



Сессия-конференция секции ядерной физики
ОФН РАН, посвященная 70-летию В.А. Рубакова



Исследование влияния гамма-облучения на сцинтилляционные свойства неорганического сцинтиллятора BaF_2 , легированного иттрием

Н.А. Гусейнов^{1,3,4}, М.Н. Мирзаев^{1,2,3}, Э.Д. Мустафаев², И.И. Мустафаев²,
В.Ю. Баранов¹, Ю.И. Давыдов¹, И.Ю. Зимин¹, И.И. Васильев¹

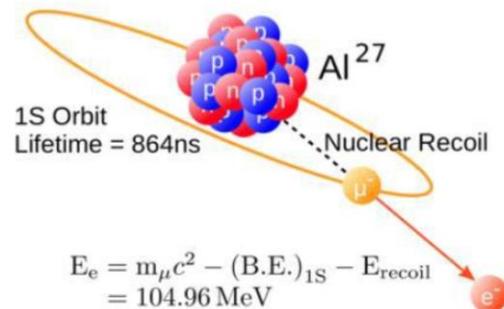
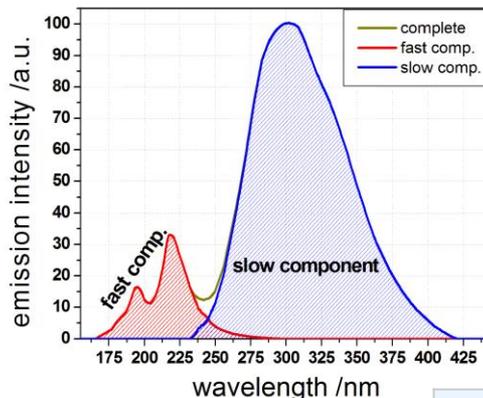
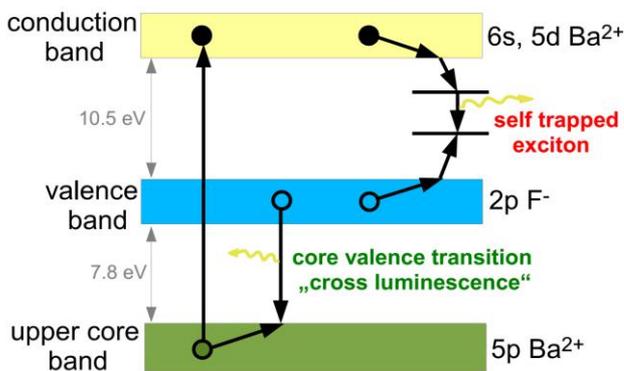
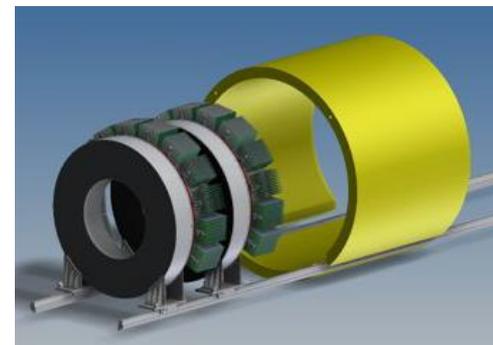
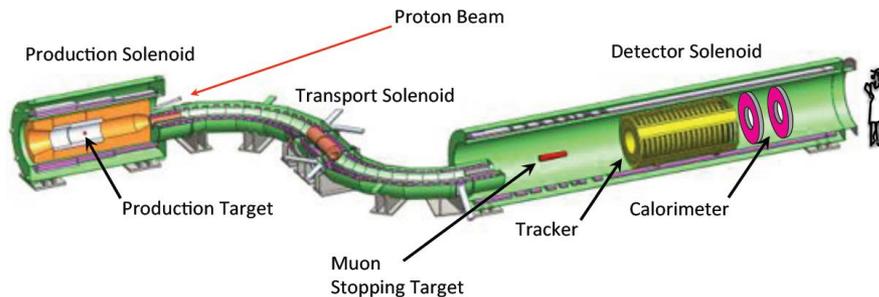
¹ Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

² Институт радиационных проблем Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку

³ Университет Хазар, Баку

⁴ Институт физики Министерства науки и образования Азербайджанской Республики, Баку

Введение



Требования, предъявляемые к ECAL Mu2e-II

- Энергетическое разрешение: < 10% при 105 МэВ
- Временное разрешение: < 0,5 нс
- Радиационная стойкость: ~ 0,1-1 Мрад, 10¹²-10¹³ 1 МэВ нейтронов/см²
- Высокая загрузочная способность

Система решетки	кубическая
Плотность (г/см ³)	4.89
Температура плавления (°C)	1280
Эффективный атомный номер	52.2
Показатель преломления (2.58 мкм)	1.4626
Радиационная длина (см)	2.06
Максимум эмиссии (нм)	310(медл.); 220(быстр.)
Время затухания (нс)	620(медл.); 0.6(быстр.)
Световой выход (относительно NaI(Tl))	20%(медл.); 4%(быстр.)

