

ИСМА НАНУ

**Восстановление мертвого слоя для
регистрации короткопробежных
излучений гигроскопичными
кристаллами на основе NaI и CsI**

Шкоропатенко А.В.

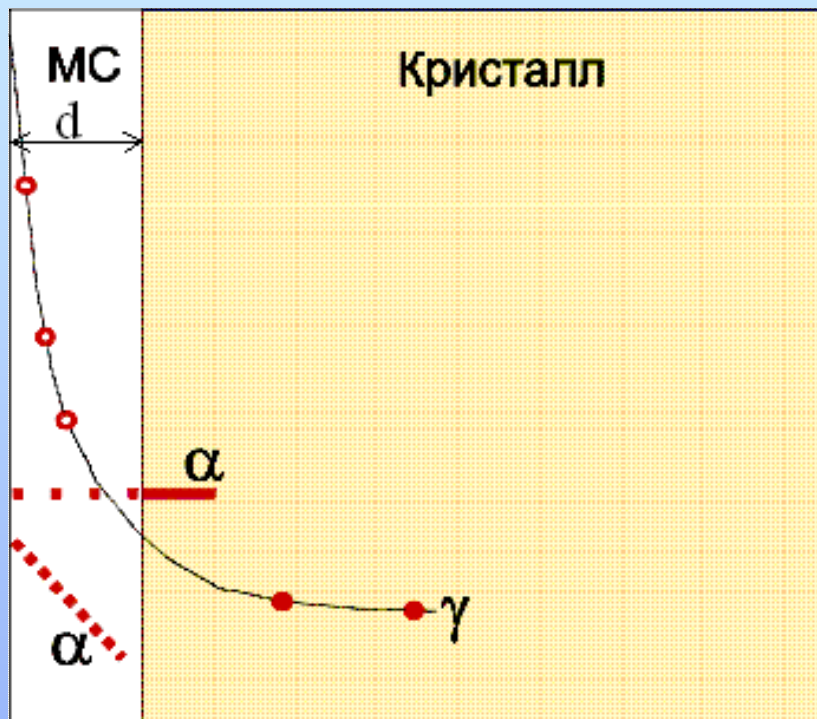
ИСМАРТ 2012

Дубна

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕРТВОМ СЛОЕ В СЦИНТИЛЛЯТОРАХ

Слой вблизи поверхности, где полезное свечение не возбуждается (резко снижено)

1. центры свечения отсутствуют
2. есть, но потушены



1 – кривая ослабления потока γ -квантов (X-rays)

α – пробег частиц

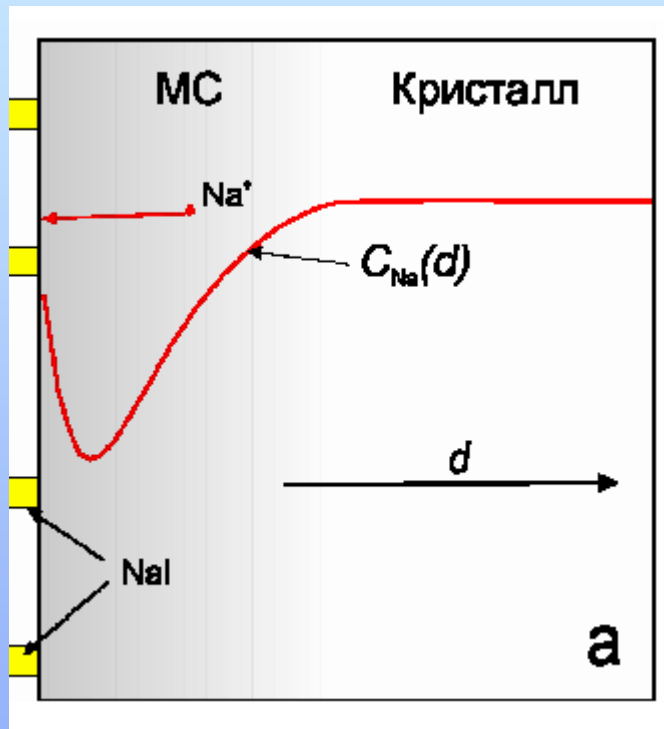
d – глубина мертвого слоя

Альфа-частицы (и другие заряженные частицы) регистрируются со сниженным световым выходом ($\alpha > d$) либо не наблюдаются ($\alpha < d$).

