



ЗАО «ИНКРОМ», СП
ПИЯФ, Гатчина
ИОФАН, Москва
СПбГПУ

Сверхбыстрые сцинтилляторы на основе фторида бария для PET и других применений

П.А. Родный
ноябрь 2010

Ионизирующее излучение

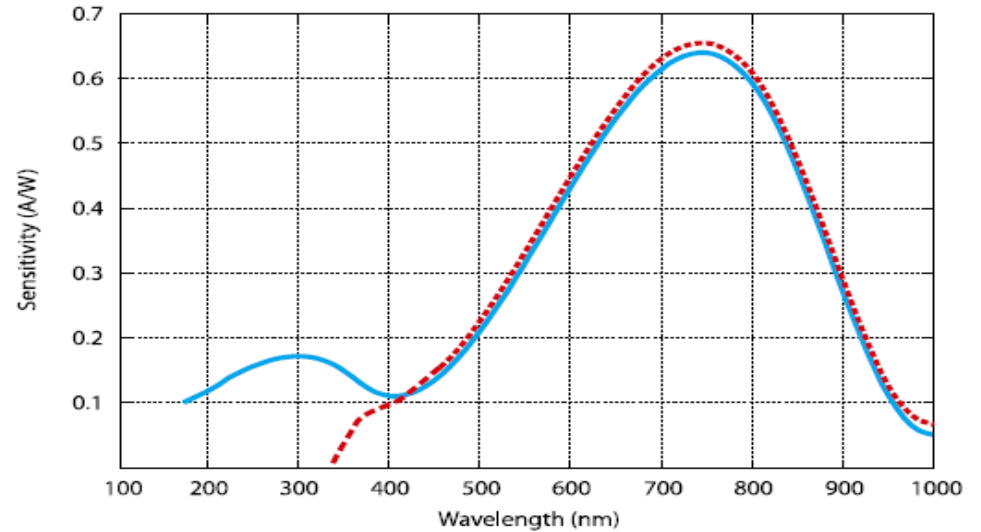


Сцинтиллятор

ФЭУ
PMT

Электрический сигнал

Spectral Response Si-PIN
Ultrafast Photodetectors $\tau = 50-500$ ps
UPD-200-UP, UPD-300-UP, UPD-500-UP
UPD-200-SP, UPD-300-SP, UPD-500-SP



New photodetectors
– SiPM, SSPM

P.Bazhan et al. NIM A, **504**
(2003)

Сцинтилляторы применяются:

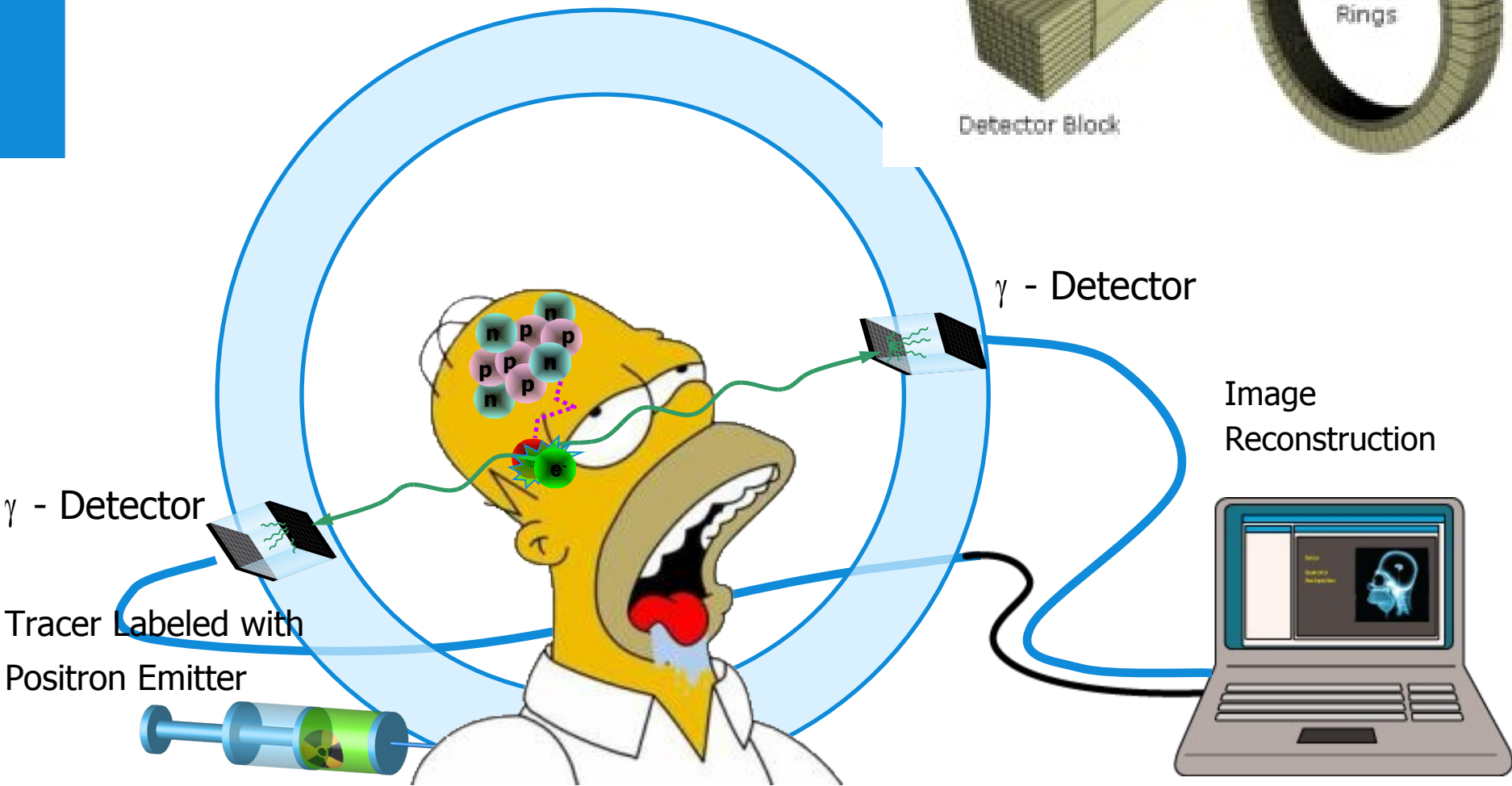
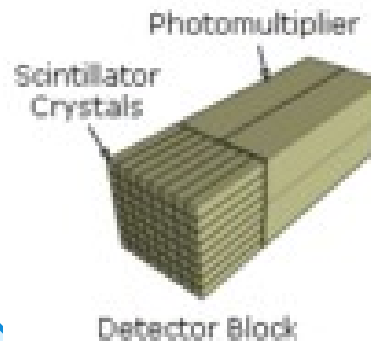
- Компьютерная томография
- Позитрон-эмиссионная томография (PET)
 - Single photon emission computed tomography (SPECT)
- Космические исследования
- Таможенный контроль
- Дозиметрия
- Физика высоких энергий

.....

