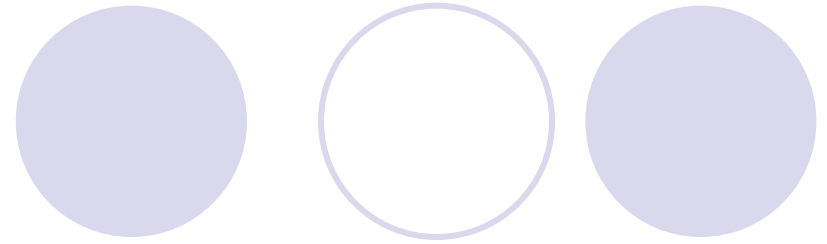


# Твердотельные детекторы на основе фторидных систем

Раджабов Е. А. и др.  
Институт геохимии СО РАН

# План доклада



- Введение

- Сцинтилляторы
- Процессы в сцинтилляторах
- Важнейшие характеристики

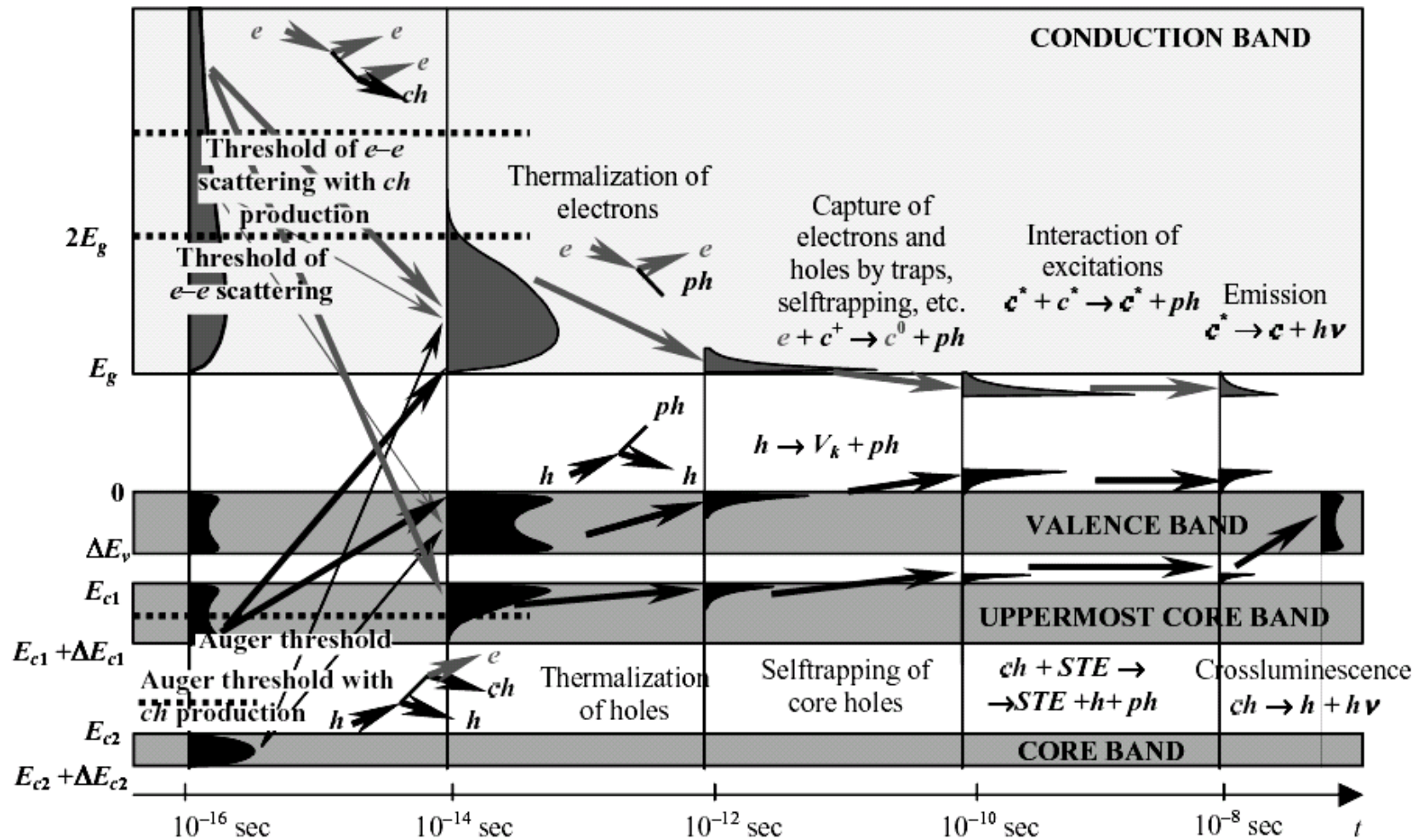
- Быстрый

сцинтиллятор  $\text{BaF}_2$

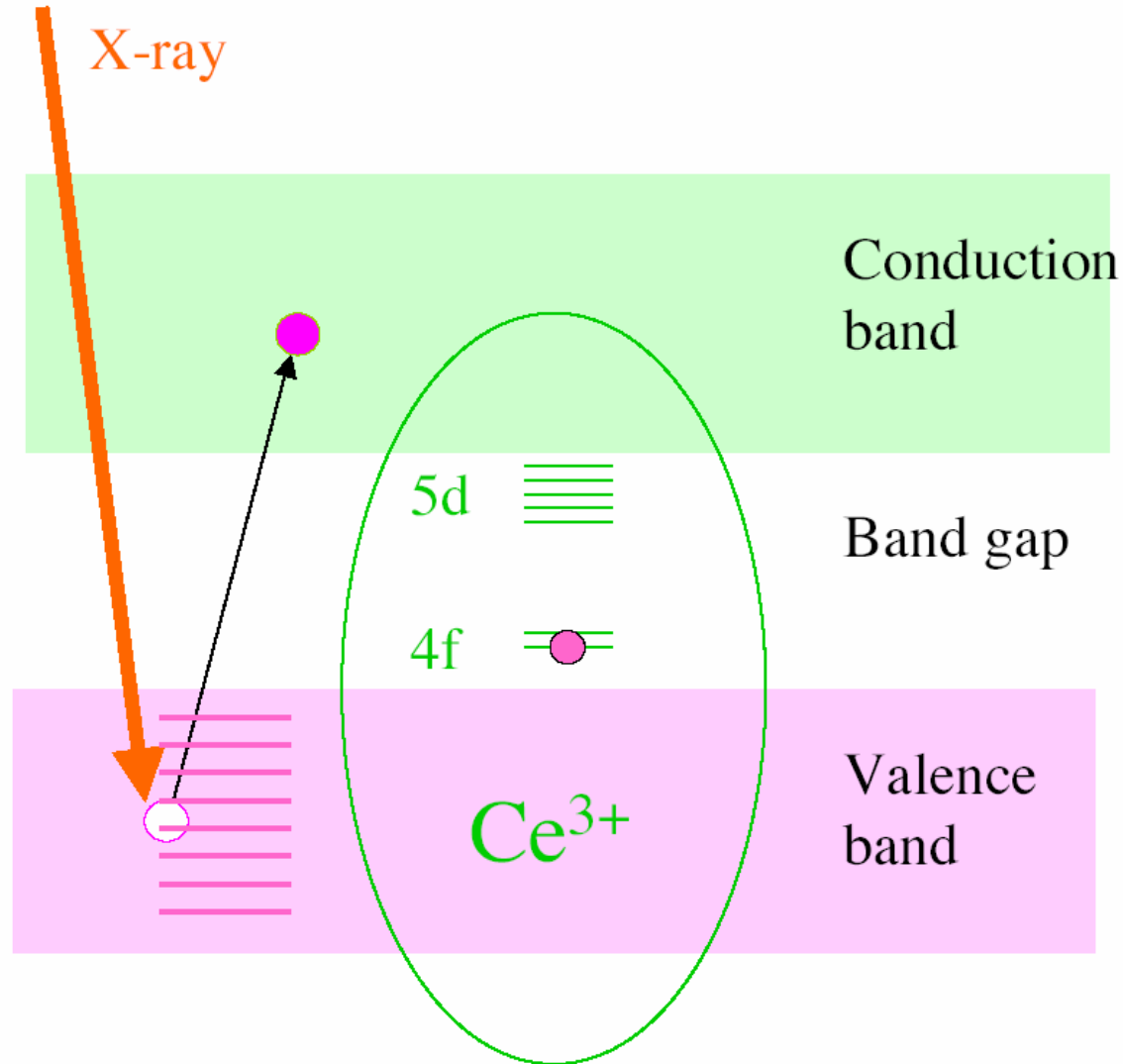
- Сцинтиллятор  $\text{SrF}_2$

- Темная материя

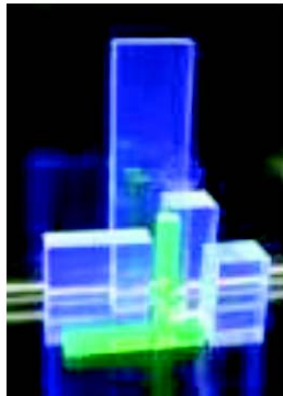