Эффективность регистрации гамма-квантов резко снижена ($\varepsilon \sim 0$) при неизменном световом выходе.

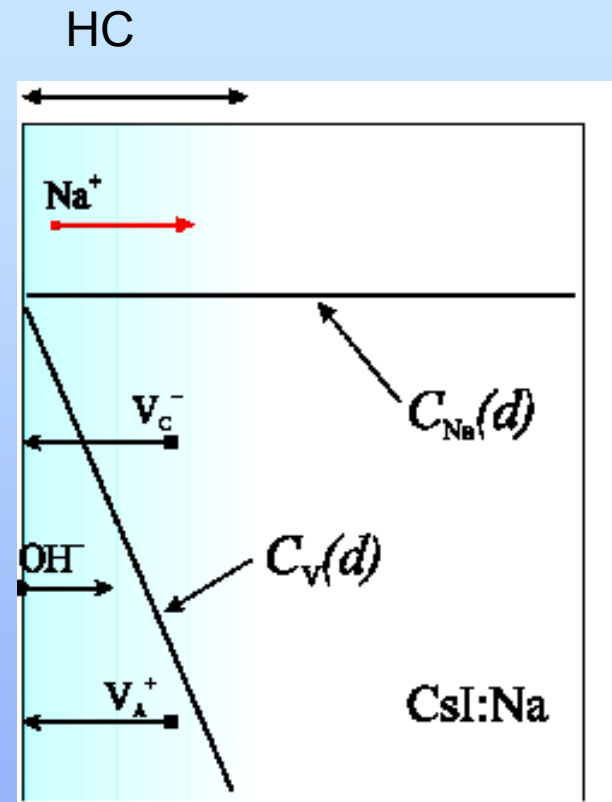
МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МЕРТВОГО СЛОЯ В CsI:Na (первая причина)

Выход активатора (Na) на поверхность



МС – это чистый CsI

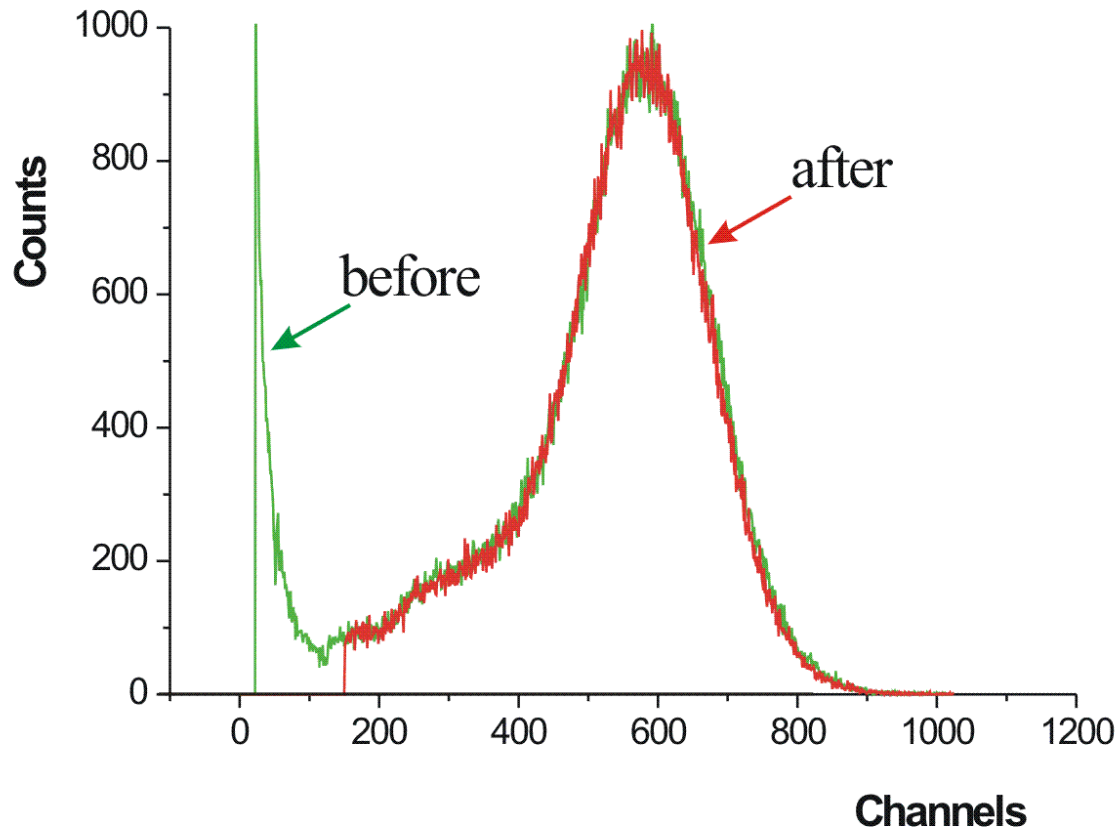
МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МЕРТВОГО СЛОЯ В CsI:Na и NaI:Tl (предполагалась вторая причина)



