

Измерение радиационной стойкости

кристаллов чистого CsI

для детектора Belle-2

В.Н. Жилич

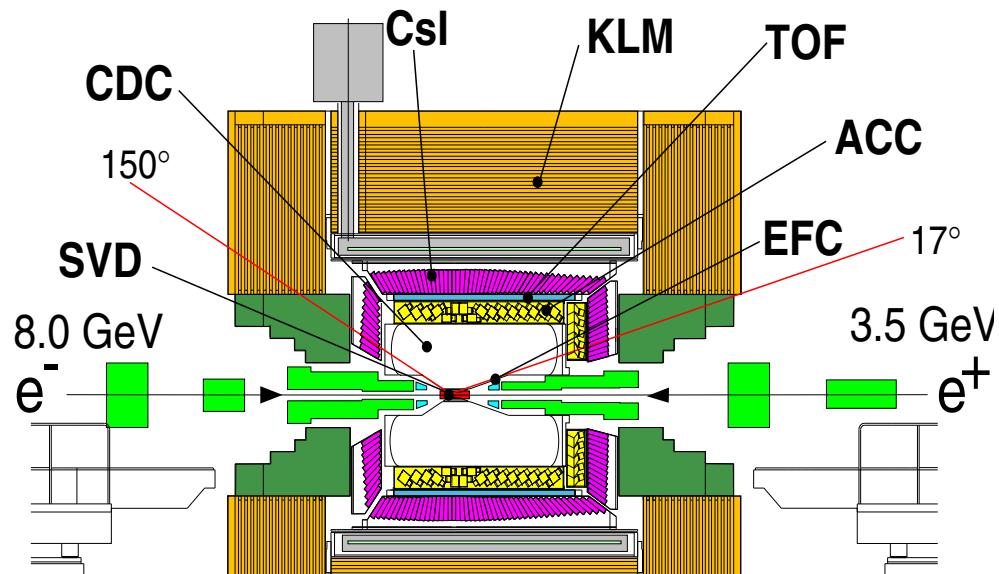
ИЯФ СО РАН, Новосибирск

Работа сделана в коллаборации с ОИЯИ (Дубна)
и Институтом сцинтилляционных материалов (Харьков)
при поддержке Российско-Украинского гранта

11-02-90458-Укр_ф_а

20 ноября 2012

Детектор Belle, коллайдер KEKB, Цукуба, Япония



Электромагнитный калориметр состоит из ~ 9000 кристаллов CsI(Tl) общим весом 43 тонны. Больше половины кристаллов было изготовлено в Харькове.

Важный параметр — разрешение по массе π^0 , $M(\gamma\gamma) \simeq 5$ МэВ.

Информация с сайта Belle:

New World Record Luminosity of $2.11 \times 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ achieved at June 2009 with crab cavities at KEKB

Belle results lead to Nobel Prize for Kobayashi and Maskawa

Планы — увеличить светимость коллайдера в 40 раз и начать новый набор статистики в 2015 г.

Модернизация калориметра

Необходимо решить две задачи:

- Возросшая частота сигналов, много-кратное увеличение фонов.
- Увеличение радиационной нагрузки на калориметр.

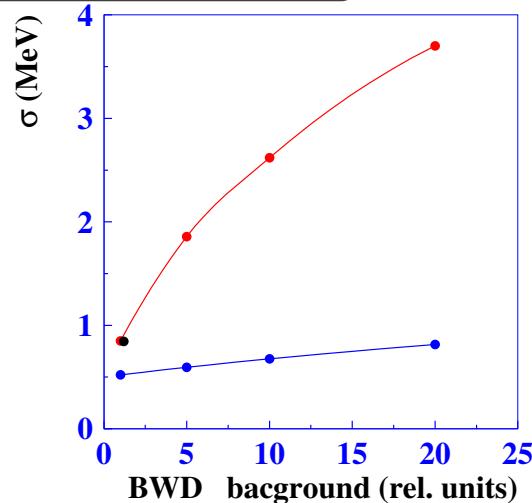
Первая проблема:

Моделирование показало, что для барельной части калориметра можно обойтись переделкой электронного тракта.

Для торцевой части весьма желательно иметь более короткое время высвечивания, иначе разрешение по массе π^0 ухудшится в 2-3 раза.

Подходящий выбор с минимальными конструкционными переделками:

CsI(Tl) 1000 нс \longrightarrow чистый CsI 30 нс.



Вклад в разрешение торцевого калориметра от посторонних сигналов при возрастании фоновой загрузки. Калориметр Belle работал в области $background=1$.

