

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК
ПРОТЯЖЕННЫХ СЦИНТИЛЛЯТОРОВ
СКАНИРУЮЩИМ РАДИОАКТИВНЫМ
ИСТОЧНИКОМ**

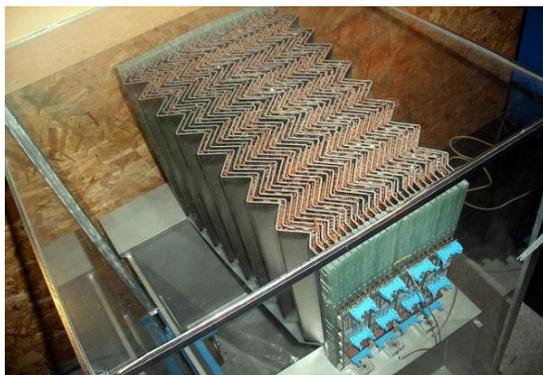
**Студент 609 гр.
Петров А. Н.**

**Научный руководитель
Анфимов Н. В.**

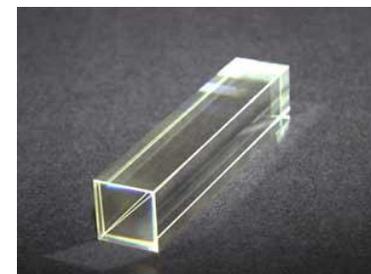
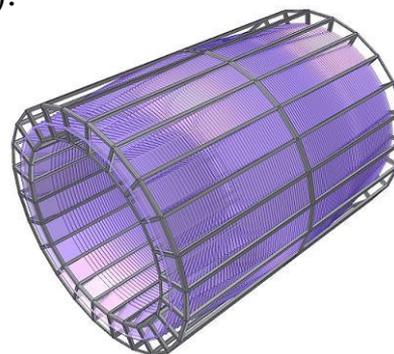
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КАЛОРИМЕТРЫ

Гетерогенные

Гомогенные



- NaI(Tl)** Сферический трехслойный калориметр ИЯФ им. Г. И. Будкера (Новосибирск).
- BGO** Коллайдер ВЭПП-2М ИЯФ им. Г. И. Будкера (Новосибирск).
- PWO** CMS и ALICE на LHC, FermiLab.
- CsI(Tl)** CLEO-II (Корнеллский университет, США),
«BaBar» (PEP-II, SLAC, США),
«Belle» (КЕКВ, Япония).



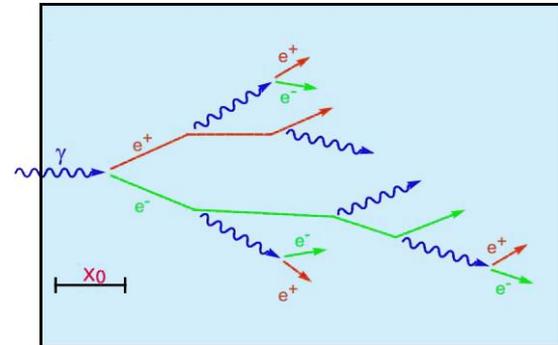
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ $e^+ / e^- / \gamma$ С ВЕЩЕСТВОМ МОНОКРИСТАЛЛА

e^+ / e^- тормозное излучение

γ фотоэффект,
комптоновское рассеяние,
рождение $e^+ e^-$ пар.

При энергии $E_\gamma, E_e \geq 1$ ГэВ основной процесс для γ -кванта - рождение электрон-позитронной пары, для e^+ / e^- - рождение тормозного фотона

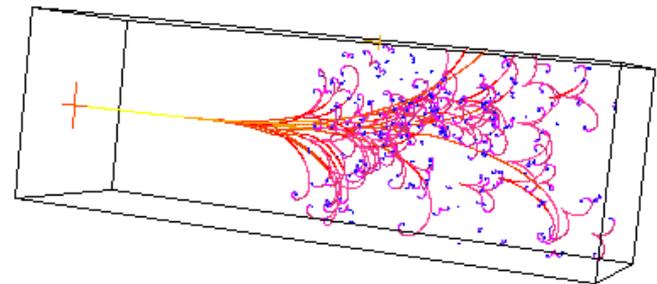
Возникает **электромагнитный ливень** γ, e^+, e^- до E_c . $E_c \approx 800/Z$