Диффузия вакансий к поверхности из нарушенного слоя и обратное проникновение ионов OH^- коррелируют с уменьшением светового выхода альфа-частиц

ВОДУ С ПОВЕРХНОСТИ МОЖНО УДАЛИТЬ ПРИ ПОМОЩИ МИКРОВОЛНОВОЙ СУШКИ В ВАКУУМЕ

(согласно: Sofronov D.S., Kudin K.A., Voloshko A.Yu., et al. **Origin of the Thermal Desorption Peaks of Gases in NaI above 180 °C** // Inorganic Materials, 2009, vol. 45, pp. 1314-1318)



Амплитудные спектры до
и после сушки
практически идентичны.

Вывод – на поверхности
не вода, а продукты
гидролиза
(фотолиза)

Существует несколько подходов к подготовке поверхности для регистрации α - и X-излучений:

- предотвращение образования МС (работа со сколотой поверхностью, низкий выход изделий);
- разрабатываются способы безводной полировки, но пока без существенного успеха;
- восстановление МС (известный способ является опасным и затратным, поскольку предполагает отжиг готовых изделий)

Мягкое рентгеновское излучение (5,9 кэВ) проникает в кристалл на глубину ~8 мкм (90% ослабление).

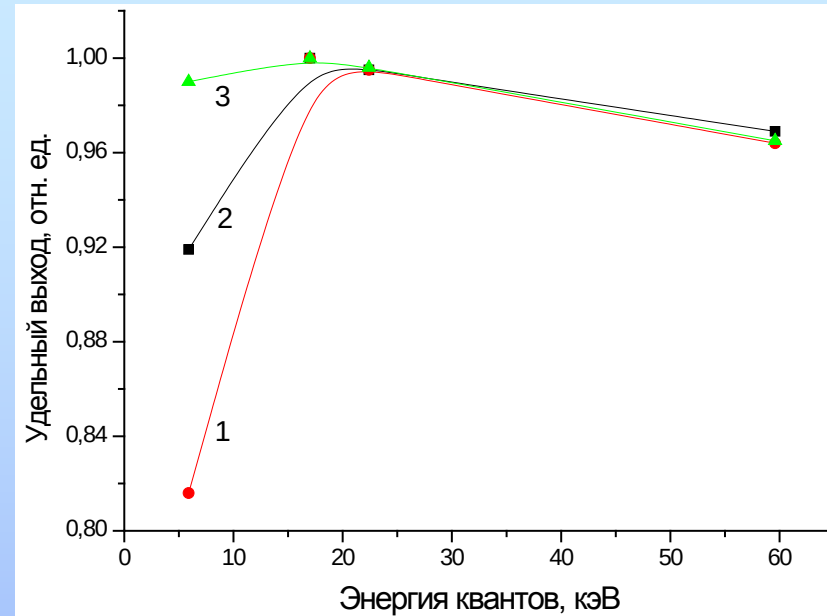
Пробег альфа-частицы 5,15 МэВ ~ 32 мкм.