Способы подавления медленной компоненты BaF_2

1. Применение светофильтров
2. Использование солнечно-слепых фотоприемников
3. Легирование редкоземельными элементами

Material	Fast Component Luminescence (photons/MeV)	Fast Component Decay Time (ns)	Slow Component Luminescence (photons/MeV)	Slow Component Decay Time (ns)	DC Component Luminescence (photons/MeV)
Ba F ₂	1805	0.73	7997	559	1364
Ba _{0.9} La _{0.1} F _{2.1}	1258	0.41	856	205	-4
Ba _{0.9} Ce _{0.1} F _{2.1}	1149	7.29	1862	39	-346
Ba _{0.9} Y _{0.1} F _{2.1}	1000	0.72	289	167	2445
Ba _{0.9} Lu _{0.1} F _{2.1}	594	0.43	430	175	8
Ba _{0.9} Pr _{0.1} F _{2.1}	407	2.19	356	175	212
Ba _{0.92} Ho _{0.08} F _{2.08}	367	0.27	416	148	-179
Ba _{0.9} Sm _{0.1} F _{2.1}	186	0.22	138	121	-445
Ba _{0.9} Nd _{0.1} F _{2.1}	155	0.32	246	120	-178
Ba _{0.9} Tm _{0.1} F _{2.1}	140	0.34	328	201	-80
Ba _{0.9} Gd _{0.1} F _{2.1}	140	0.26	234	130	5629
Ba _{0.9} Dy _{0.1} F _{2.1}	85	0.17	165	126	-484
Ba _{0.9} Er _{0.1} F _{2.1}	79	0.20	136	95	-245
Ba _{0.9} Yb _{0.1} F _{2.1}	69	0.23	54	84	1971
Ba _{0.9} Tb _{0.1} F _{2.1}	67	10.79	153	201	3514
Ba _{0.9} Eu _{0.1} F _{2.1}	66	0.17	5	14	3668

B. P. SOBOLEV, E. A. KRIVANDINA, S. E. DERENZO, W. W. MOSES, and A. C. WEST, "SUPPRESSION OF BaF₂ SLOW COMPONENT OF X-RAY LUMINESCENCE IN NON-STOICHIOMETRIC Ba_{0.9}R_{0.1}F_{2.1} CRYSTALS (R=RARE EARTH ELEMENT)" Proceedings of The Material Research Society: Scintillator and Phosphor Materials, pp. 277-283, 1994.

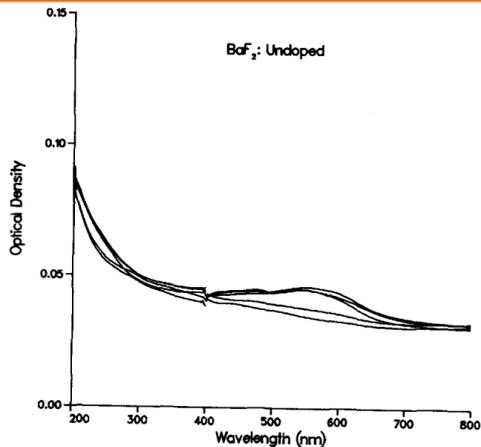


Fig. 7: Transmission spectra for pure BaF_2 measured shortly after irradiation for accumulated doses of 0, 10^3 , 10^4 , 10^5 and 10^6 rad.

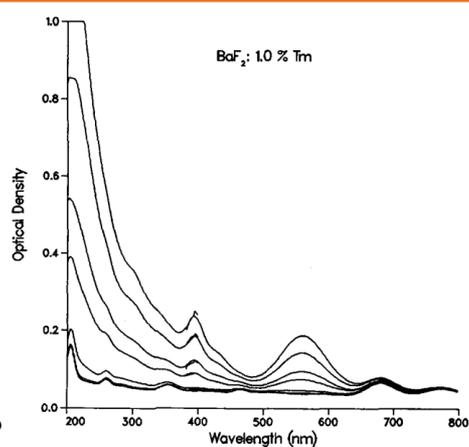
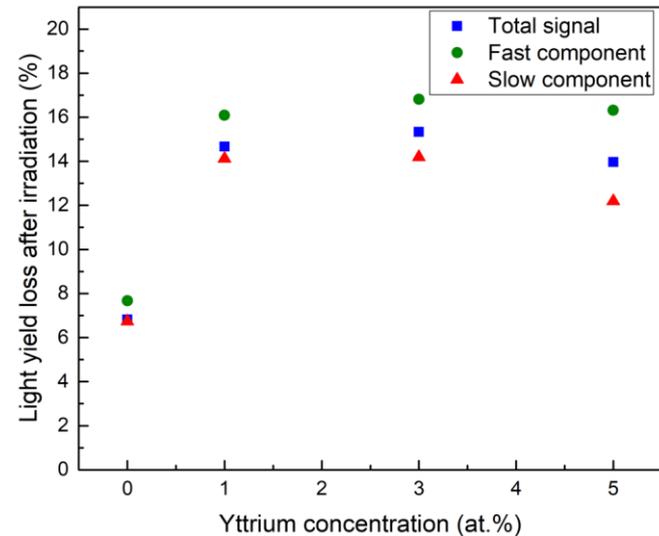
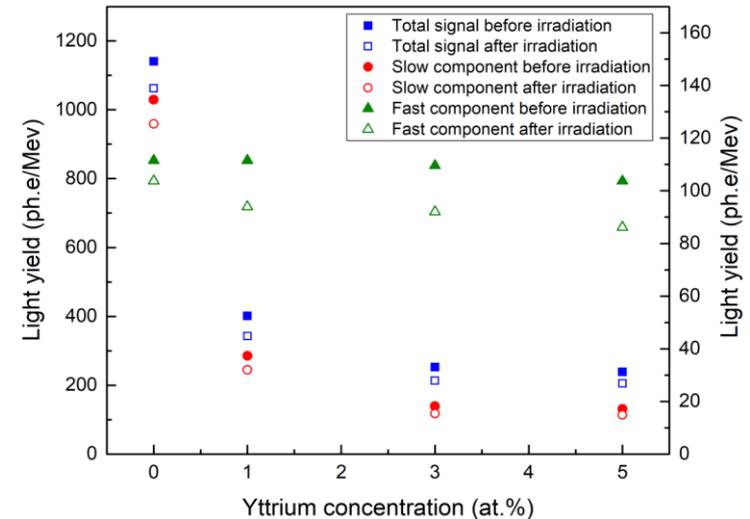