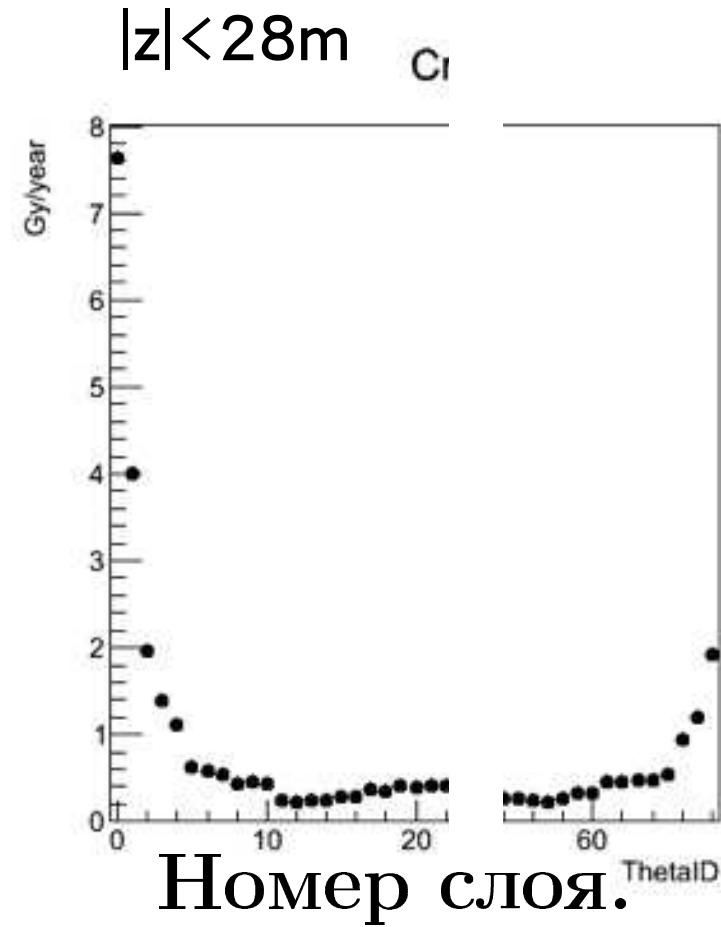
Верхняя кривая показывает ожидаемое разрешение старого калориметра, нижняя для нового проекта с чистым CsI. При реконструкции π^0 используется ~ 18 кристаллов.

Радиационная нагрузка

Проведено моделирование пучкового фона для оценки радиационной и нейтронной нагрузки всех частей детектора.

Результаты для радиационной нагрузки калориметра показаны на рисунке. В зависимости от положения кристалла доза составляет 0.2-8 Грей в год. Продолжительность эксперимента около 10 лет.

Нам нужно около 200 кристаллов с устойчивостью 10 крад и около 2000 кристаллов кристаллов с устойчивостью 3 крад.

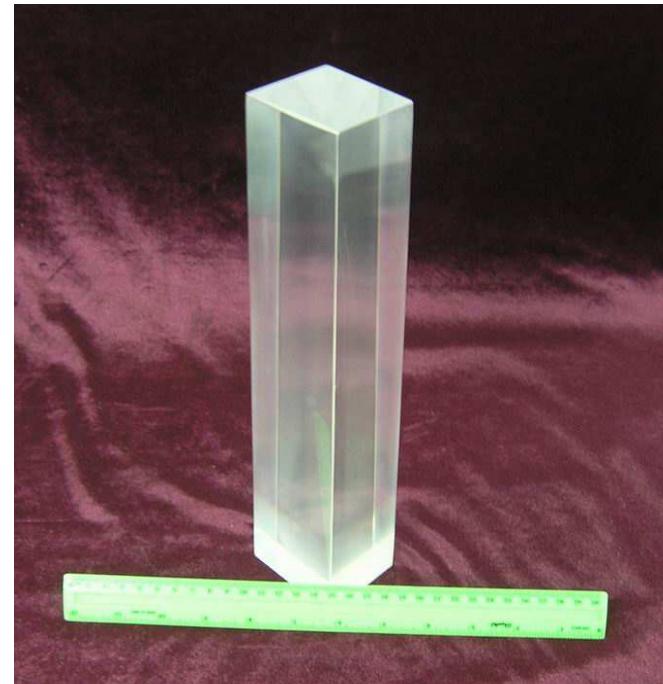


Кристаллы чистого CsI. Основные параметры.