Радиационная длина $X_0 = 1/\mu$
в $N = N_0 e^{-\mu X}$

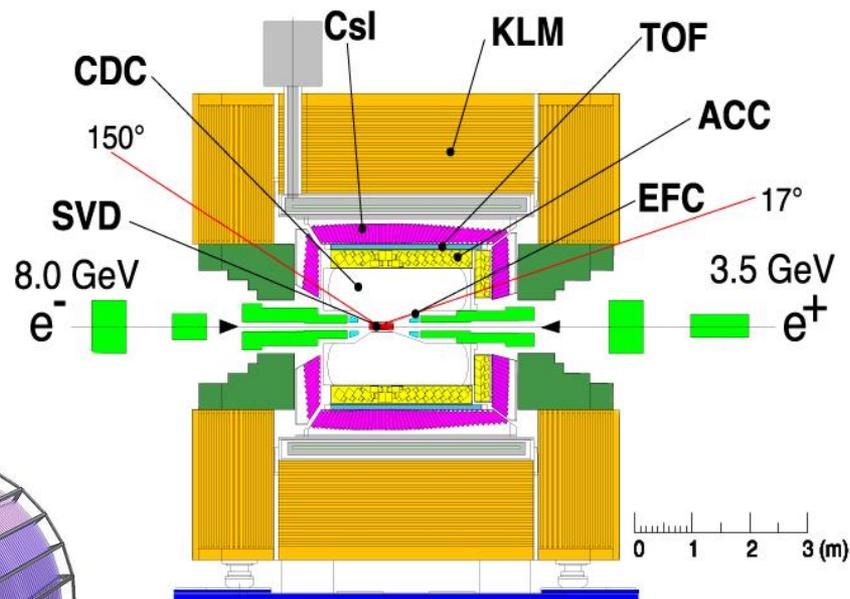
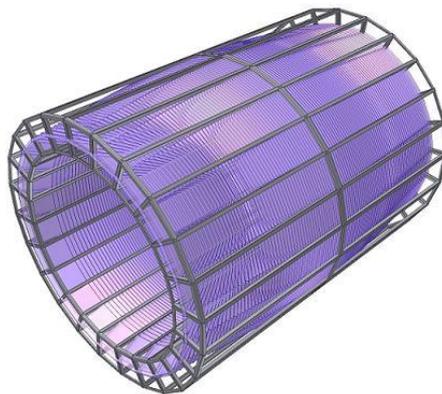
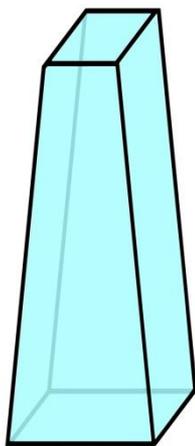
Радиус Мольера $R_M \approx X_0 (Z + 1,2)/37,34$

Разрешение $\frac{\sigma_E}{E} = \frac{a_{\text{внутр}}}{\sqrt{E}} \oplus \frac{a}{\sqrt{E}} \oplus b \oplus \frac{c}{E}$



Belle II

- Увеличение светимости пучка с 1.5×10^{34} $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$ до 8×10^{35} $\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$
- Модернизация ЭМ калориметра
- Замена CsI(Tl) на CsI
- Контроль качества кристалла
- Контроль неоднородности световыхода