Fig. 9: Transmission spectra for 1% Tm sample measured shortly after irradiation for accumulated doses of 0, 10^3 , 10^4 , 10^5 , 2×10^5 , 5×10^5 and 10^6 rad.

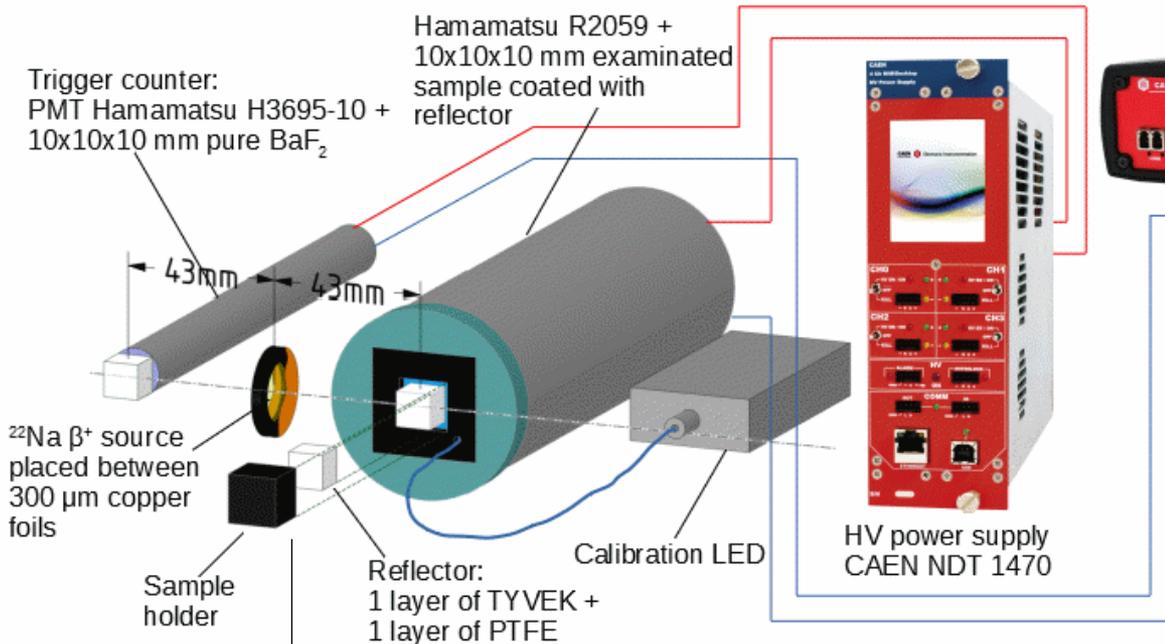


Световыход быстрой и медленной компоненты люминесценции $BaF_2:Y$ (0,1,3,5 at.%) (сверху) и его относительное изменение (снизу) после облучения нейтронами с флюенсом $2,3 \times 10^{14}$ нейтронов/ cm^2

V. Baranov, Yu.I. Davydov, I. Vasilyev "Light outputs of yttrium doped BaF_2 crystals irradiated with neutrons" 2022 *JINST* 17 P01036