РЕАЛЬНА ТОЛЬКО ОДНА ПРИЧИНА СНИЖЕНИЯ η В МЕРТВОМ СЛОЕ КРИСТАЛЛОВ NaI:Tl – РАДИОЛИЗ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ

Восстановить МС означает убрать остаточную влагу с поверхности

Световой выход NaI:Tl (зеркальный скол) после гидратации

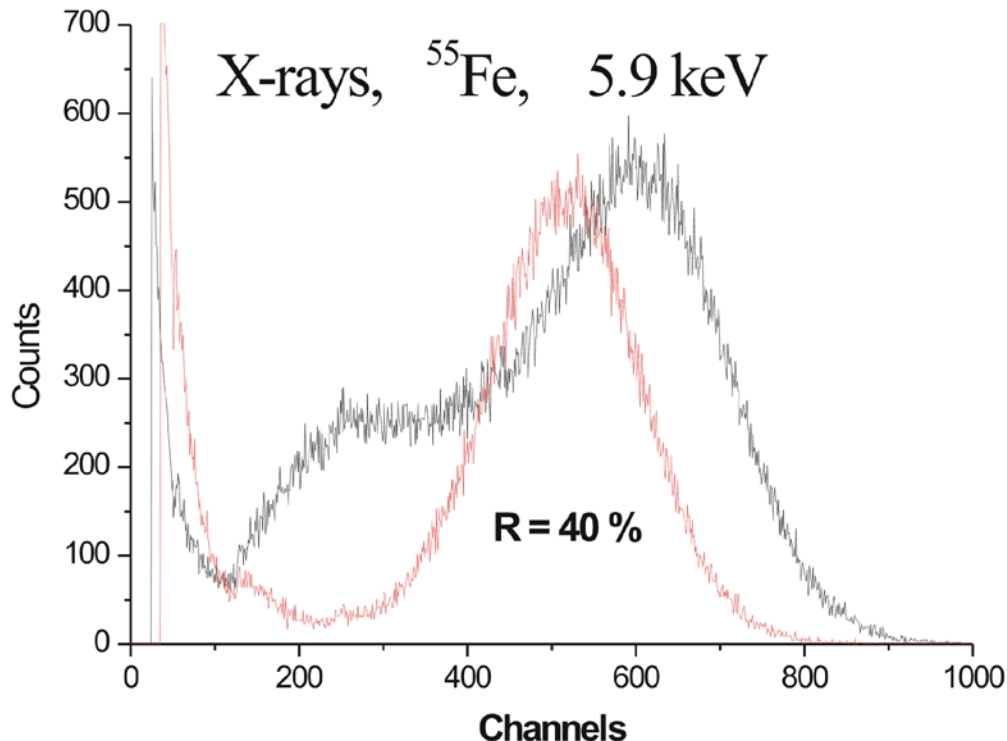
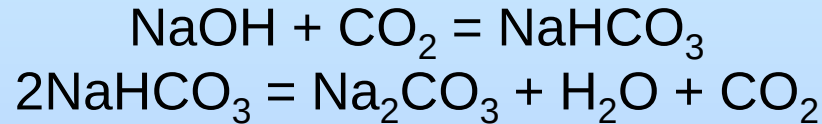
Гидратация, мин	Световыход L/E , отн.ед.		
	5,9 кэВ	22,4 кэВ	59,6 кэВ
0	1,025	1,032	1
5	0,948	1,029	1
15	0,827	1,026	1



Зависимость выхода L/E от энергии квантов для кристаллов NaI:Tl:
1 – традиционный способ полировки,
2 – альтернативный способ (гексаметилдисилозан),
3 – зеркальный скол.