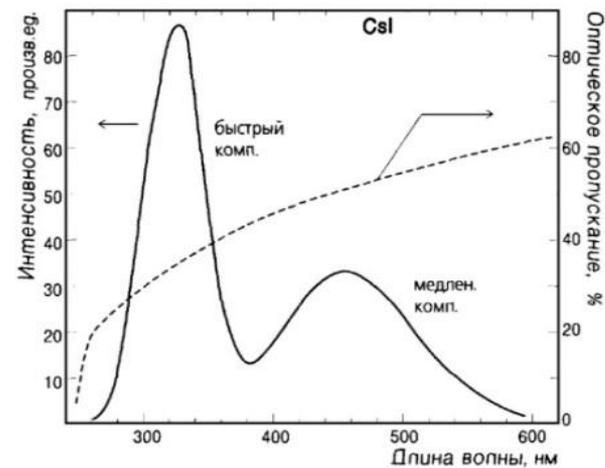


ЙОДИД ЦЕЗИЯ CsI



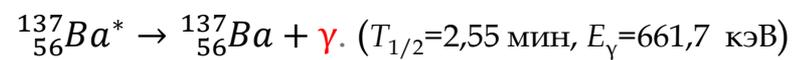
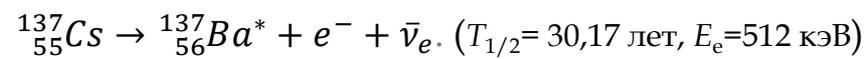
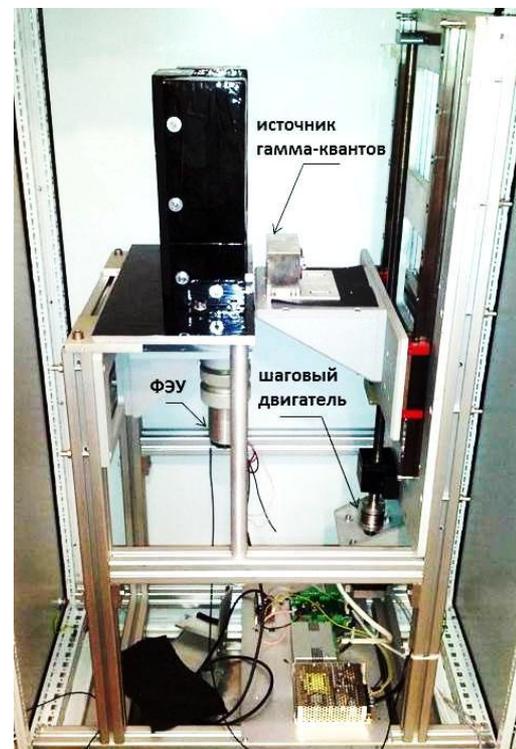
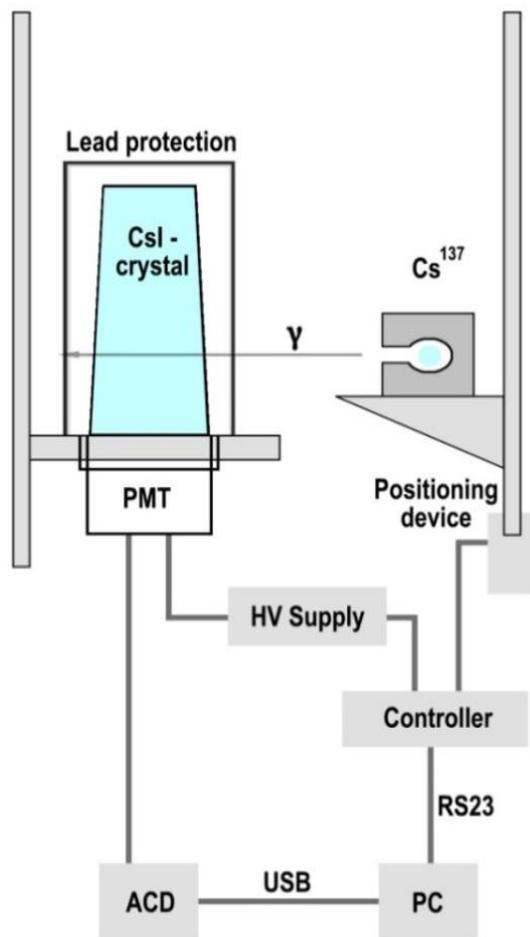
$$F/T = \frac{I_{Fast}}{I_{Total}}$$

I_{Fast} - световойход быстрой компоненты,
 I_{Total} - полный световойход.