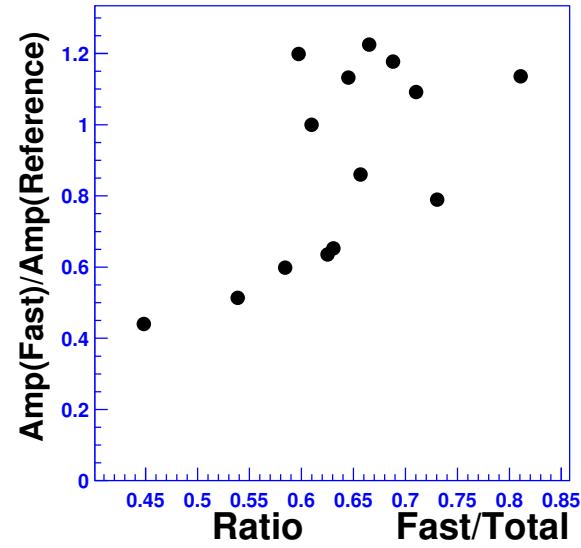
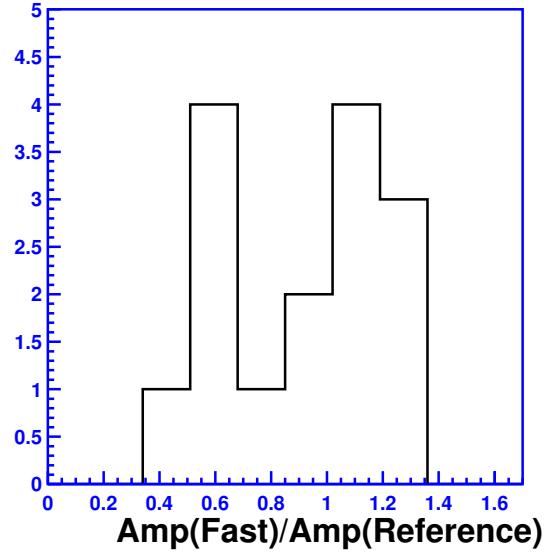
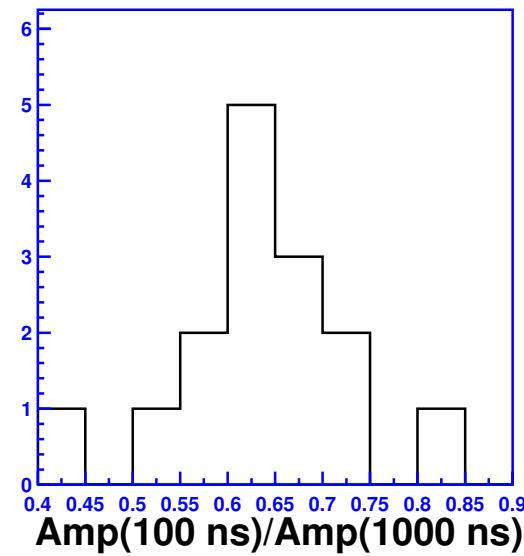
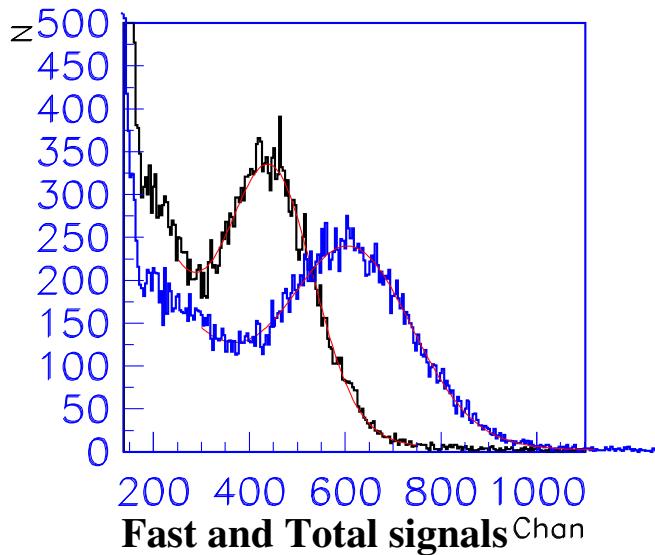
Для проверки возможности производства чистого CsI в был проведен ряд работ с участием Дубны, Новосибирска и Харькова. Работы были поддержаны 2х-летним Российско–Украинским грантом Академий наук.

По заказу ОИЯИ было изготовлено 50 кристаллов. При изготовлении образцов технологии выращивания и обработка варьировались. 15 кристаллов были отправлены в ИЯФ для изучения радиационной стойкости.

Световыход кристаллов измерялся с помощью ФЭУ и коллимированного источника ^{137}Cs . Заряд сигнала ФЭУ собирался в интервале 100 нс (Fast) и 1000 нс (Total) для контроля времени выесвечивания.



Внешний вид кристаллов CsI. Кристаллы сделаны по размерам калориметра Belle. Размер кристалла около $50 \times 50 \times 300$ мм³, вес 5-6 кг.