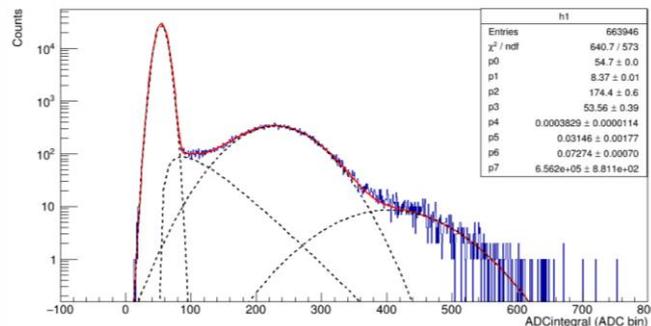
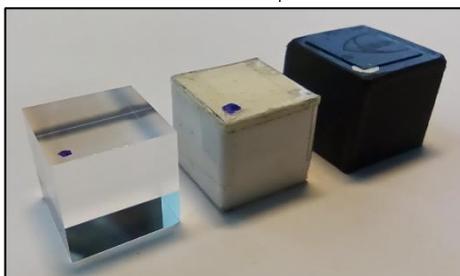
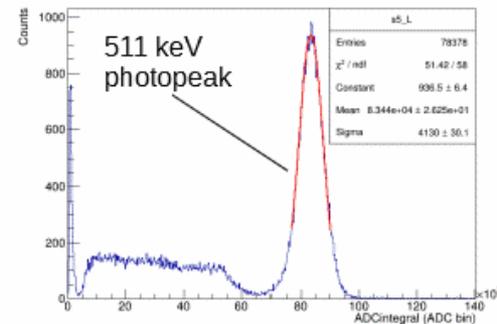
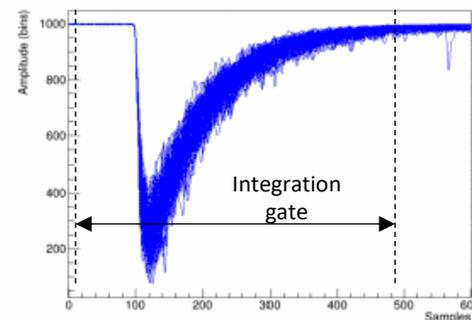
C.L. Woody, P.W. Levy and J.A. Kierstead "Slow Component Suppression and Radiation Damage in Doped BaF_2 Crystals" IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol. 36, No. 1, February 1989

Методика эксперимента



PC with CAEN «Wavedump»
readout software

Waveforms



Калибровочный однофотоэлектронный спектр

$$LY(\text{ф.э./МэВ}) = \frac{\text{Положение фотопика} \cdot 1000}{\text{Калибровочный коэфф.} \cdot 511}$$

$$ER(\%) = \frac{\text{Сигма фотопика}}{\text{Положение фотопика}}$$

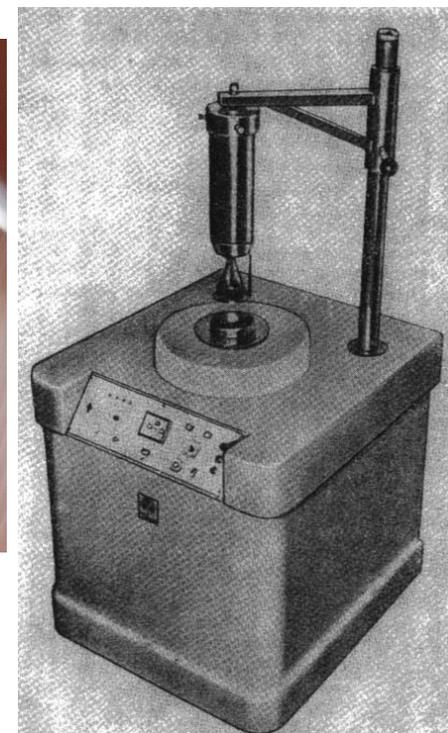
Облучение образцов



Институт радиационных проблем Министерства науки и образования Азербайджанской Республики



Образование цветных центров в кристалле BaF₂ после облучения дозой 2,9×10⁶ рад



Облучательная установка типа MRCFG-25

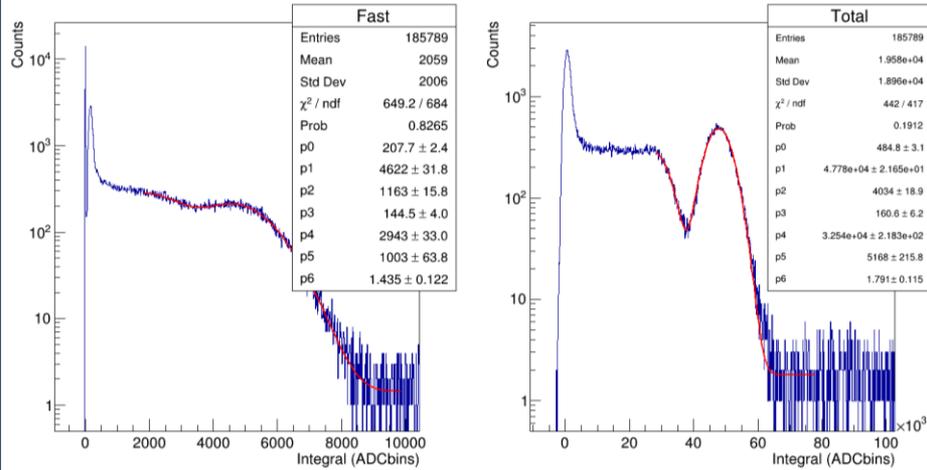
	BaF ₂	BaF ₂ :1 at.% Y	BaF ₂ :3 at.% Y	BaF ₂ :5 at.% Y
Номер образца	1,6,11, 16,21,26	2,7,12,17,22, 27	3,8,13,18,23, 28	4,9,14,19,24, 29