Параметр	CsI(Tl)	CsI
d, г/см ³	4,51	4,51
X ₀ , см	1,86	1,86
R _M , см	3,57	3,57
λ _{max} , нм	560	420/310
τ, нс	1220	30/6
СВ, % от (NaI(Tl))	165	3,6/1,1
Гигроскопичность	Слегка	Слегка

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА



АНАЛИЗ ДАННЫХ

$$F/T = \frac{I_{Fast}}{I_{Total}}$$

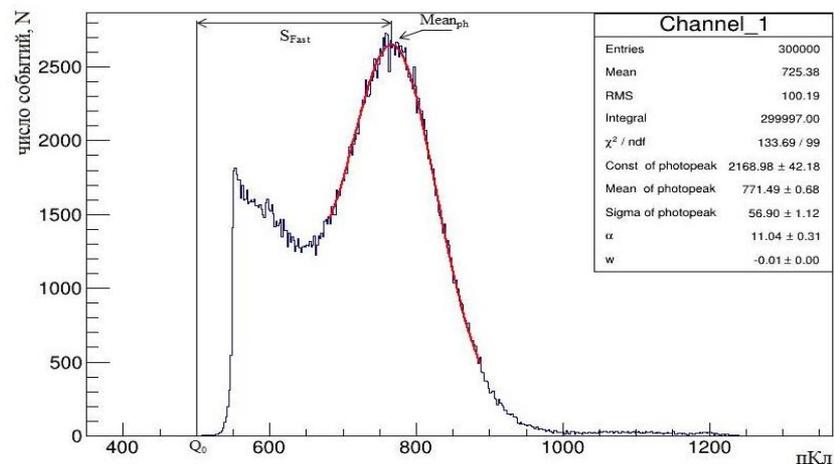
$$I_{Fast(Total)} = \frac{S_{Fast(Total)}}{G}$$

S – сигнал,
 G – коэффициент усиления ФЭУ,
 μ – среднее число фотоэлектронов

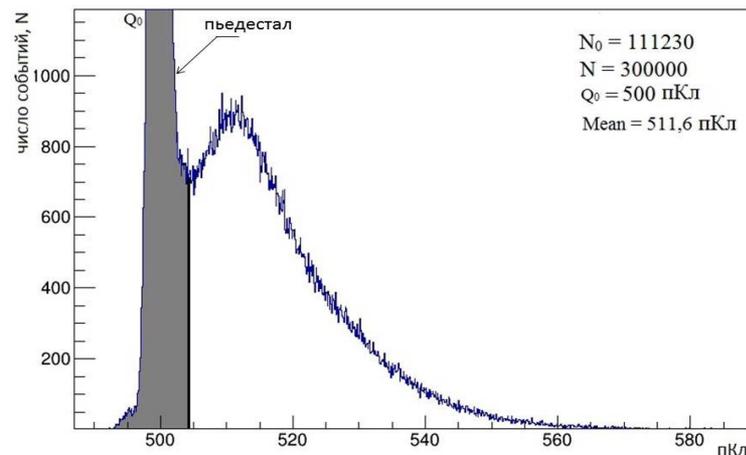
Калибровка методом вспышек
 малой интенсивности [1]

$$G = \frac{S}{\mu} \quad \mu = -\ln(P(\mu, 0)) = -\ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$

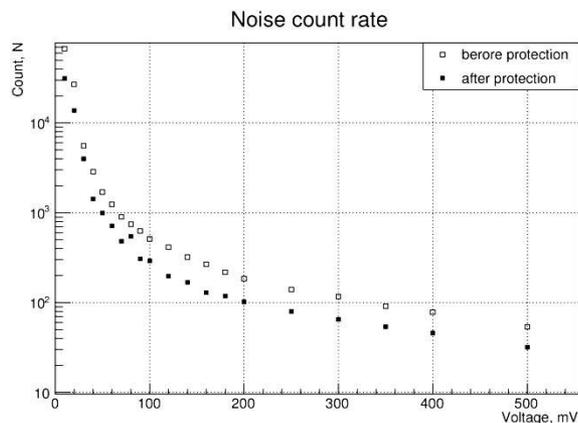
[1] J. Budagov, I. Chirikov-Zorin et al. Energy resolution of a lead scintillating fiber electromagnetic calorimeter. Nucl. Instr. and Meth. A343 (1994) 476.