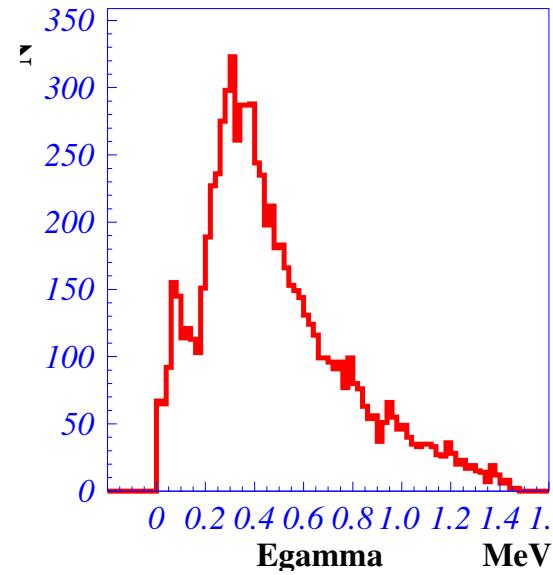
Облучение кристаллов

Облучение кристаллов проводилось на электронном ускорителе. Свинец толщиной 3 мм конвертировал 1.4 МэВ'ные электроны в фотоны.

Дозы облучения составляли последовательно 300, 1к, 3к, 10к рад. Перерывы между сеансами 10-20 дней.

После облучения наблюдалось сильное послесвечение кристаллов, время релаксации 1-2 дня.

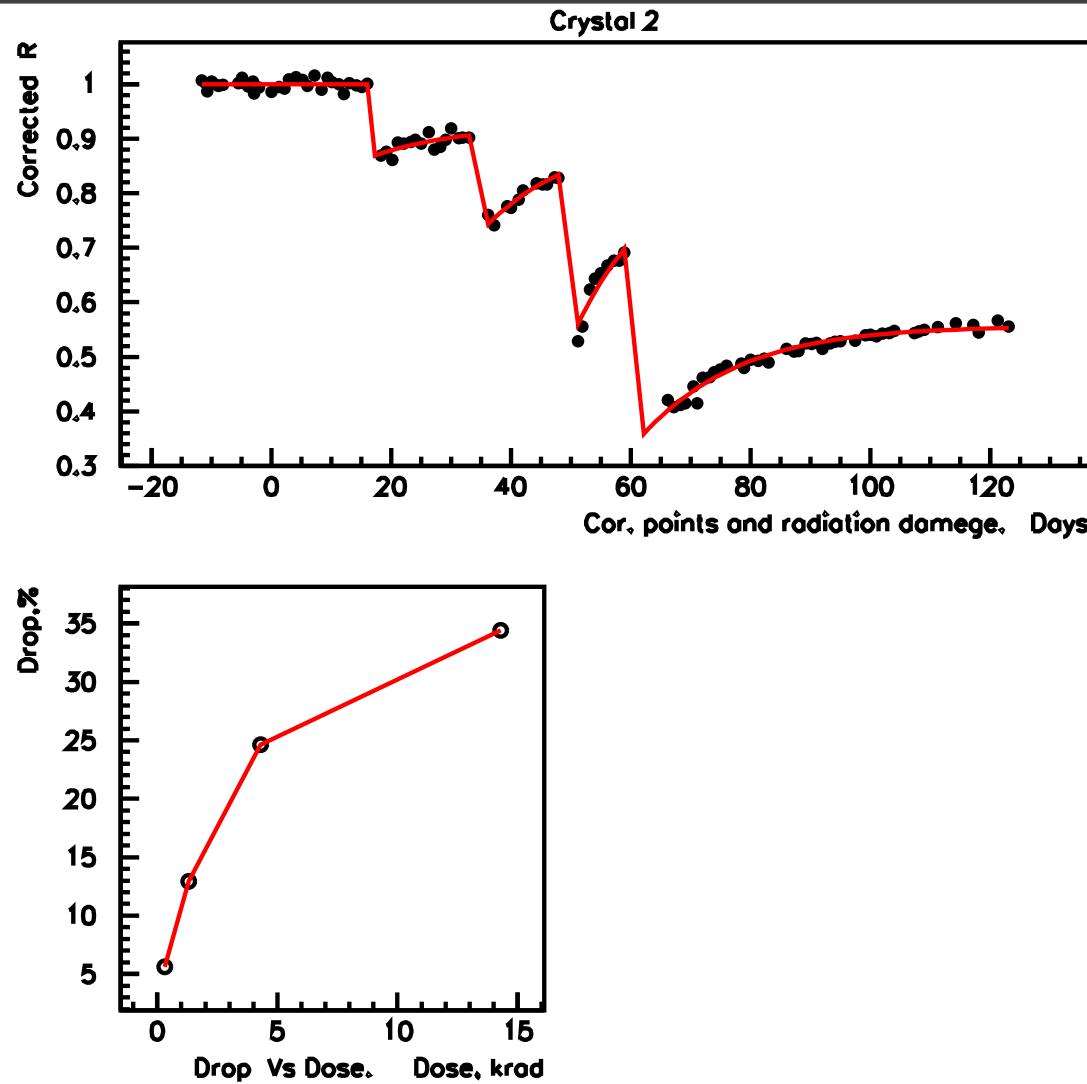
Интенсивность облучения и интегральная доза измерялась малым детектором CsI(Tl) с относительной точностью 5-10%. Абсолютная точность калибровки (в родах) не хуже 20%.



