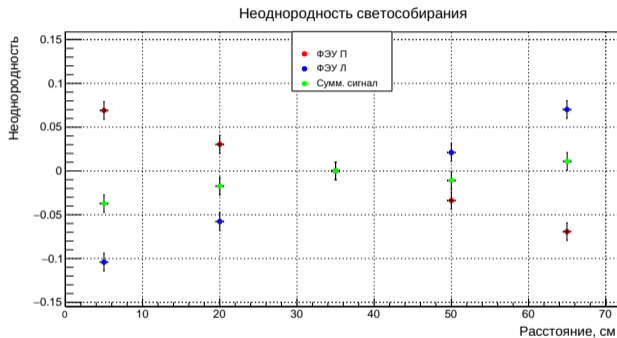


Рисунок — Неоднородность светособирания пластикового сцинтиллятора

Макс. отклонение для сумм. сигнала составило $\approx 4\%$



Дополнительные слайды

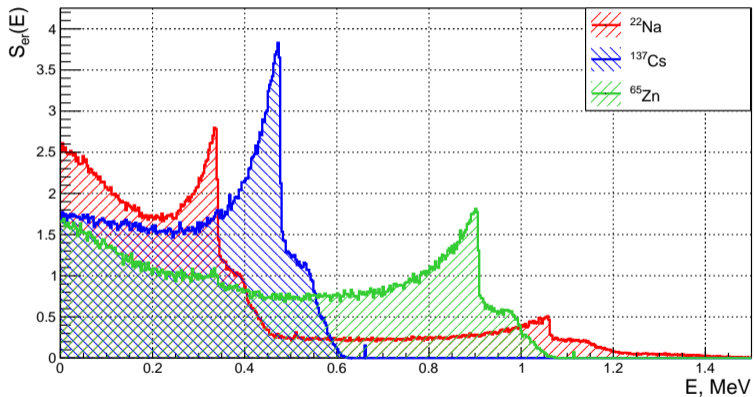


Рисунок — Спектры по энергосодержанию



Дополнительные слайды

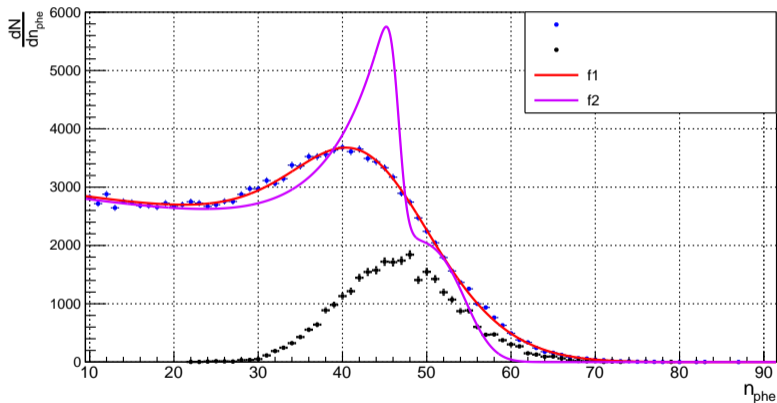


Рисунок — Спектр с разыгранными моно-электронами с энергией комптоновского края



Дополнительные слайды

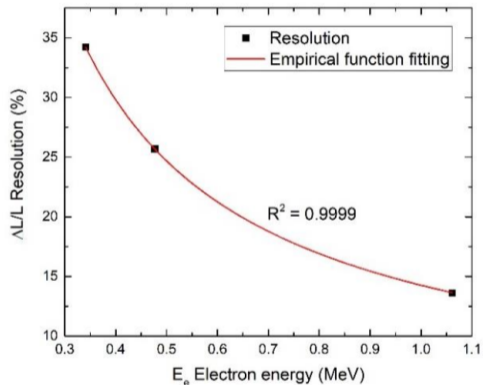
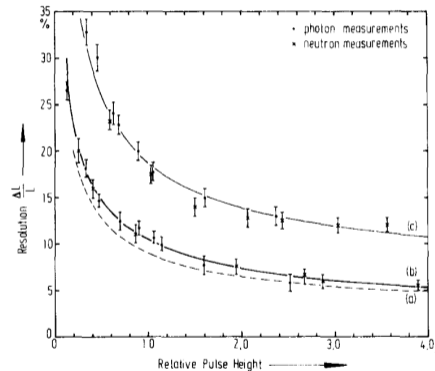


Fig. 4. Energy dependent resolution $\Delta L/L$ for the fabricated plastic scintillator.

а) Y. Kim и др. [1]



б) Klein и Dietze [2]



Дополнительные слайды: относительное разрешение

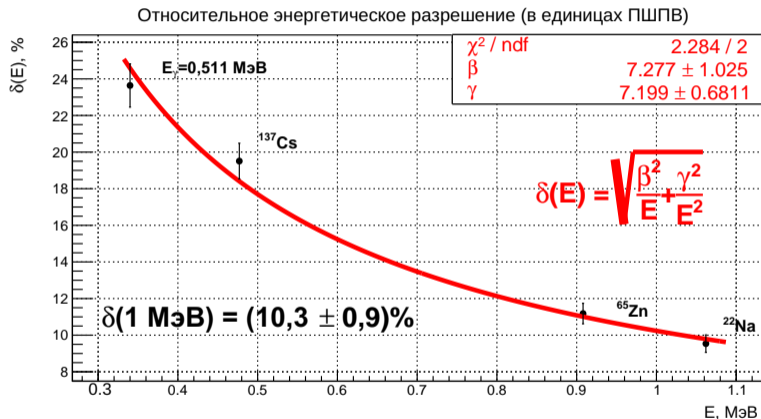


Рисунок — Относительное энергетическое разрешение (в единицах ПШПВ)



Дополнительные слайды: список литературы

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.