$$f(x) = Ae^{-(x - \text{Mean}_{ph})^2 / 2\sigma^2} + Be^{-\alpha x}$$



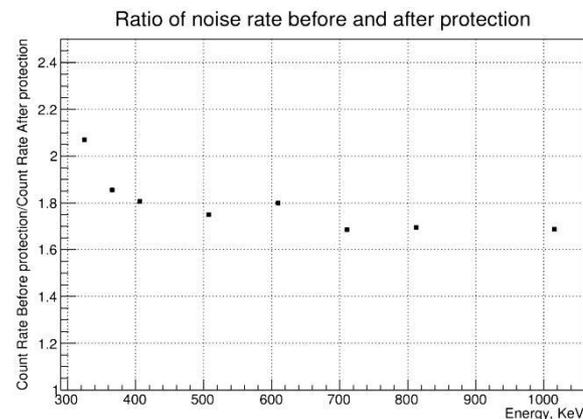
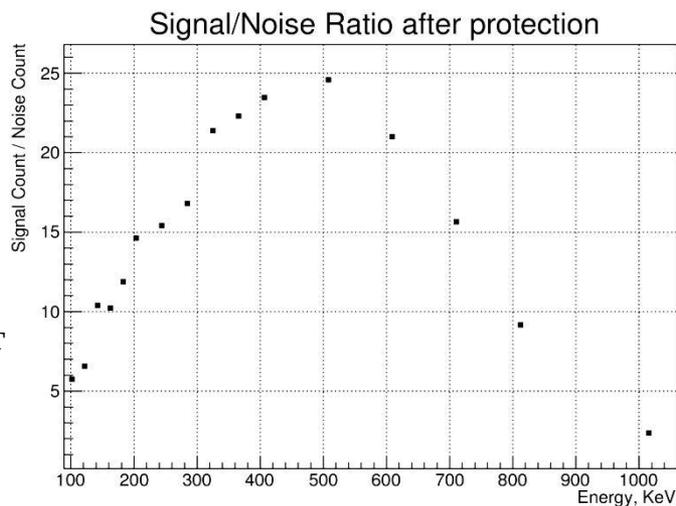
ЗАЩИТА ОТ РАДИАЦИОННОГО ФОНА



Счетная характеристика
ФЭУ до и после защиты

В области фотопика счет
от радиоактивного
источника превышает
темновой счет в ≈ 18 раз