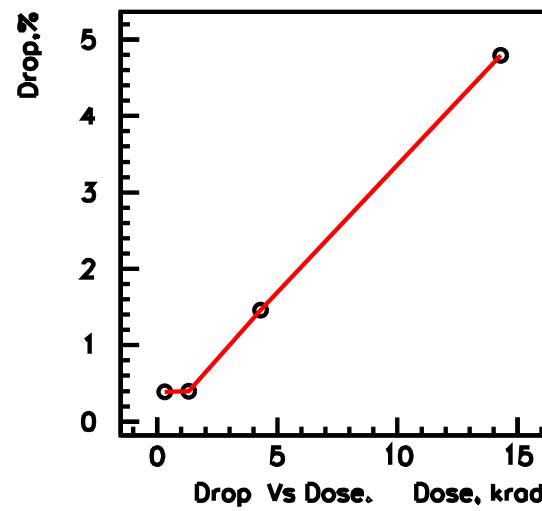
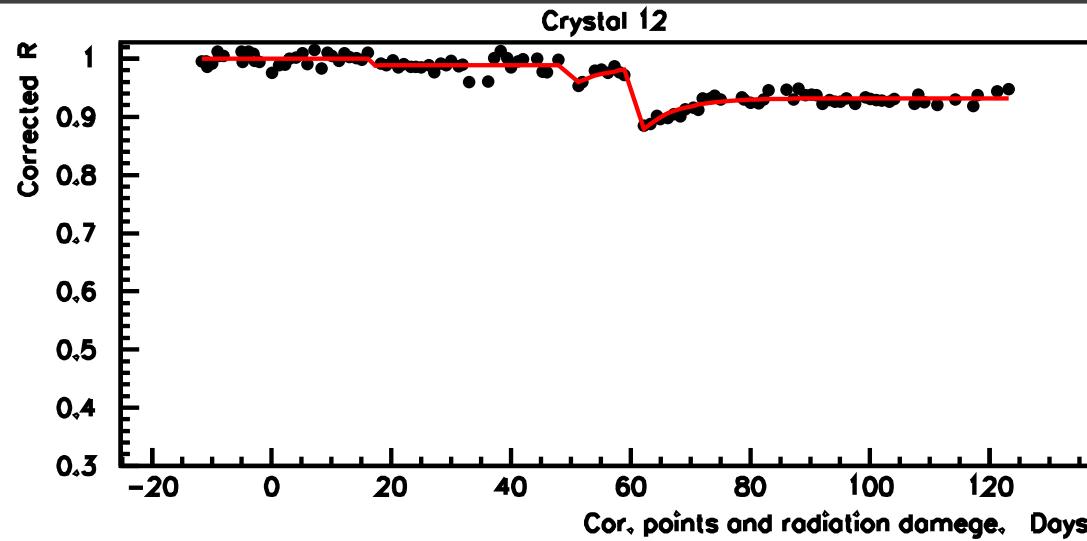
Спектр γ -квантов, полученный при помощи моделирования в GEANT-3. Средняя энергия квантов около 0.5 МэВ.

Кристалл облучался с двух сторон, неоднородность дозы по толщине около 15%. Неоднородность поля облучения по площади меньше 10%.