Ионы OH^- можно удалить при помощи газо-термической обработки

(согласно: Патент № 88312 Україна, «Спосіб підготовки вихідної сировини на основі йодиду натрію або цезію для вирощування монокристалів на їх основі» / О.Ю.Волошко, К.О. Кудин, та інші)



Требование – $R \leq 40\%$

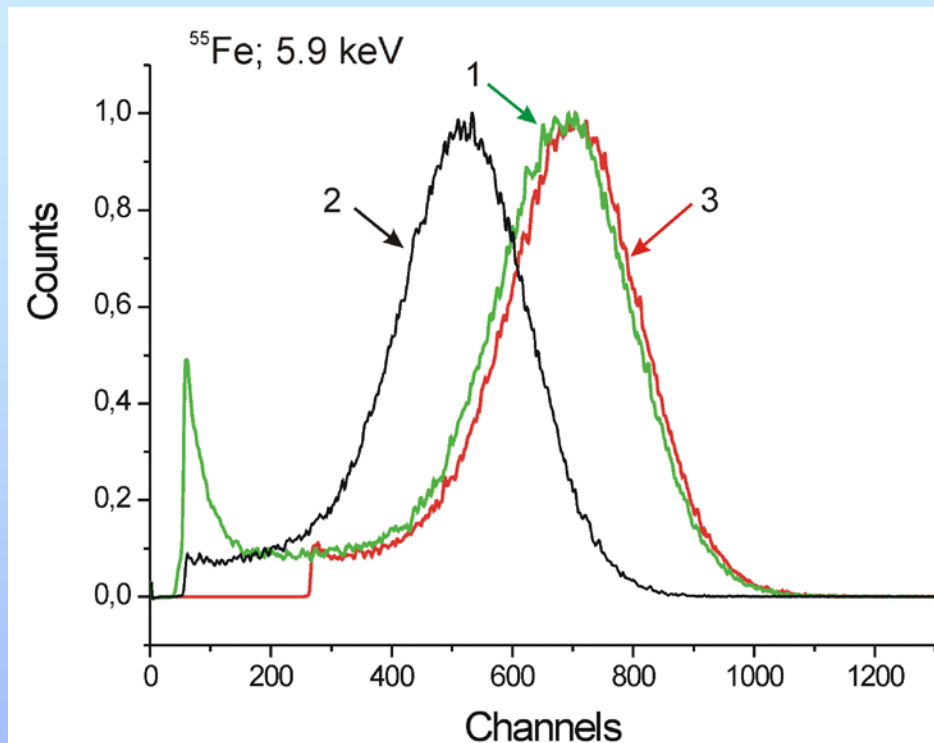
Отличительный момент –
радиационно-химическая
обработка

«УФ свет + CO_2 » для
ускорения процесса

Природа остаточной воды
на поверхности –
разложение бикарбоната

СОЗДАНИЕ МЕРТВОГО СЛОЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРИСТАЛЛОВ NaI:Tl

Амплитудные спектры до и
после обработки
(входная поверхность – скол)