Облучательная установка	Мощность дозы, рад/с	Образец	Время облучения, с	Расчетная поглощенная доза, рад	Измеренная поглощенная доза*, рад
GFRCCA-20000	0,212	1,2,3,4	136	2,9×10 ¹	4×10 ³ ± 1×10 ³
		6,7,8,9	1360	2,9×10 ²	5×10 ³ ± 1×10 ³
		11,12,13,14	13698	2,9×10 ³	2×10 ³ ± 1×10 ³
MRCFG-25	128	16,17,18,19	227	2,9×10 ⁴	2,5×10 ⁴ ± 0,1×10 ⁴
		21,22,23,24	2270	2,9×10 ⁵	2,20×10 ⁵ ± 0,01×10 ⁵
		26,27,28,29	22700	2,9×10 ⁶	2,909×10 ⁶ ± 0,004×10 ⁶

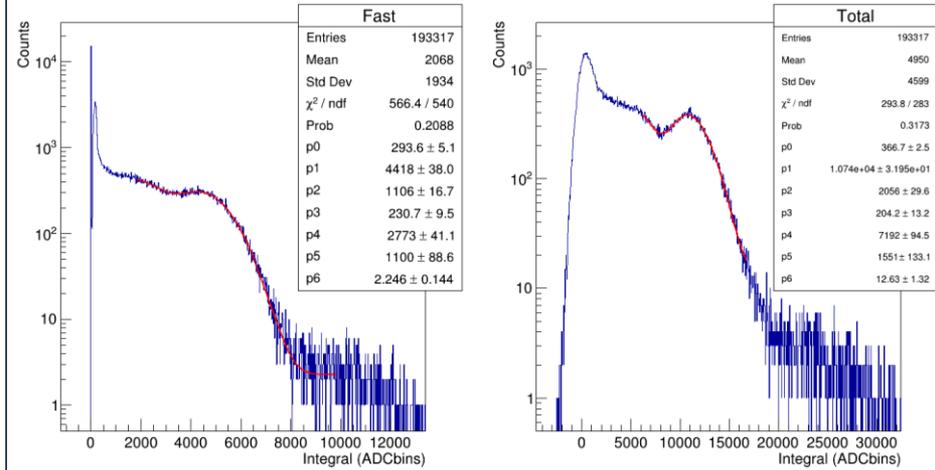
*Измерения поглощенной дозы проводились при помощи радиохромного дозиметра FWT-91R