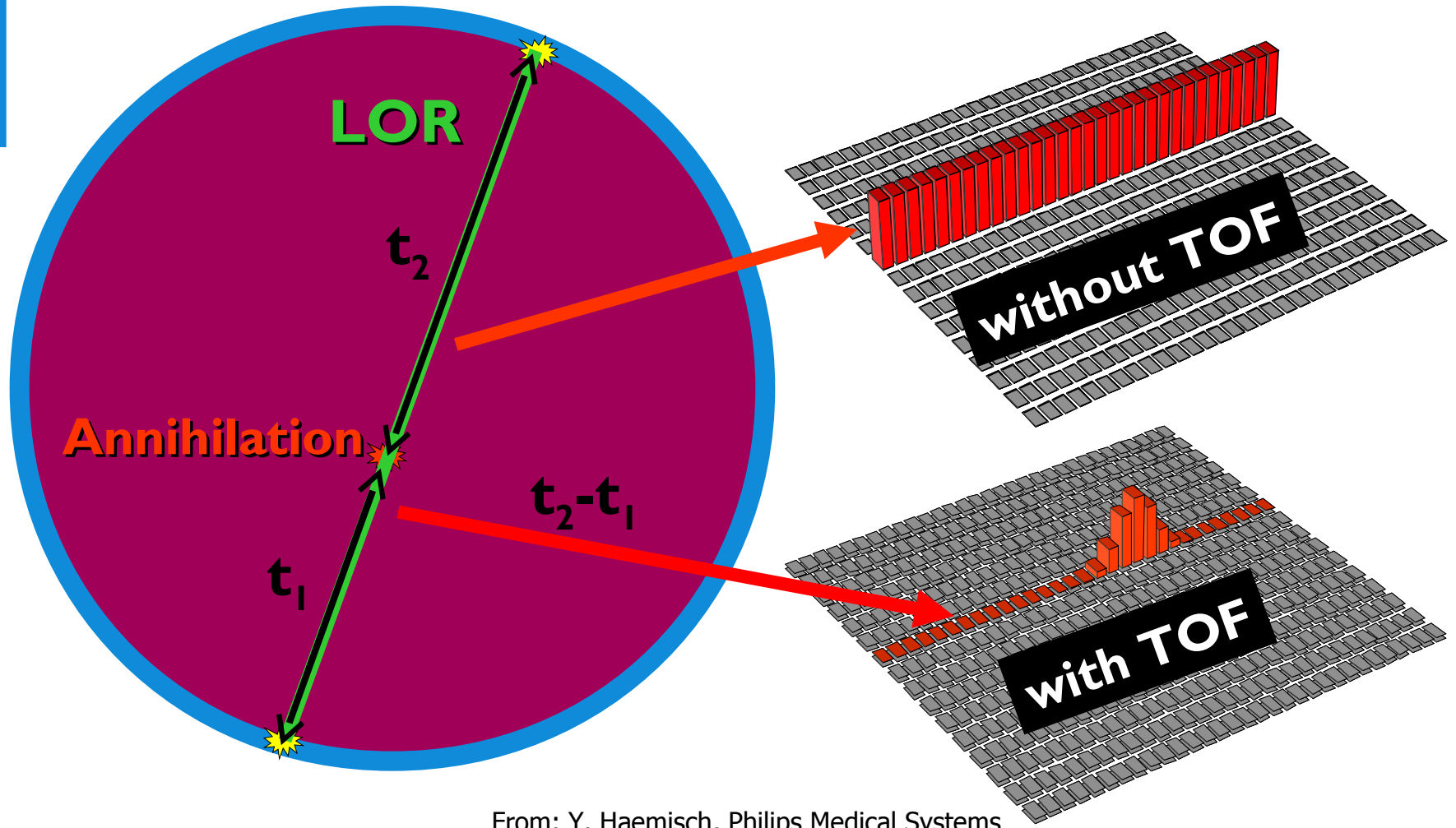


Сцинтиллятор – лимитирующий фактор быстродействия детектора

Positron Emission Tomography



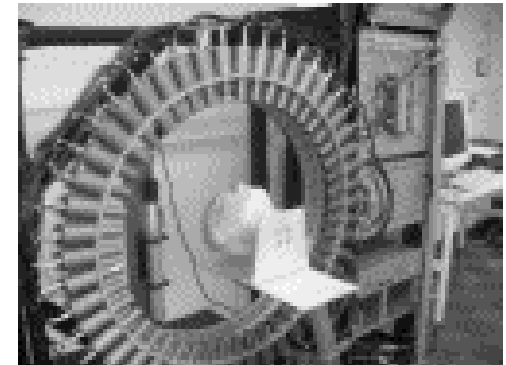
Time of flight TOF-PET [W.Moses, IEEE, Trans. Nucl. Sci. NS-46 (1999) 474]



From: Y. Haemisch, Philips Medical Systems

Properties of Inorganic Scintillators Used for PET

Material	LY, Phs/MeV	λ_m , nm	Atten. Length (511 keV), cm	τ , ns
NaI:Tl	38,000	415	3.3	230
LSO	24,000	420	1.2	40
BGO	8,200	505	1.1	300
GSO	7,600	430	1.5	60
BaF ₂	10,000	220/310	2.3	0.6/620



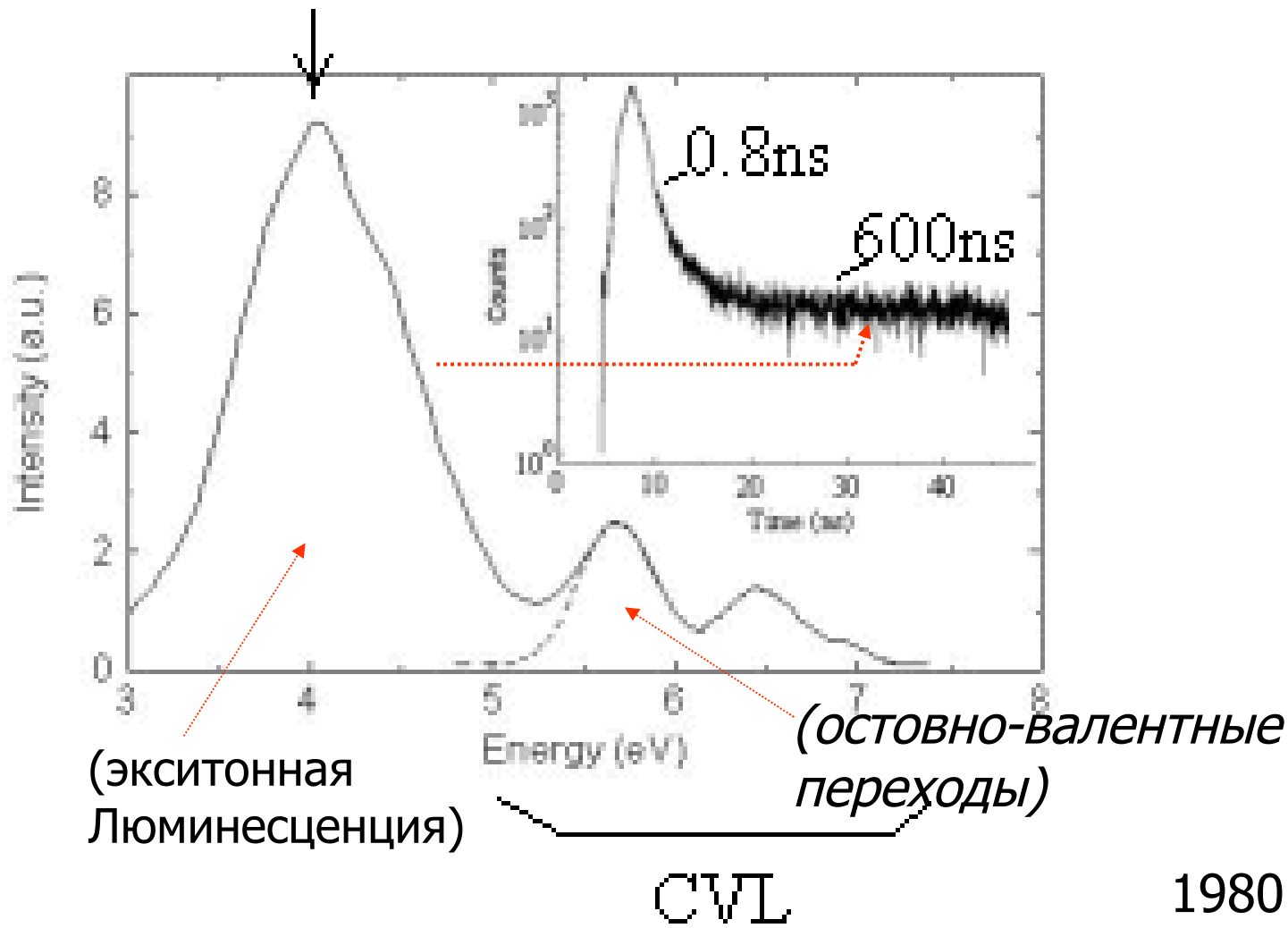
T. Bäck et al. NIM A **471**(2001) 200 / email: back@msi.se

A detector system for **PET** with **time-of-flight** capability has been built. The set-up consists of **48 BaF₂** scintillator crystals, each coupled to a fast PMT, mounted in a circular geometry. The best **time resolution** for a pair of the detectors was **340 ps**.