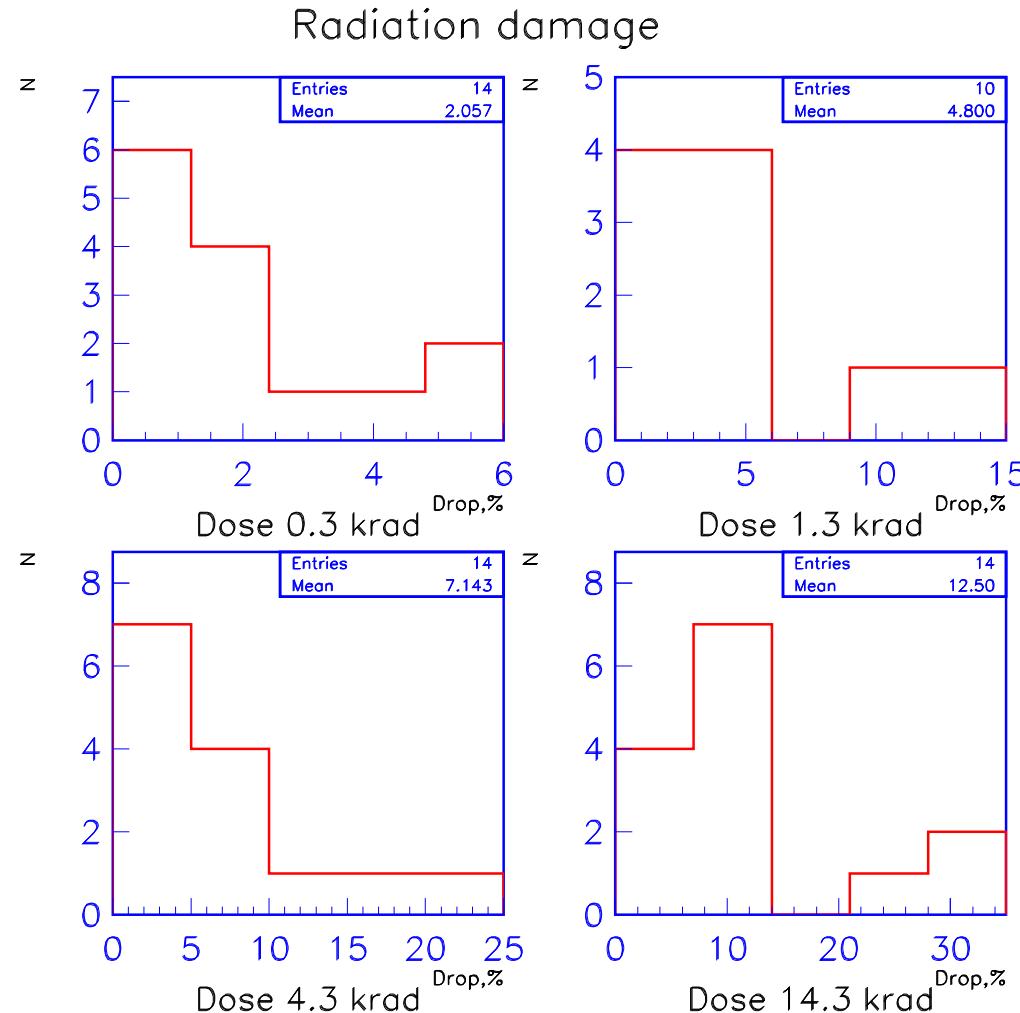
Результаты облучения. Чувствительный кристалл.



Результаты облучения. Устойчивый кристалл.