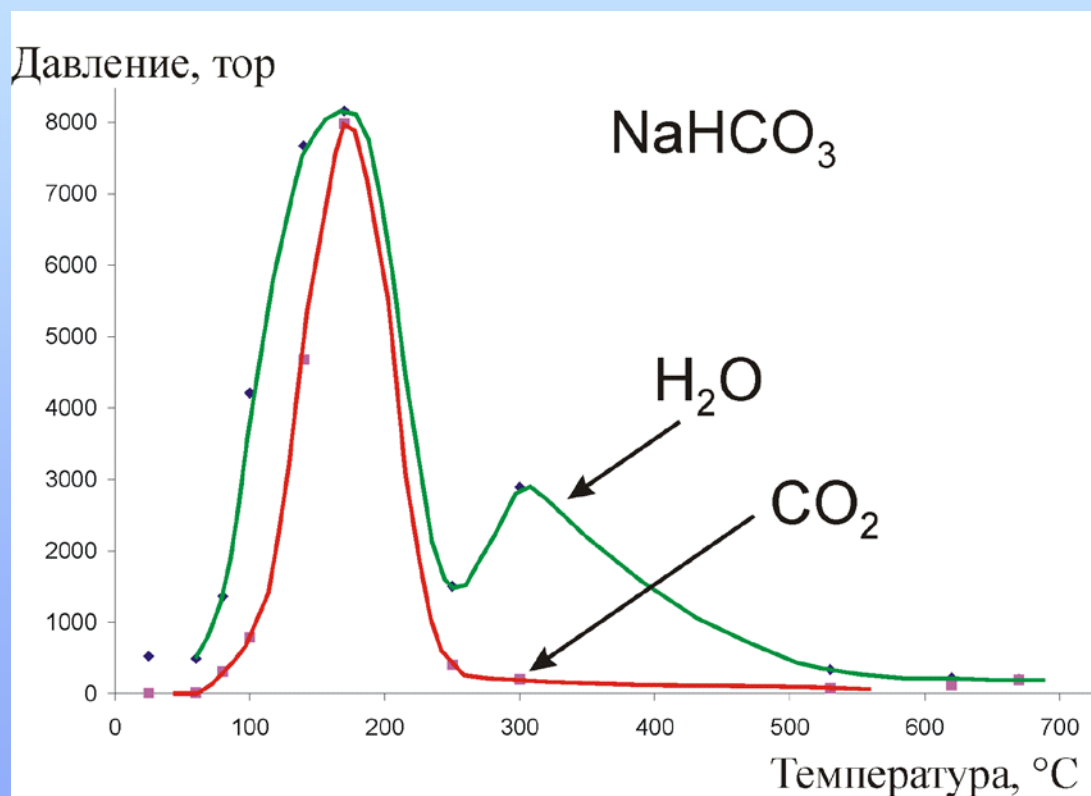
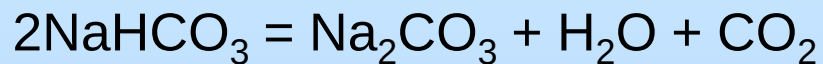
№	Образец	L , каналы	R , %
1	Исходный	662	40.5
2	Гидратированный	501	50.1
3	Восстановленный	702	37.9

Режимы обработки кристаллов и результаты

Детекторы рентгеновского излучения			
Метод обработки	Разме-р	Сцинтилляционные характеристики	
	мм		
		<i>L</i> , %	<i>R</i> , %
		Не менее 90	не больше 45
зеркальный			
скол	20x1,5	100	41-43
ГМДС	20x1,5	89	43-47
отжиг	20x1,5	100	40-43
УФ-облуч.			
2 мин	20x1,5	71	55
3 мин		88	49
4 мин.		100	43
5 мин.		100	38
6 мин.		102	40
7 мин.		91	47
8 мин.		87	51
4 мин.	30x2	103	40
6 мин.		99	38

Детекторы альфа-частиц			
Метод обработки	Размеры, мм	Сцинтилляционные хар-ки	
		Гамма-эквивалент, МэВ (лучшие известные значения – 3,9)	R,% не более 4,0
гексамети- л-дисилозан	30x5	3,9	3,8
УФ+CO2	30x5	3,9	3,5
УФ+CO2	30x5	3,9	3,6

**Продукт реакции термически нестабилен и разлагается
при $T > 150^{\circ}\text{C}$ на воду и углекислый газ.
Термопрочные детекторы должны быть работоспособны
до 250°C .**



Изменение парциальных давлений
паров воды(H₂O) и углекислого
газа(CO₂) после фото-химической
обработки

Образование пузырей в оптическом контакте в следствии температурных нагрузок



Для устранения образования пузырей в оптическом контакте, при подготовке кристалла рекомендуется следующая последовательность обработки:

1. Фотохимическая;
2. Отжиг (выдержка при 150°C в течении 5 минут в сухой среде).