Обработка экспериментальных данных

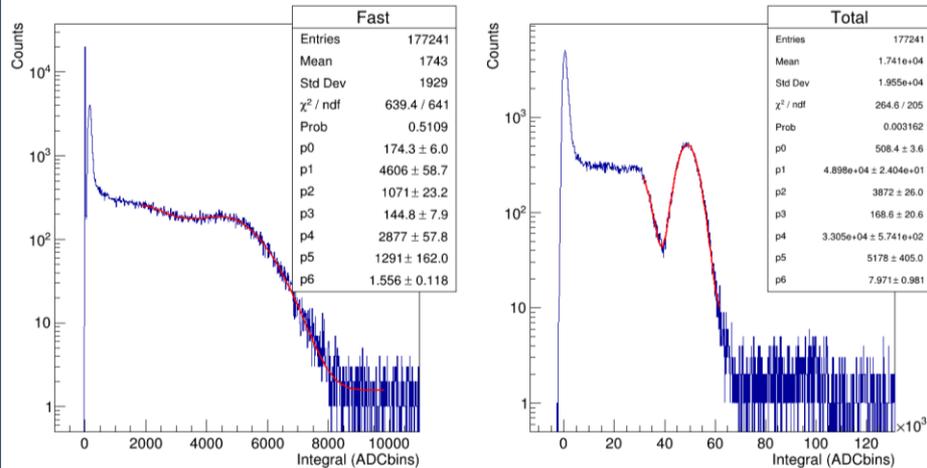
Образец №1 до облучения



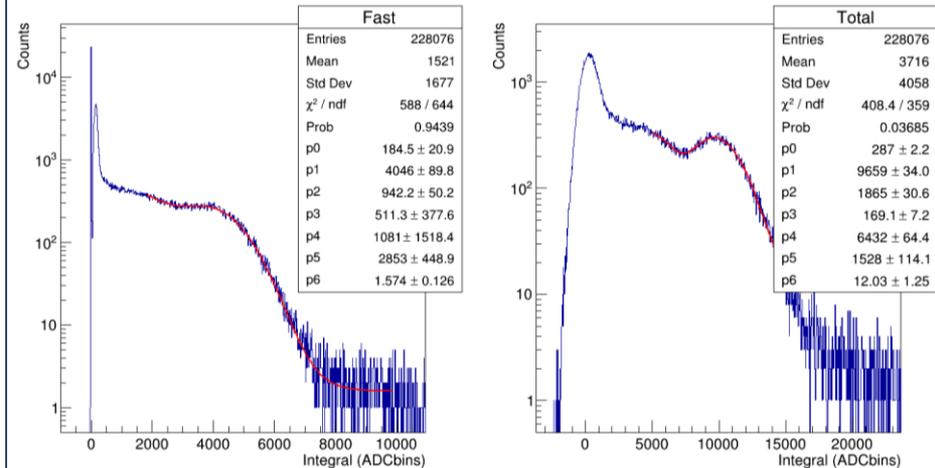
Образец №29 (5 at.%Y) до облучения



Образец №1 (0 at.%Y) после облучения дозой 29 рад

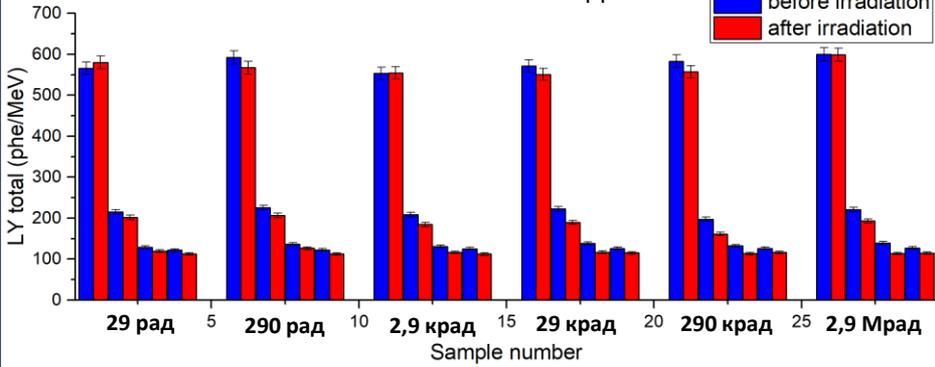


Образец №29 (5 at.%Y) после облучения дозой 2,9 Мрад