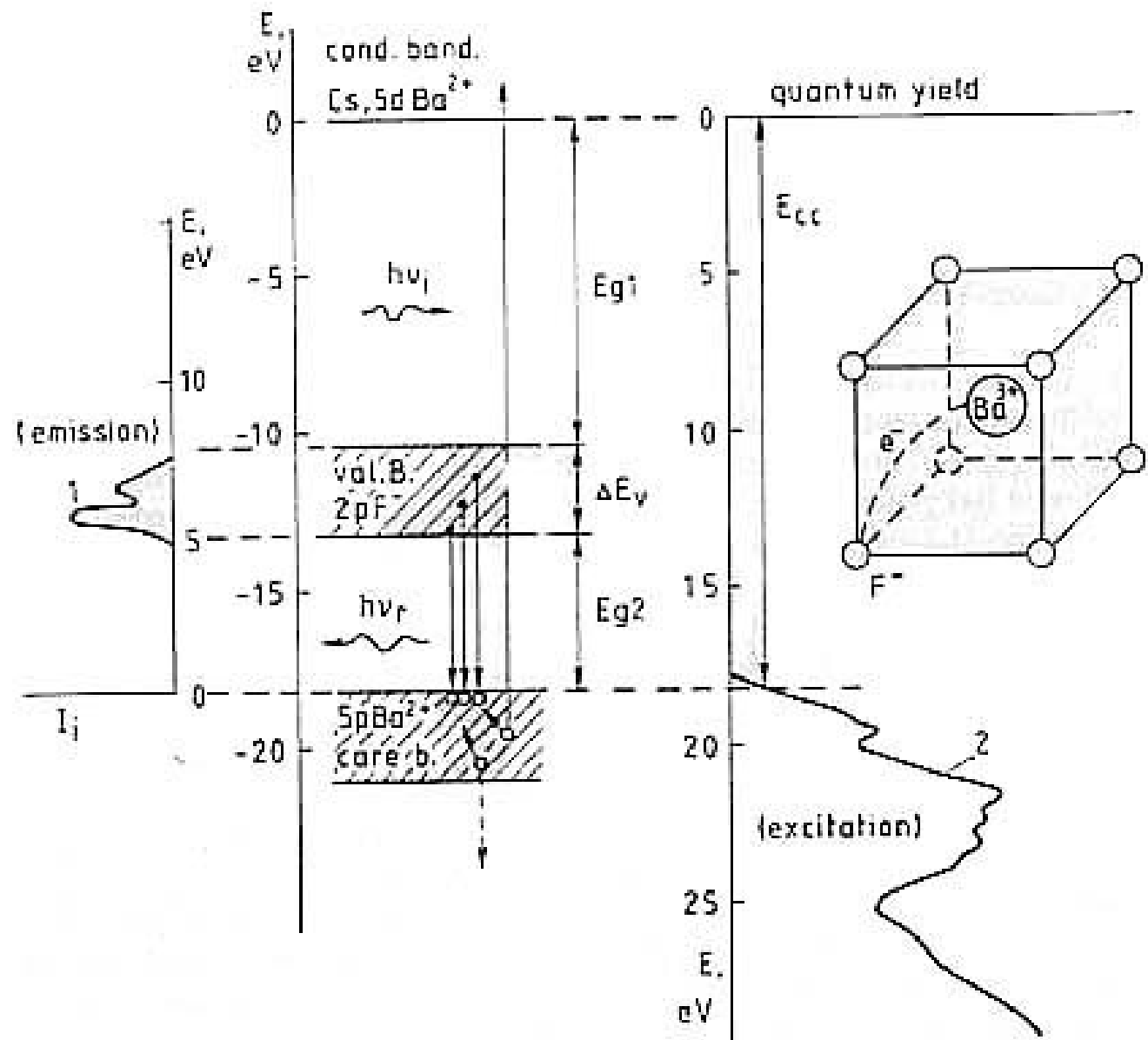
STE

BaF₂ emission

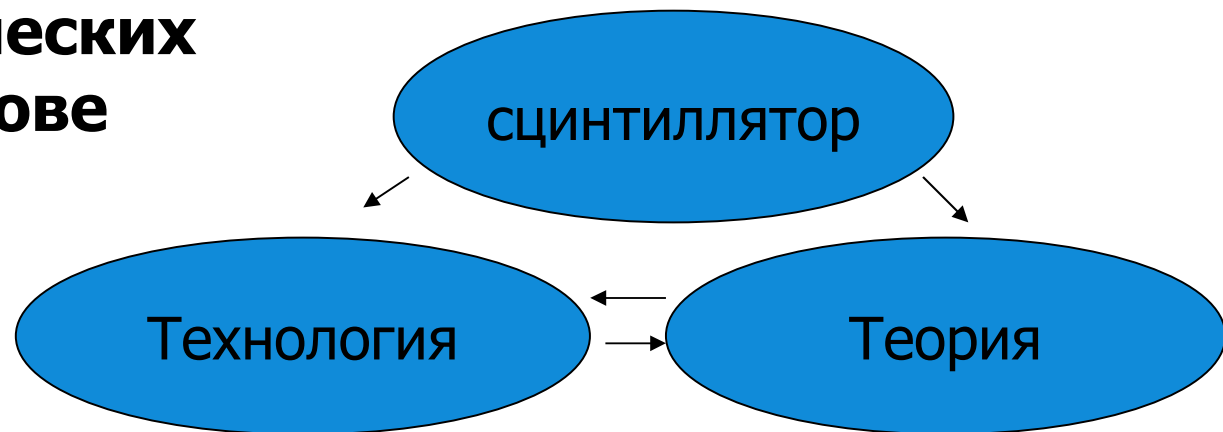


1980 г.