Отношение сигнал шум
после установки защиты



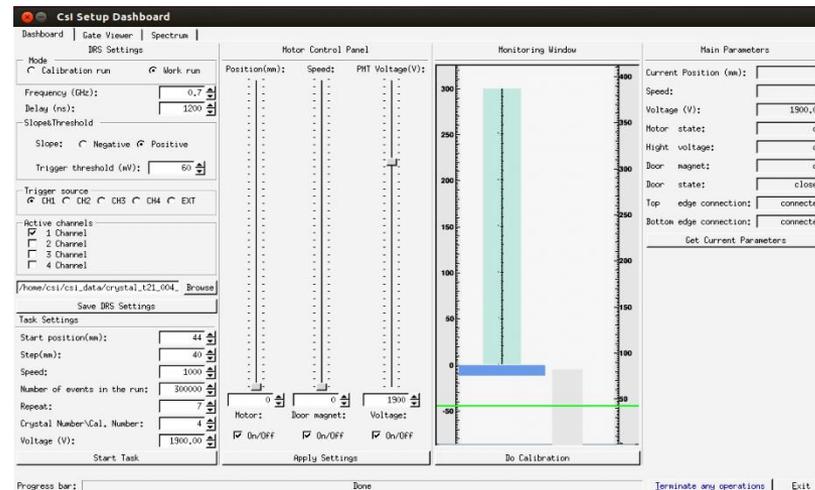
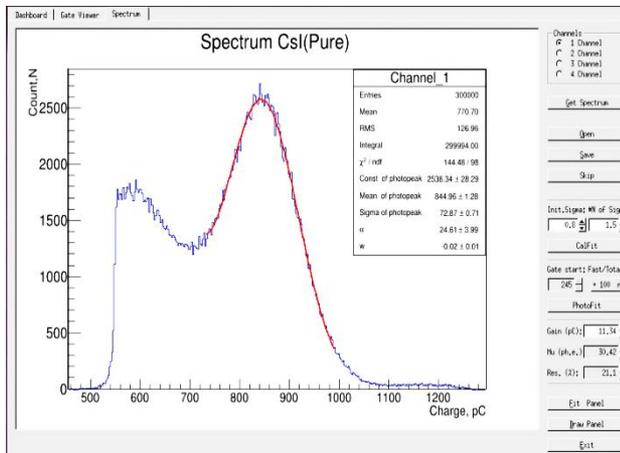
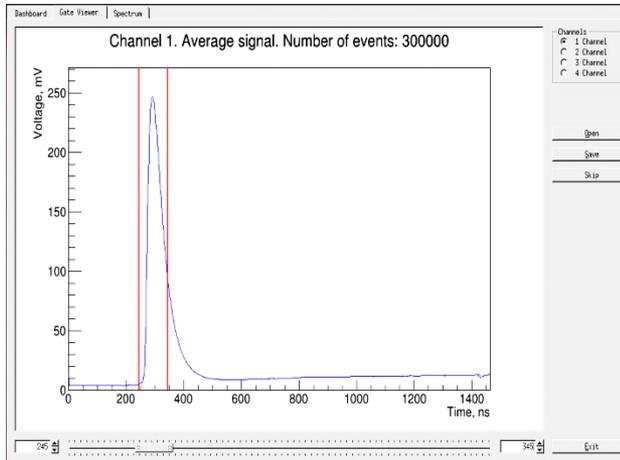
Отношение счетных
характеристик ФЭУ до
и после защиты

В результате защиты
шумы в области
фотопика удалось
снизить в $\approx 1,7$ раза

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

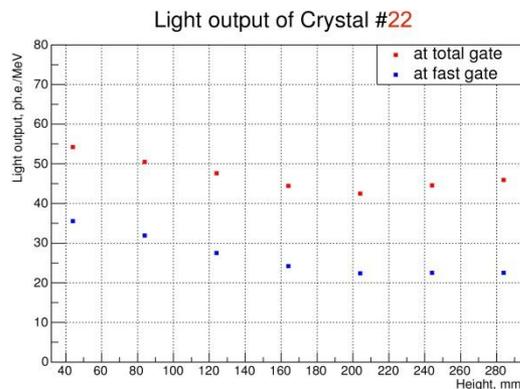
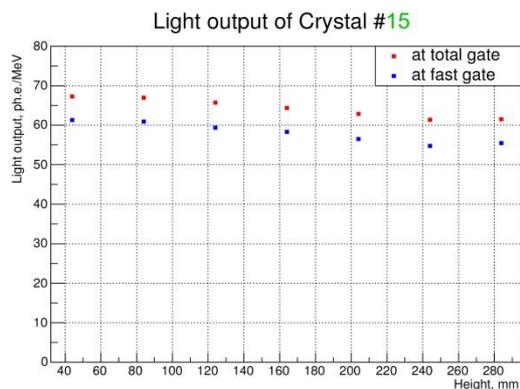
ПО позволяет:

- управлять установкой и устанавливать параметры задачи измерения;
- устанавливать временные интервалы интегрирования;
- строить зарядовые спектры в выбранных интервалах интегрирования, аппроксимировать их с помощью заранее заданных функций;