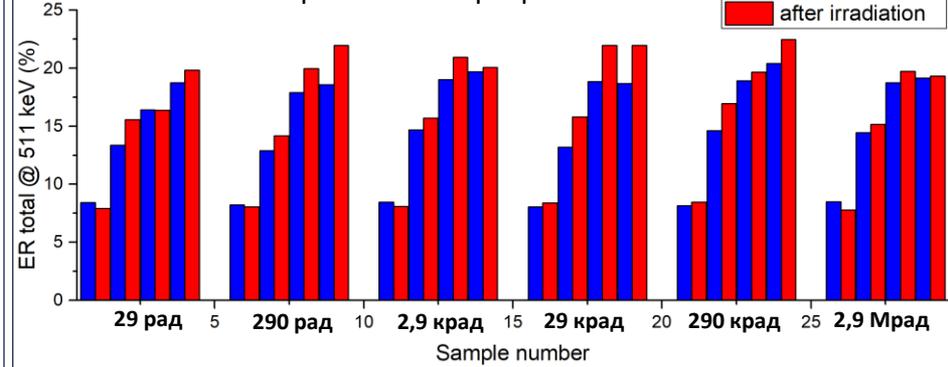


Результаты эксперимента

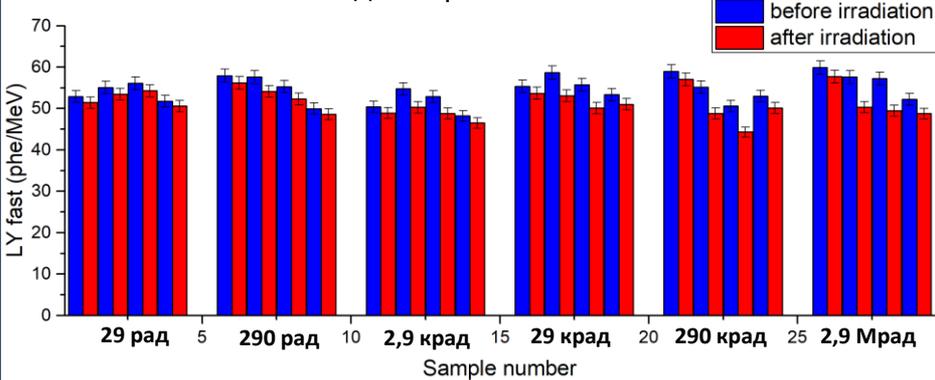
Полный световыход



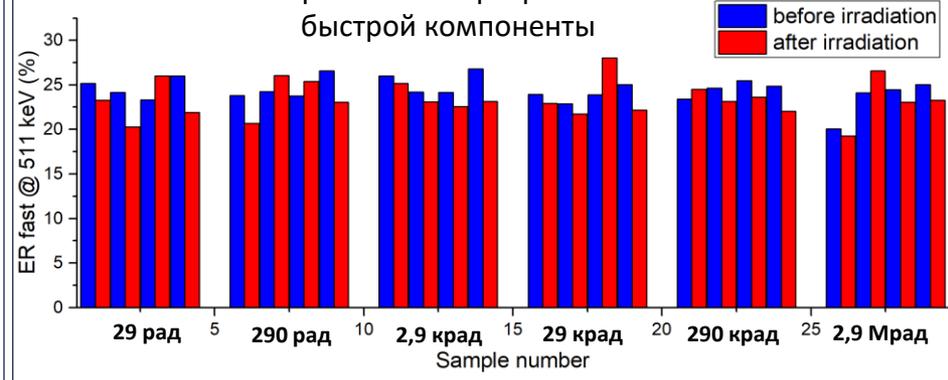
Энергетическое разрешение



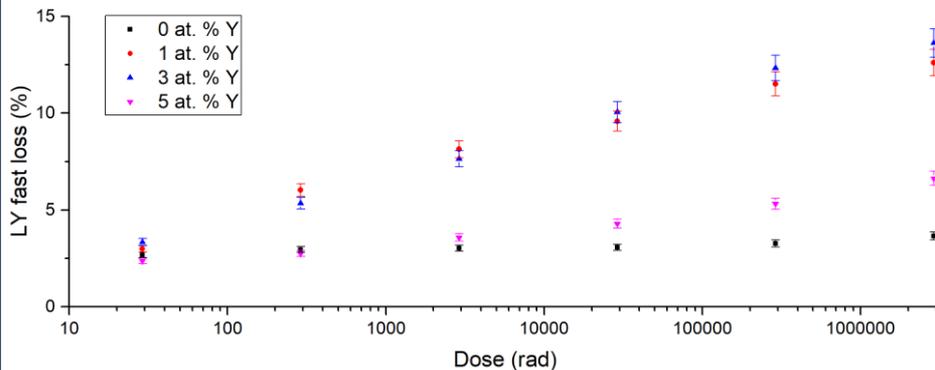
Световыход быстрой компоненты



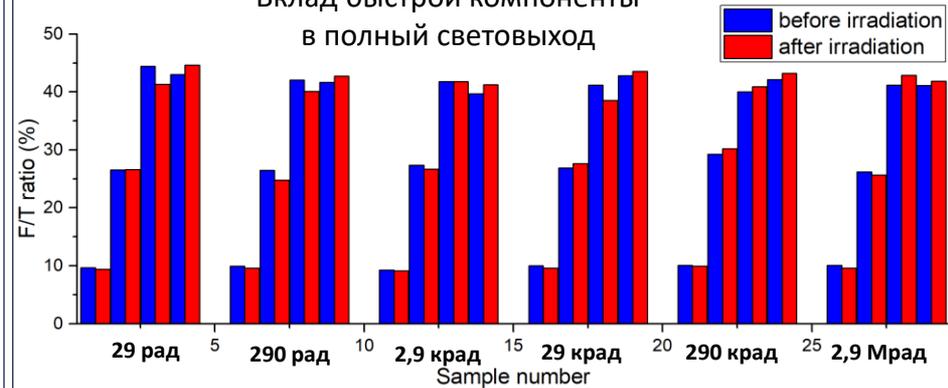
Энергетическое разрешение быстрой компоненты