Схема энергетических зон BaF_2 и основные электронные переходы



Создание оптических керамик на основе BaF_2 и $\text{BaF}_2:\text{Ce}$

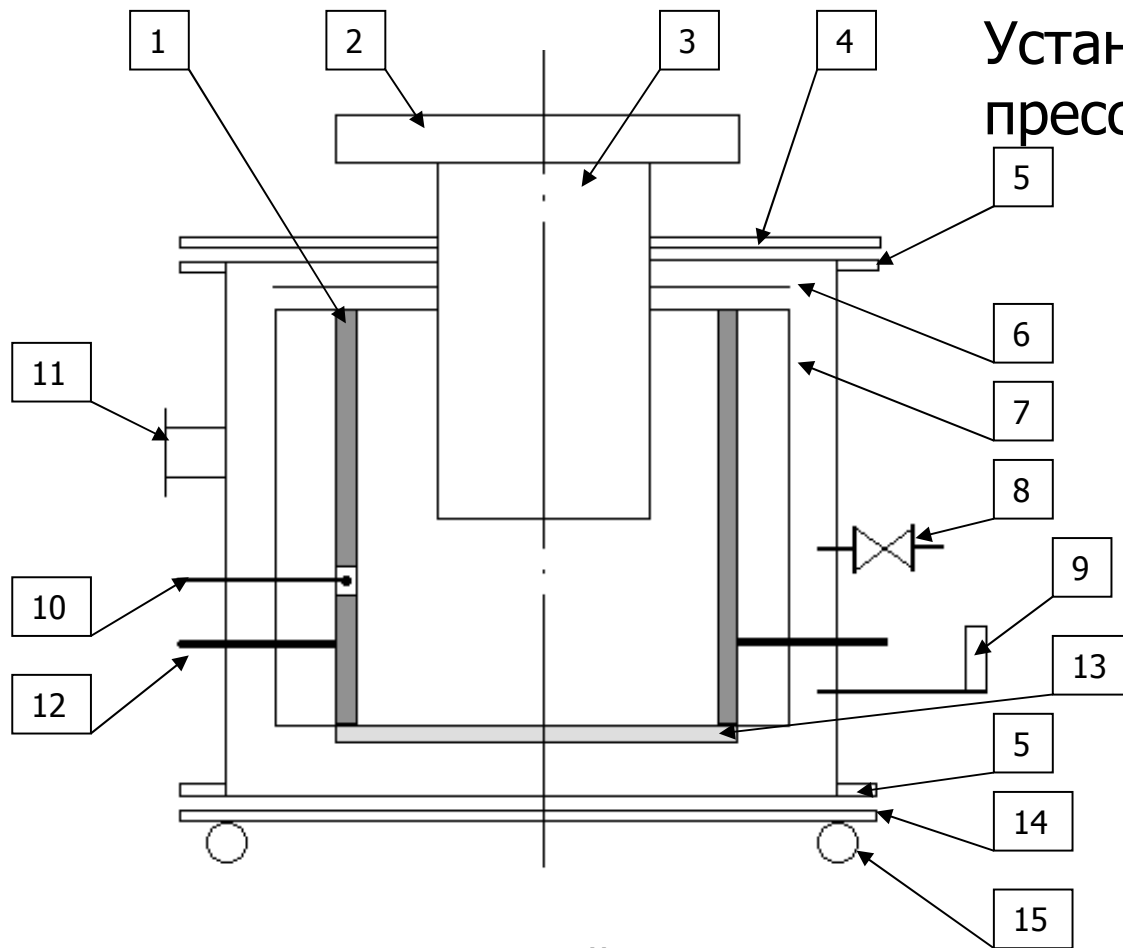


Ceramics of CaF_2 (left) , BaF_2 crystal (right)



Crystal dimensions $(5 \times 5 \times 15) \text{ mm}^3$

- *Требования для PET:*
- Быстродействие
- Высокий световыход
- Высокое энерг. разреш.
- Низкая стоимость



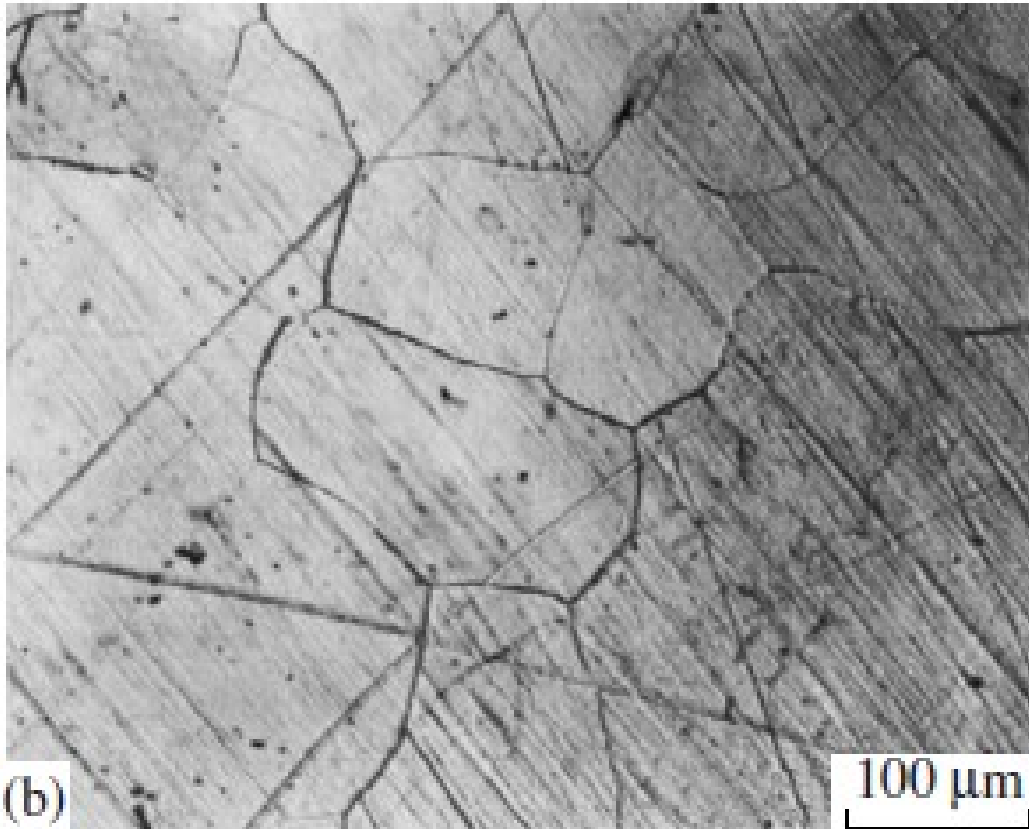
Установка для горячего прессования (ИНКРОМ)

Примеси в исходных фторидах $\leq 10^{-4}$ мас.%

$T = 800-1150^{\circ}\text{C}$
 $P = 200 \text{ МПа}$

керамики:
 $\phi 35\text{mm}, d=4-5\text{mm}$

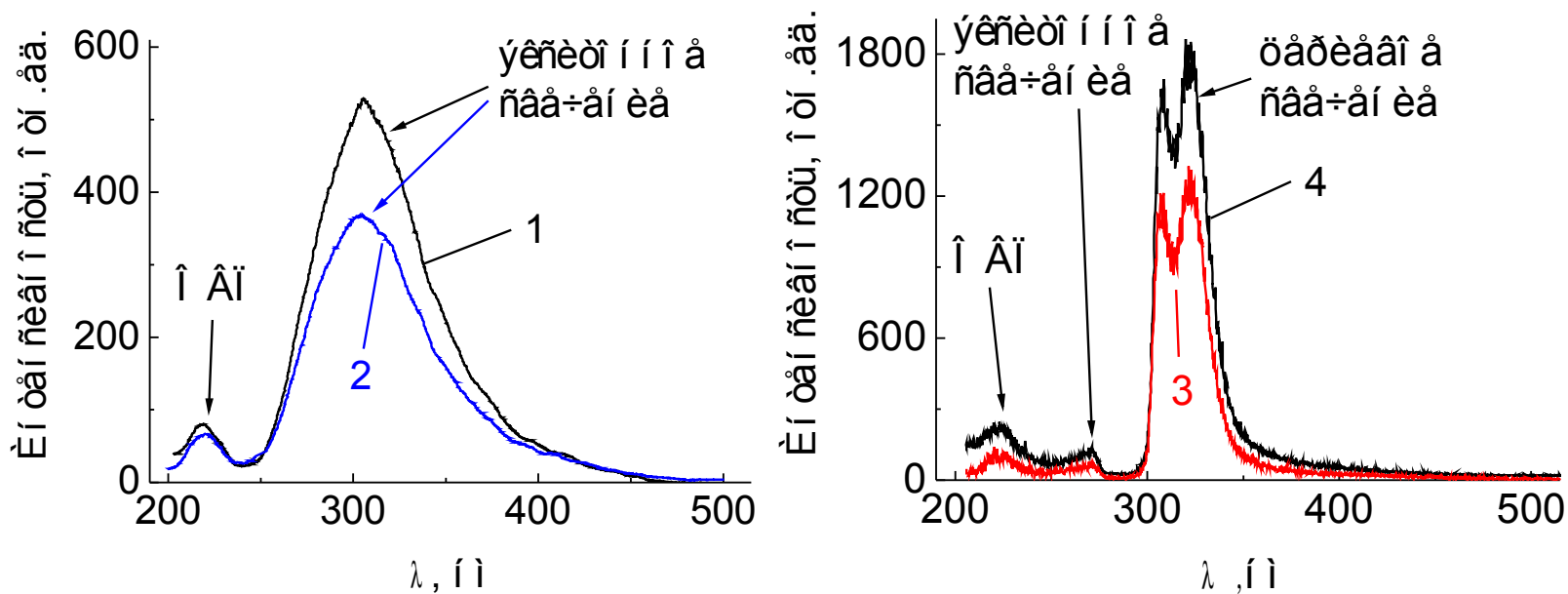
- 1 – нагреватель графитовый; 2 – упор;
 3 – пуансон установки; 4 – крышка;
 5 – обечайка; 6 – экран верхний; 7 – экран боковой;
 8 – вентиль сдувочный; 9 – лампа манометрическая;