Разложение NaHCO_3 по реакции $2\text{NaHCO}_3 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ приводит к выделению газообразных продуктов и образованию пузырей в иммерсии или отслойке покрытия.

Выводы

1. Разработан простой и эффективный метод восстановления мертвого слоя вблизи входной для исследований поверхности кристаллов NaI:TI и способ изготовления рентгеновских детекторов.
2. Показано, что влияние мертвого слоя следует учитывать при изучении непропорциональности фотонного отклика к энергии при работе с гигроскопичными материалами. Это важно для изучения фундаментальных ограничений светового выхода и энергетического разрешения.
3. Показано, что отжиг чувствительных элементов при 150°C после фотохимической обработки позволяет очистить все поверхности от термически нестабильных продуктов реакций.
4. Предложен способ подготовки выходной поверхности кристалла для изготовления детекторов, работающий в жестких условиях эксплуатации. Результаты работы полезны для изменения состояния поверхности перед созданием иммерсионных слоев и нанесением оптических покрытий, поскольку предотвращают образование пузырей в оптическом контакте и отслойку покрытий.

Спасибо за внимание!

ИСМАРТ

Дубна

22.11.2012

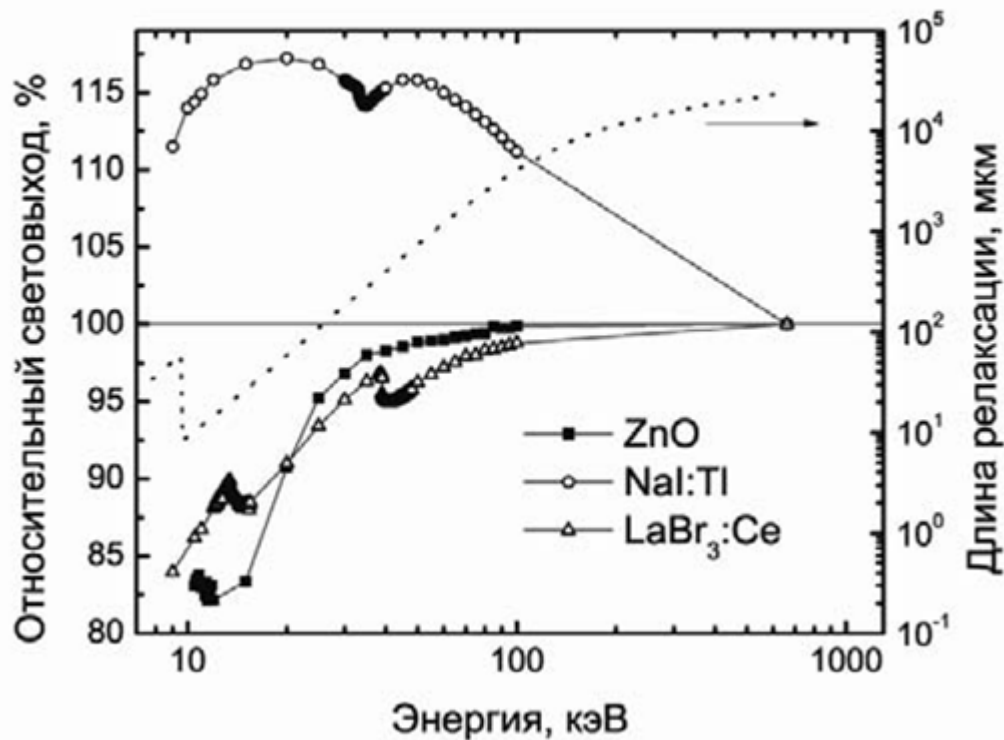
Спасибо за внимание!

ИСМАРТ

Дубна

22.11.2012

ЗАВИСИМОСТЬ УДЕЛЬНОГО СВЕТОВОГО ВЫХОДА ОТ ЭНЕРГИИ ПАДАЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ (фотонный отклик)



Кривые непропорц неорг сцинт

Для фундаментальной науки важно учитывать влияние мертвого слоя на непропорциональность фотонного отклика к энергии при работе с гигроскопичными материалами.