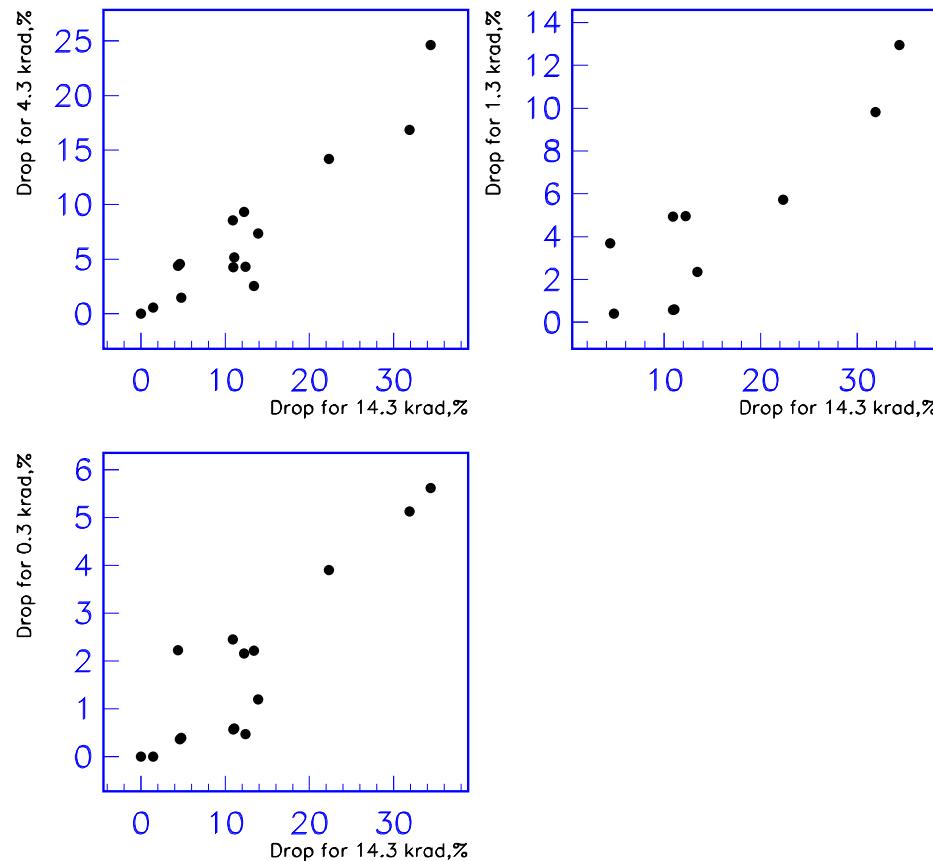


Результаты измерений



Падение световыххода при различных дозах

Radiation damage



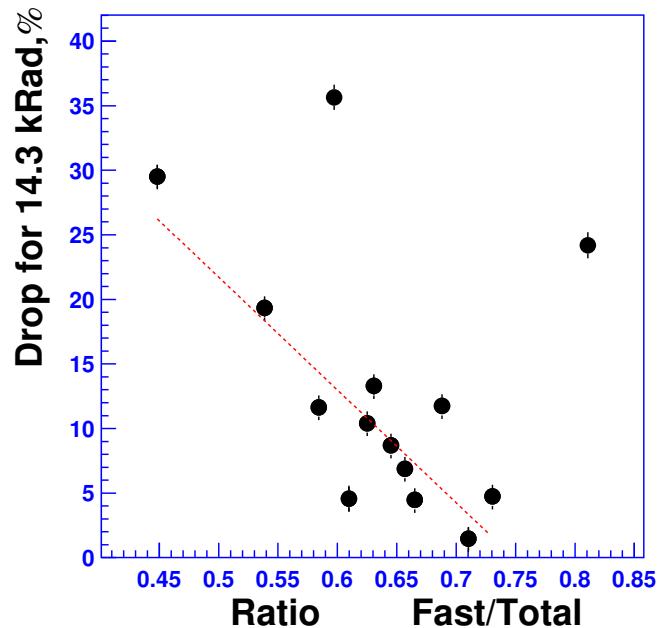
Наблюдается хорошая корреляция для деградации световогохода при большой и малой дозе облучения.

Обратная связь для производства кристаллов

Дополнительные факторы влияющие на рад.стойкость (информация от производителей кристаллов)

- Рад.стойкость быстро падает при возрастании концентрации кислородсодержащих примесей и в частности CO_2^- ионов. Допустимая концентрация $\leq 10^{-4}\%$
- Содержание примесей Na^+ и Tl^+ должно быть $\leq 10^{-5}\%$.

Использование отходов кристаллов затруднительно...



Наблюдается корреляция между интенсивностью быстрой компоненты и радиационной устойчивостью, но, видимо, есть и другие параметры.

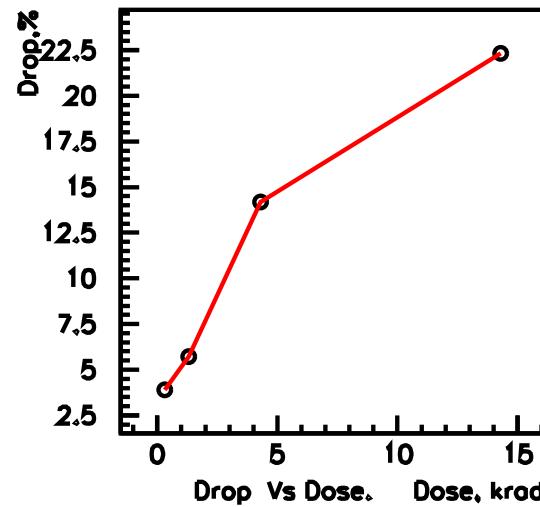
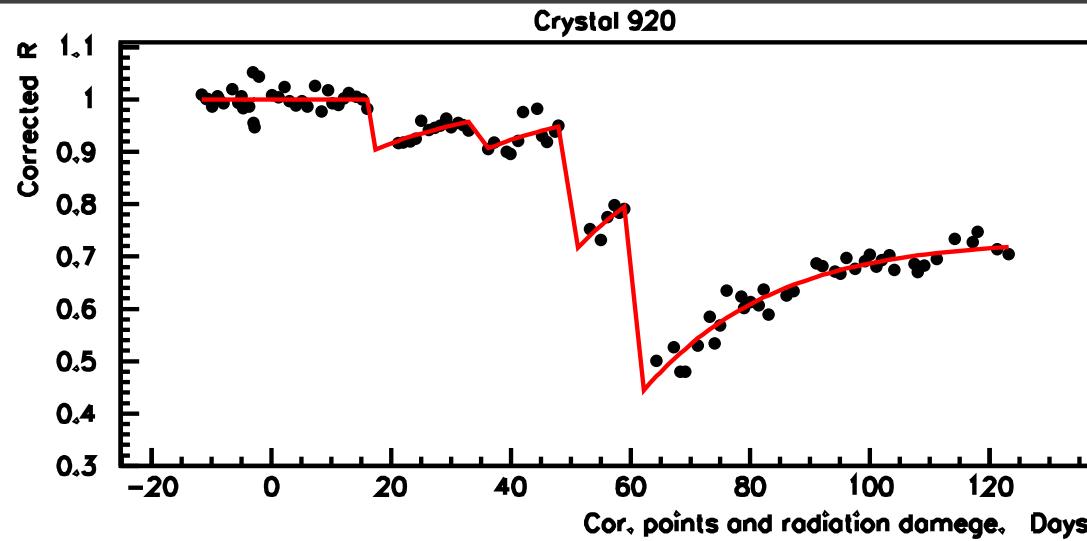
- Технологическое нагревание кристаллов (450°) и механическая обработка приводят к уменьшению быстрой компоненты излучения.