Микроструктура
 $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ керамики

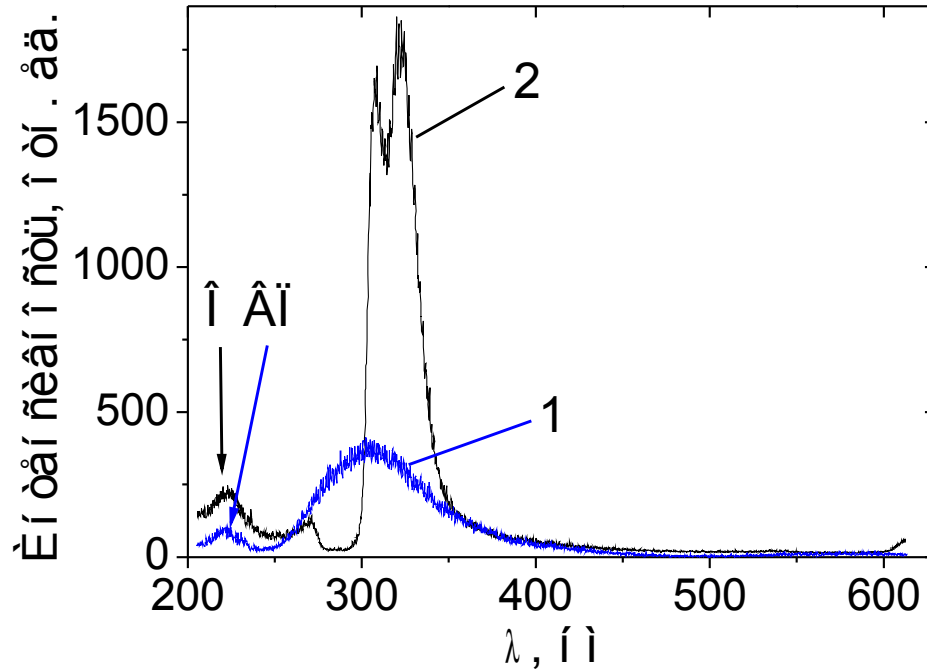
М. Ш. Акчурин и др. ПЕРСПЕКТ. МАТЕРИАЛЫ (2006) стр. 5.
Методами АСМ, РЭМ и ПЭМ показано, что в керамике CaF_2 зерна пронизаны системой параллельных полос, расстояния между которыми составляет 25 – 50 нм (двойники). Для керамики BaF_2 полосы не так характерны и группируются около границ зерен.

Спектры рентгенолюминесценции (РЛ)



Спектры РЛ образцов фторида бария: 1 – кристалл BaF_2 ,
 2 – керамика BaF_2 , 3 – кристалл $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ (0,1 мол.%),
 4- керамика $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ (0,1 мол.%)

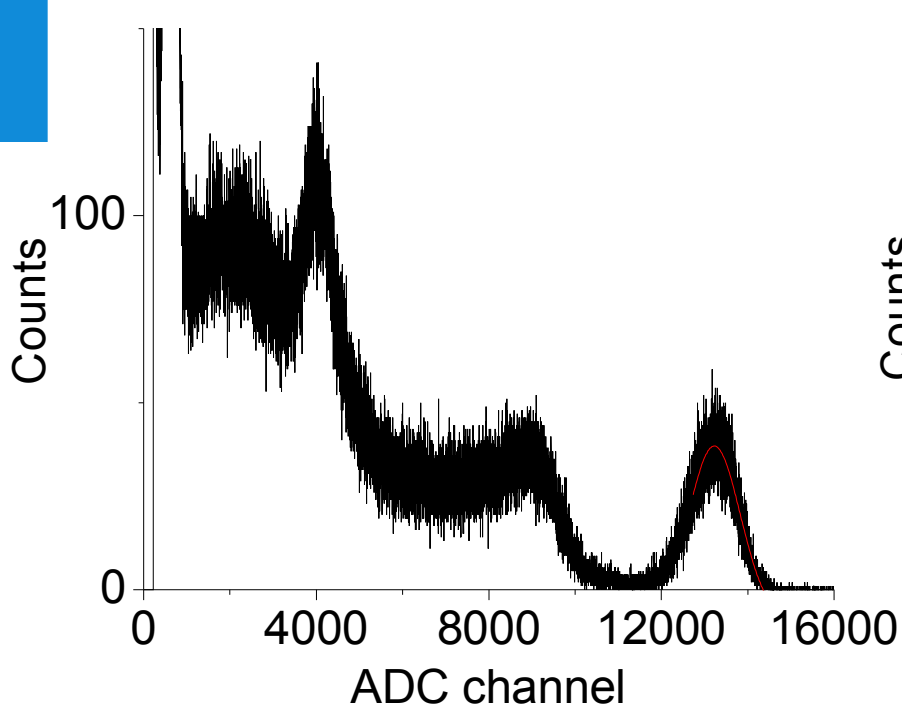
Спектры РЛ



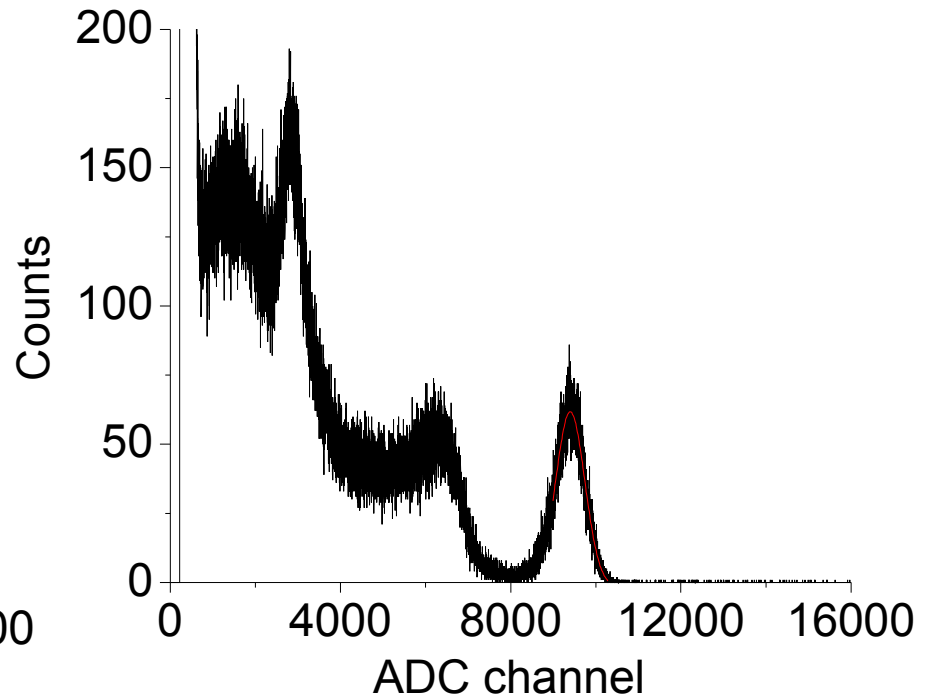
Интегральный световыход образцов $BaF_2:Ce^{3+}$ выше, чем таковой у чистого BaF_2