Падение световыхода быстрой компоненты после облучения

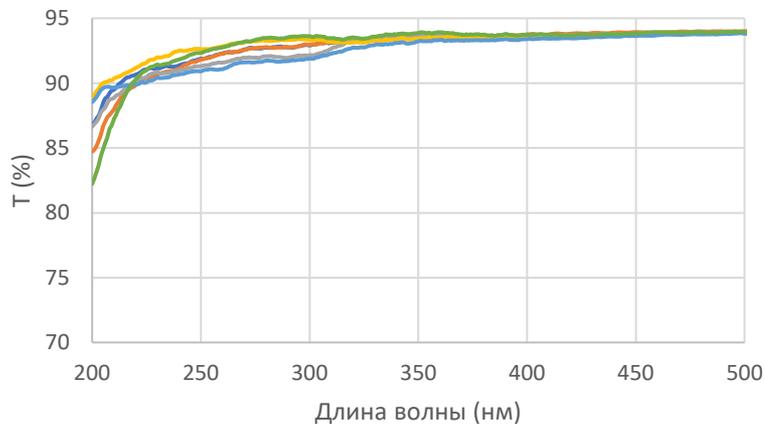


Вклад быстрой компоненты в полный световыход

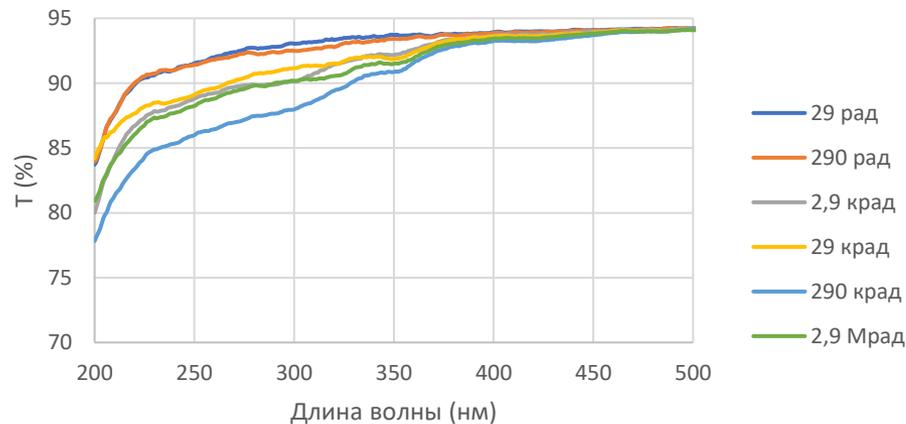


Светопропускание BaF₂ после облучения

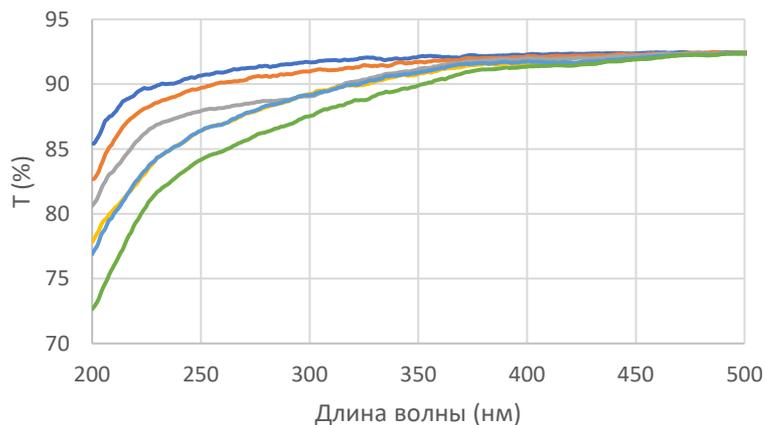
Светопропускание BaF₂: 0 %Y



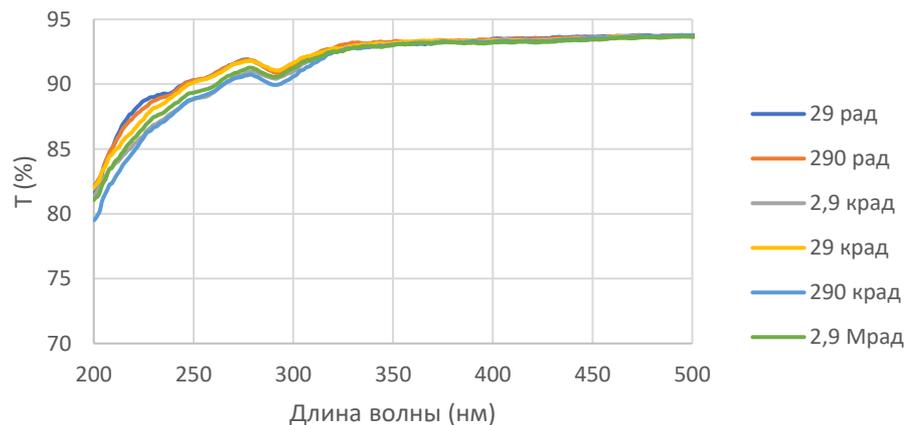
Светопропускание BaF₂: 1 at. %Y



Светопропускание BaF₂: 3 at. %Y



Светопропускание BaF₂: 5 at. %Y



*Светопропускание образцов измерялось на спектрофотометре SHIMADZU 3700-DUV.

Выводы

- Исследованы сцинтилляционные свойства 24-х образцов BaF_2 (0, 1, 3, 5 at. % Y) до и после облучения на облучательных установках с γ -источником ^{60}Co . Максимальная поглощенная доза составила 2,9 Мрад.
- Установлено, что наиболее эффективное подавление медленной компоненты сцинтилляции достигается при концентрациях иттрия 3 и 5 at. %. При данных концентрациях вклад быстрой компоненты в общий отклик сцинтиллятора составляет в среднем 42% без учета поправки на квантовую эффективность фотокатода ФЭУ. Явной зависимости данного соотношения от поглощенной дозы не наблюдается.
- Наблюдается снижение световыхода быстрой компоненты с ростом поглощенной дозы, причем наиболее явно выраженное при концентрациях иттрия 1 и 3 at. %. Максимальное снижение составило 13,6% для образца с концентрацией иттрия 3 at. %, облученного дозой 2,9 Мрад.
- Энергетическое разрешение быстрой компоненты исследованных образцов не зависит от концентрации иттрия, а также от поглощенной дозы. Среднее значение энергетического разрешения быстрой компоненты для энергии 511 кэВ около 24 %.
- Исследовано светопропускание образцов после облучения. При концентрациях иттрия 1 и 3 at. % наблюдается падение прозрачности в области длин волн 200-400 нм с ростом поглощенной дозы, в то время как в образцах с концентрацией иттрия 5 at. % изменения прозрачности менее выражены. Исходя из этого можно предположить, что снижение световыхода быстрой компоненты в основном связано с ухудшением прозрачности кристаллов BaF_2 при воздействии гамма-излучения.

Спасибо за внимание!