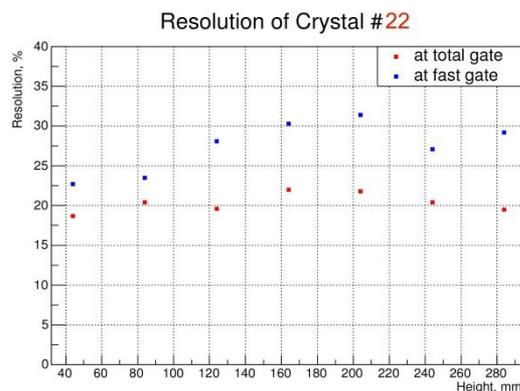
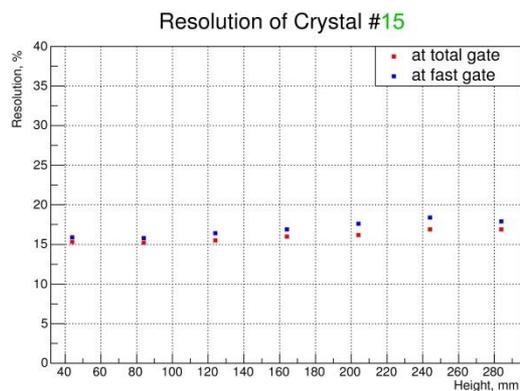
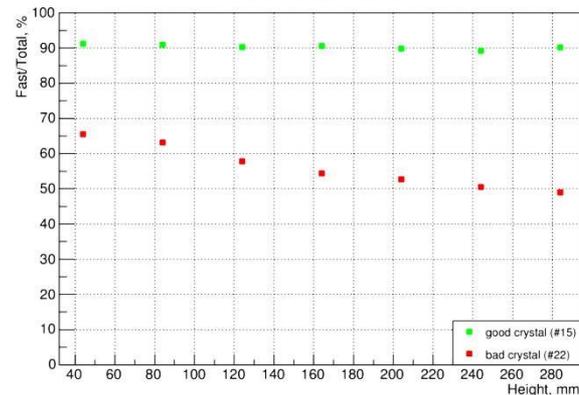


ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Световой выход и разрешение двух кристаллов чистого CsI во временном интервале интегрирования 100 и 1000 нс.