Спектры РЛ образцов фторида бария: 1 – керамика BaF_2 ,
2 – керамика $BaF_2:Ce$ (0,1 мол.%)

Pulse height spectra of BaF₂:Ce(0,1mol.%) /Cs¹³⁷ /

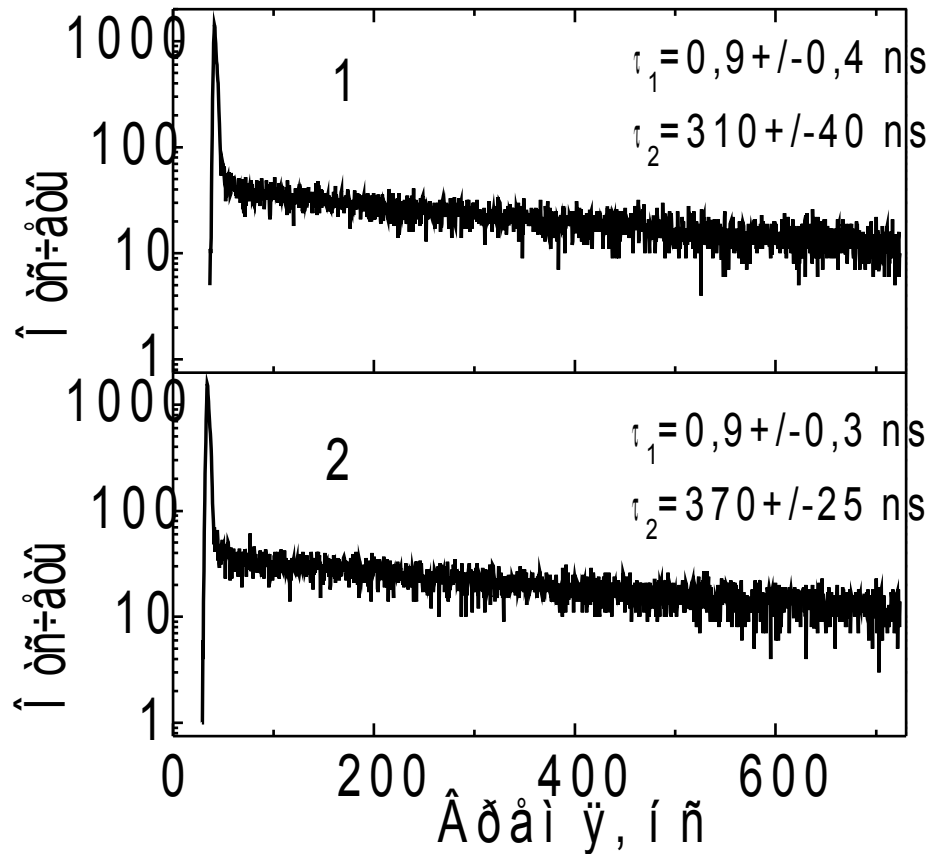


Shaping time 10 μ s
R = 10,7%; N_{pe} = 4300 phe/MeV;
N_{ph} = 11619 ph/MeV



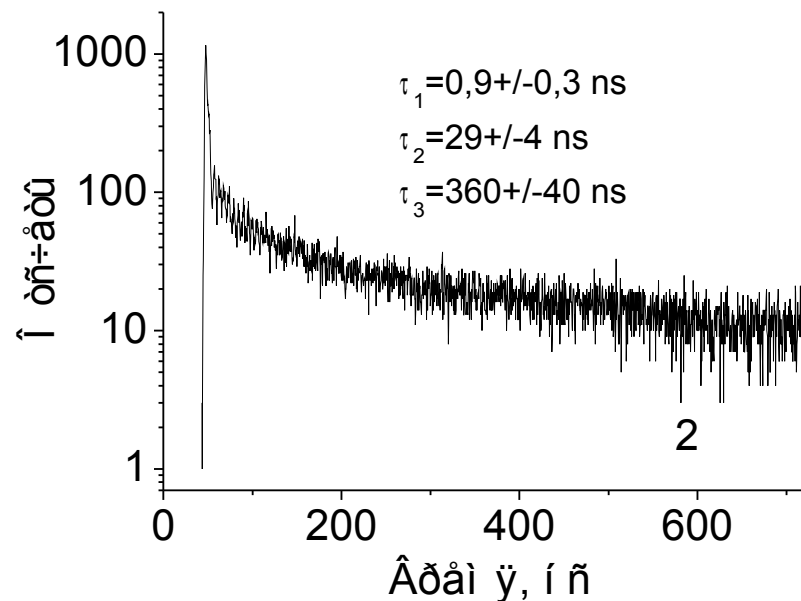
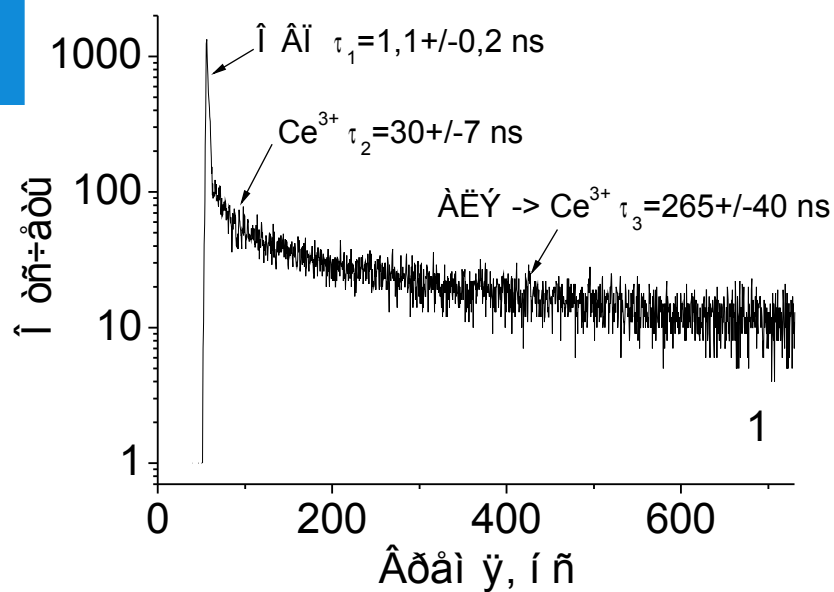
Shaping time 1 μ s
R = 8,6%; N_{pe} = 3056 phe/MeV;
N_{ph} = 8258 ph/MeV