Не нагревать! Пилить аккуратно!

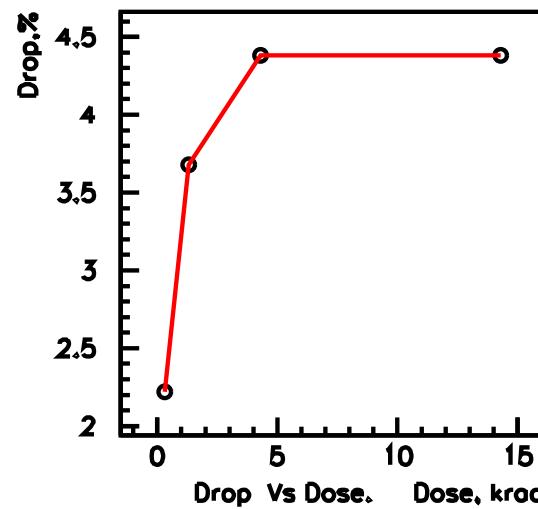
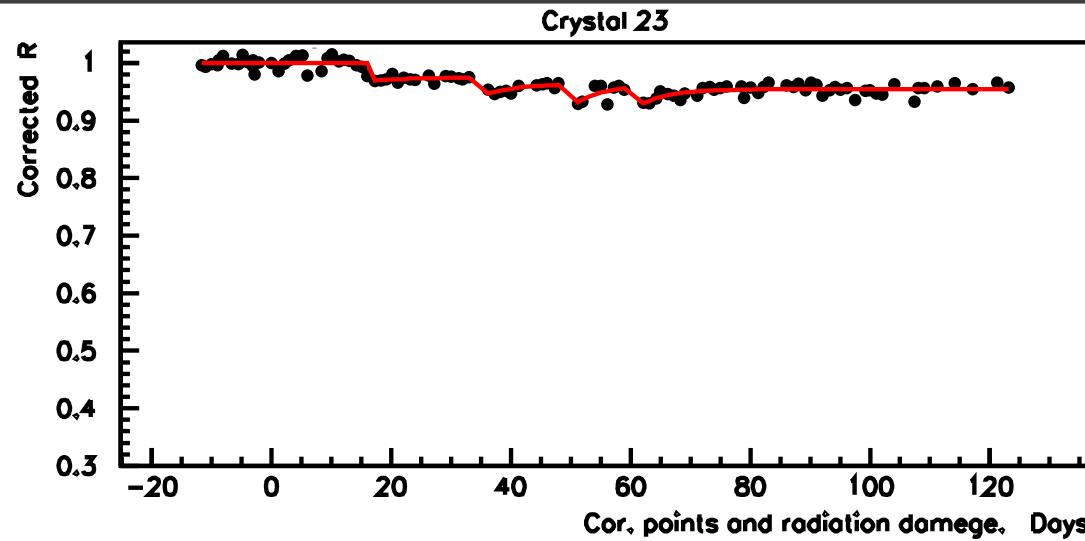
Заключение

- Для нормальной работы калориметра приемлемым является падение световыххода кристаллов на 20% за 10 лет.
- По этим критериям 11 из 14 облученных кристаллов могут быть использованы в калориметре Belle–2.
- Это означает, что при существующих методиках можно произвести кристаллы нужного качества.
- У наших коллег из ИСМА есть идеи, как можно еще улучшить качество кристаллов.

Результаты облучения. Чувствительный кристалл.



Результаты облучения. Устойчивый кристалл.



Формулы для подгонки коэффициентов падения.

Время восстановления кристалла после облучения 7-10 суток. Перерывы между сеансами (10-15 дней) были не вполне достаточны.

Применялась следующая модель для световогохода кристалла — каждое n -тое облучение дает для A/A_0 множитель вида

$$[1 - (Drop - (Drop0 - Drop) \exp(-(t - t_n)/\tau))] \text{ для } t > t_n.$$

Здесь $Drop0$ — падение сразу после облучения, $Drop$ — остаточное падение через большое время.

Накопленное падение определяется как $DropS = 1 - (1 - Drop1) * (1 - Drop2) \dots$

Считаем, что время релаксации τ не зависит от дозы.