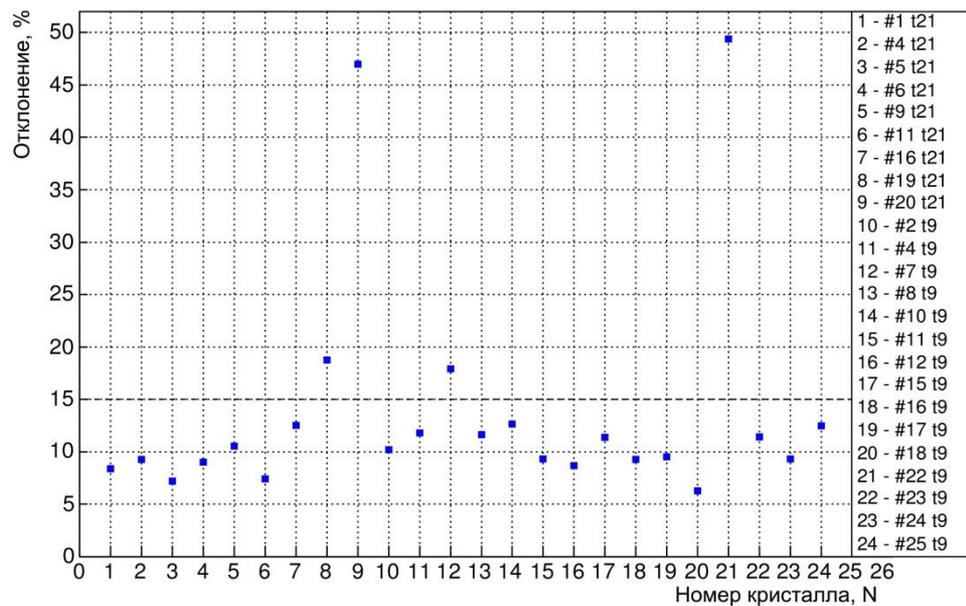


Отношение F/T по всей длине кристалла для кристаллов 15 и 22
Fast/Total Ratio



$$Res_{Fast(Total)} = \frac{\sigma_{ph}}{S_{Fast(Total)}}$$

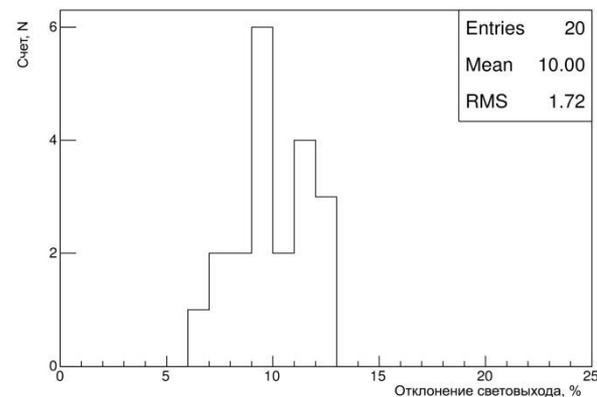
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ



Неоднородности световыхода кристаллов чистого CsI (100 нс)

$$D = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{avr}}$$

Гистограмма неоднородности световыхода кристаллов CsI (100 нс)



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1) Проведено усовершенствование установки по изучению характеристик сцинтилляционных кристаллов чистого йодида цезия для возможности использования малоинтенсивных источников радиоактивного излучения;
- 2) Разработано программное обеспечение на основе пакета ROOT, позволяющее проводить измерения в автоматическом режиме, обрабатывать сигналы, полученные с ФЭУ, и проводить анализ энергетических спектров;
- 3) Изучены характеристики 24 кристаллов чистого йодида цезия (световыход, энергетическое разрешение, отношение Fast/Total);
- 4) Проведены исследования неоднородности кристаллов CsI; доля высококачественных кристаллов с неоднородностью менее 15% составило около 80% из числа исследуемых.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !



КАЛИБРОВКА ФЭУ

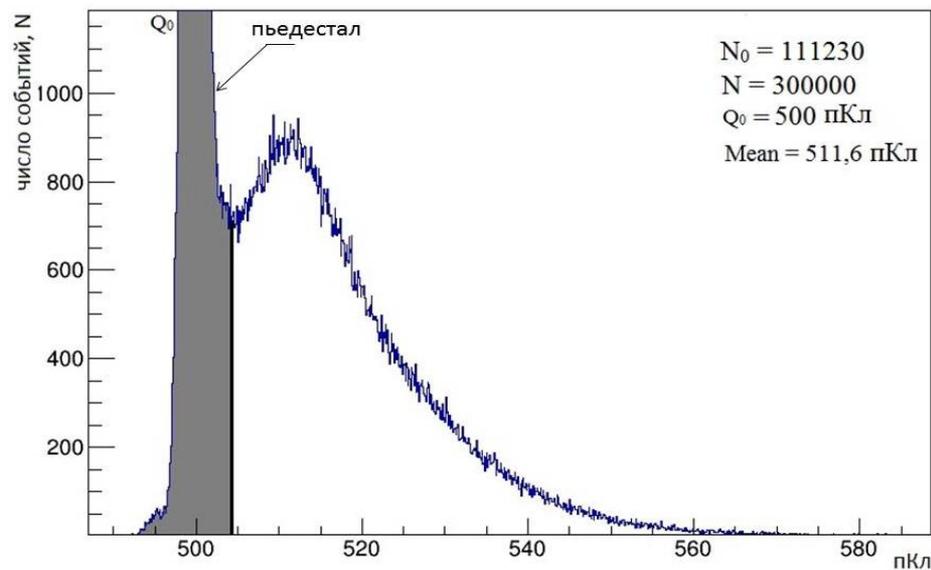
$$G = \frac{S}{\mu}$$

$$S = \text{Mean} - Q_0$$

$$P(\mu, n) = \frac{\mu^n e^{-\mu}}{n!} \rightarrow$$

$$P(\mu, 0) = e^{-\mu} \rightarrow$$

$$\mu = -\ln(P(\mu, 0)) = -\ln\left(\frac{N_0}{N}\right)$$



$$I_{Fast} = \frac{S_{Fast}}{G}$$

$$I_{Total} = \frac{S_{Total}}{G}$$