Кинетика РЛ ВаF₂



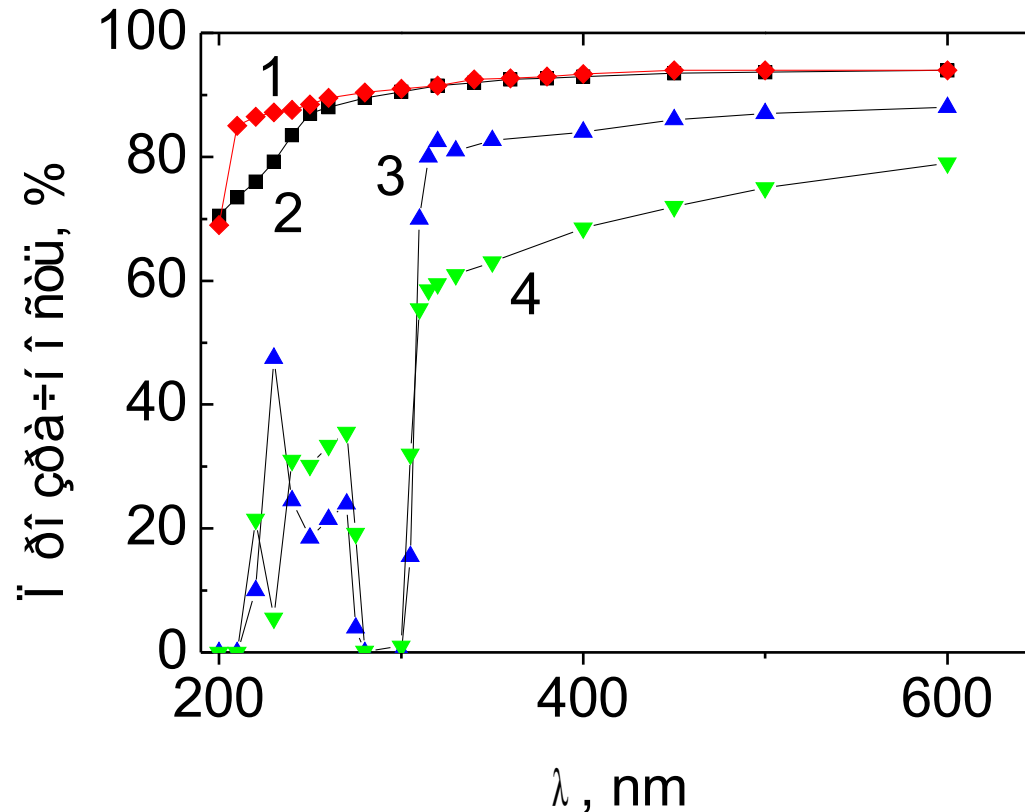
Кинетика РЛ образцов фторида бария: 1 – керамика ВаF₂,
2 – кристалл ВаF₂

Кинетика РЛ



Кинетика РЛ образцов фторида бария: 1 – керамика BaF₂:Ce (0,05 мол.%), 2 – керамика BaF₂:Ce (0,1 мол.%)

Прозрачность



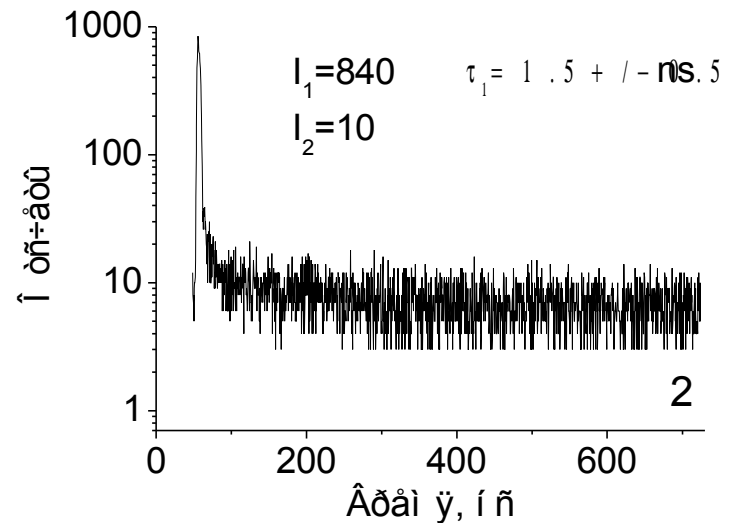
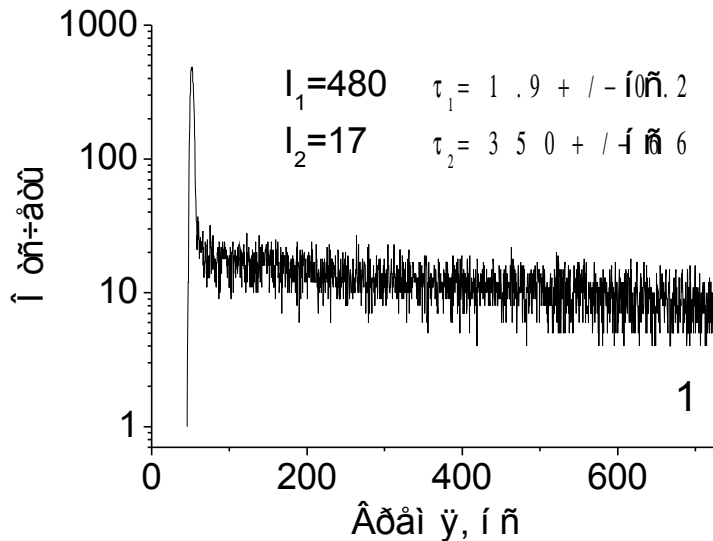
Оптическое пропускание образцов BaF_2 толщиной 3 мм (1, 2) и $\text{BaF}_2:\text{Ce}$ (0.025 мол.%), толщиной 15 мм (3, 4).
1, 3 — кристалл, 2, 4 — керамика

Оптическая керамика

BaF₂ и BaF₂:Ce

Образец	Форма	Ce ³⁺ , мол%	τ_1 , нс	I_m	τ_2 , нс	τ_3 , нс	LY
BaF ₂	Крист	-	0.9±0.3	1500	-	370±25	1.0
BaF ₂	Кер	-	0.9±0.4	1400	-	310±40	0.95
BaF ₂ :Ce	Кер	0.1	0.9±0.3	1200	29±4	360±40	1.74
BaF ₂ :Ce	Крист	0.1	1.3±0.4	1300	47±2	240±40	2.70
BaF ₂ :Ce	Кер	0.05	1.1±0.2	1400	30±7	265±40	1.98

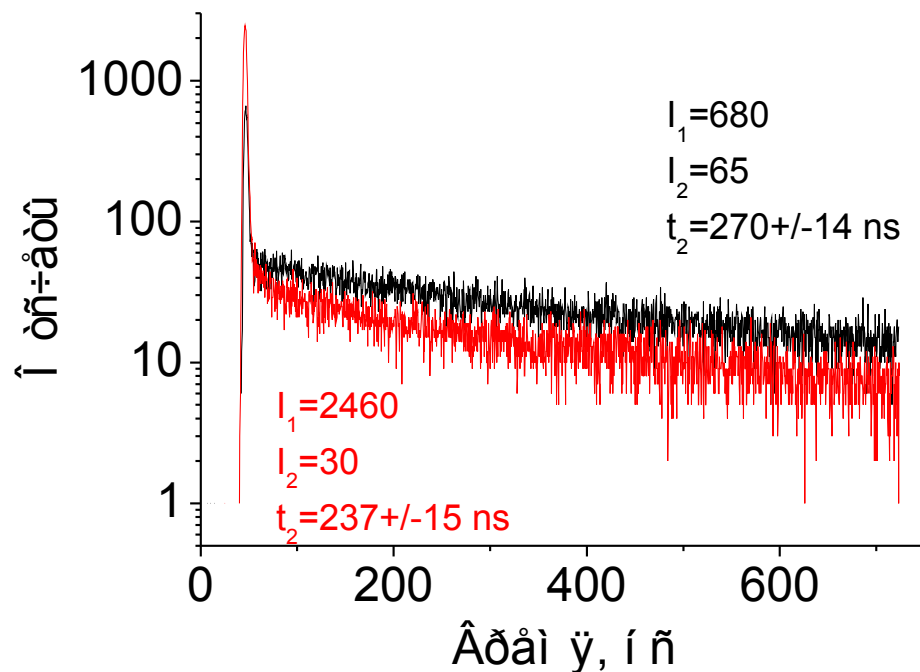
Оптическая керамика $\text{BaF}_2:\text{Cd}$



Кинетика РЛ: 1 – кристалл BaF_2 , 2 – кристалл $\text{BaF}_2:\text{Cd}(1\text{мол.}\%)$

Интегральный световыход керамического образца $\text{BaF}_2:\text{Cd}(0.1\text{ мол.}\%)$ в 1.3 раза больше, чем таковой у нелегированного BaF_2

Оптическая керамика $\text{BaF}_2:\text{Sc}$



Получено увеличение амплитуды сверхбыстрого компонента в 3.6 раза по сравнению с нелегированным керамическим образцом, не прошедшим отжиг. При этом уменьшается интенсивность медленного компонента чуть более чем в 2 раза

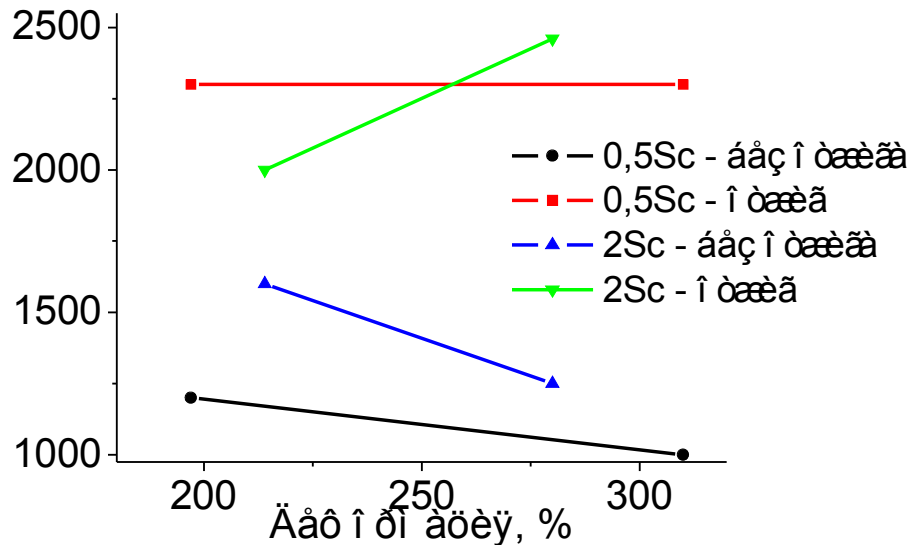
Степень деформации:

$$\delta = (l_0 - l_k) / l_k$$

Кинетика РЛ образцов фторида бария: 1 – керамика BaF_2 $\delta=243,3\%$,
 2 – керамика $\text{BaF}_2:\text{Sc}$ (2мол.%), прошедшая отжиг в CF_4
 $\delta=280\%$

Оптическая керамика на основе BaF₂:Sc





Éí òáí ñeáí î ñöü ñááðöáú ñöüðí ãí
éí î î í í áí òá



При различных концентрациях Sc и для различных степеней деформации интенсивность сверхбыстрого компонента ведет себя по-разному

Зависимость интенсивности сверхбыстрого компонента от степени деформации: $\delta = (l_0 - l_k) / l_k$

Выводы

-  Установлено, что при оптимальной концентрации ионов Ce^{3+} во фториде бария интенсивность сверхбыстрого компонента РЛ практически такая же, как в чистом BaF_2
-  Интегральная интенсивность РЛ $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$ (кристаллов и керамик) существенно выше, чем для нелегированного кристалла BaF_2 . В случае $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$ получено небольшое увеличение интенсивности РЛ для систем нанокерамика/монокристалл
-  Показано, что при концентрации Cd^{2+} 1 мол.% (кристалл) интенсивность сверхбыстрого компонента в 1.75 раза больше, чем для нелегированного кристаллического фторида бария
-  Для керамического образца $\text{BaF}_2:\text{Sc}^{3+}$ (2 мол.%), прошедшего отжиг в атмосфере CF_4 наблюдается увеличение амплитуды сверхбыстрого компонента в 3.6 раза по сравнению с нелегированным керамическим образцом, не прошедшим отжиг. При этом уменьшается интенсивность медленного компонента чуть более чем в 2 раза

Публикации по теме исследований

- A.A. Demidenko, E.A. Garibin, S.D. Gain, Yu.I. Gusev, P.P. Fedorov, I.A. Mironov, S.B. Michrin, V.V. Osiko, P.A. Rodnyi, D.M. Seliverstov, A.N. Smirnov. *Scintillation parameters of BaF₂ and BaF₂:Ce³⁺ ceramics*. Optical materials. 2010. V**32**. P1291-1293
- П.А. Родный, С.Д. Гаин, И.А. Миронов, Е.А. Гарибин, А.А. Демиденко, Д.М. Селиверстов, Ю.И. Гусев, П.П. Федоров, С.В. Кузнецов. *Спектрально-кинетические характеристики кристаллов и нанокерамик на основе BaF₂ и BaF₂:Ce*. ФТТ, том **52**, вып.9, 2010, Стр.1780
- Е.А. Гарибин, С.Д. Гаин, П.Е. Гусев, Ю.И. Гусев, Д.В. Леушев, И.А. Миронов, П.А. Родный, Д.М. Селиверстов, А.Н. Смирнов. *Новые сцинтилляторы на основе кристаллов и керамик фторида бария*, Известия РАН, серия физическая (подано в печать)

Также по результатам работ поданы 2 заявки на изобретения

Участие в конференциях

- A.A. Demidenko, E.A. Garibin, S.D. Gain, Yu.I. Gusev, P.P. Fedorov, I.A. Mironov, S.B. Michrin, V.V. Osiko, P.A. Rodnyi, D.M. Seliverstov, A.N. Smirnov. Scintillation Parameters of BaF_2 and $\text{BaF}_2:\text{Ce}^{3+}$ Ceramics. 5th Int. Symp. On Laser, Scintillator and Non Linear Optical Materials, Pisa, Italy, September 3-5, 2009
- С.Д. Гаин, П.А. Родный. Сцинтилляционные свойства оптических керамик на основе BaF_2 , легированных Ce, Cd и Sc. Конференция по физике и астрономии для молодых ученых Санкт-Петербурга и Северо-запада, Санкт-Петербург, Россия, 29-30 октября 2009
- E.A. Garibin, S.D. Gain, P.E. Gusev, Yu.I. Gusev, D.V. Leushev, I.A. Mironov, P.A. Rodnyi, D.M. Seliverstov, A.N. Smirnov. Ultra fast scintillators based on BaF_2 crystals and ceramics. LX International conference on nuclear physics "Nucleus 2010", Saint-Petersburg, Russia, July 6-9, 2010
- С.Д. Гаин, Е.А. Гарибин, А.Н. Смирнов, П.А. Родный, Д.М. Селиверстов. Оптические керамики на основе фторида бария. Международная научно-техническая конференция Нанотехнологии Функциональных Материалов, Санкт-Петербург, 22-24 сентября 2010

Также планируются доклады на Второй международной конференции ИСМАРТ-2010, Харьков, Украина, 14-19 ноября 2010

Положение RE ионов в BaF₂