# Процессы в сцинтилляторах



# Процессы в сцинтилляторе



# Органические сцинтилляторы

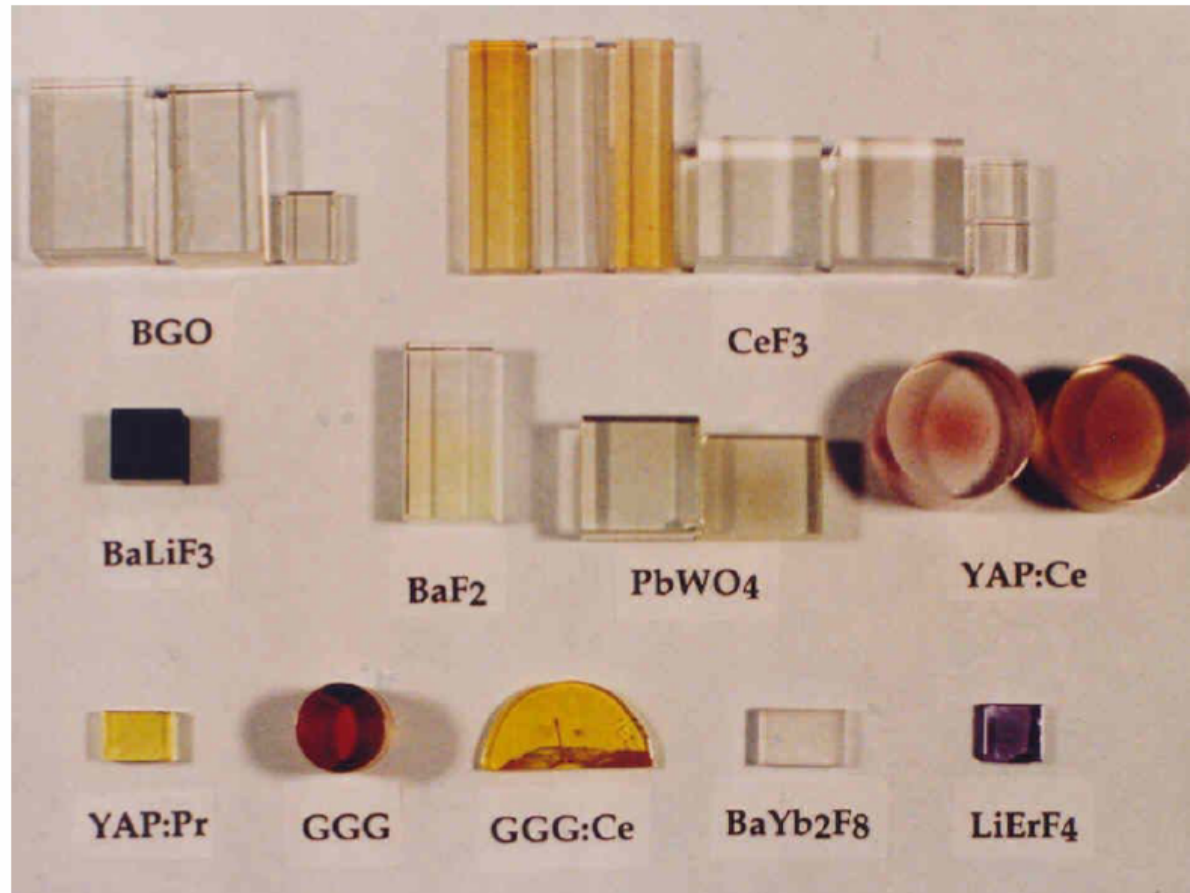


February 2008

## 7.2 Inorganic scintillators

Inorganic scintillators are usually ionic crystals

But noble gasses either in liquid or gas phase also scintillate!



# Оценка световыхода

## How is scintillation generated in inorganic solids

STEP 1: gamma-ray interaction gives rise to a large number of e-h pairs **after**  $\sim 10^{-12}$  s. (free e-h pairs or excitons)

$$N_{e-h} = \frac{E_\gamma}{b \cdot E_{BG}} \quad [E_{BG} = \text{energy bandgap}]$$

$$E_\gamma = \text{energy gamma ray}$$

$$b = 1.5 - 2 \text{ for ionic crystals}$$

Maximum yield:

$$N_{e-h} \approx \frac{1}{2} \cdot \frac{1'000'000}{E_{BG} [eV]}$$

$$\text{CsI:Tl} \quad E_{BG} = 6.2 \text{ eV}$$

$$\Rightarrow N_{\max} = 80'000 \text{ Photons/MeV}$$

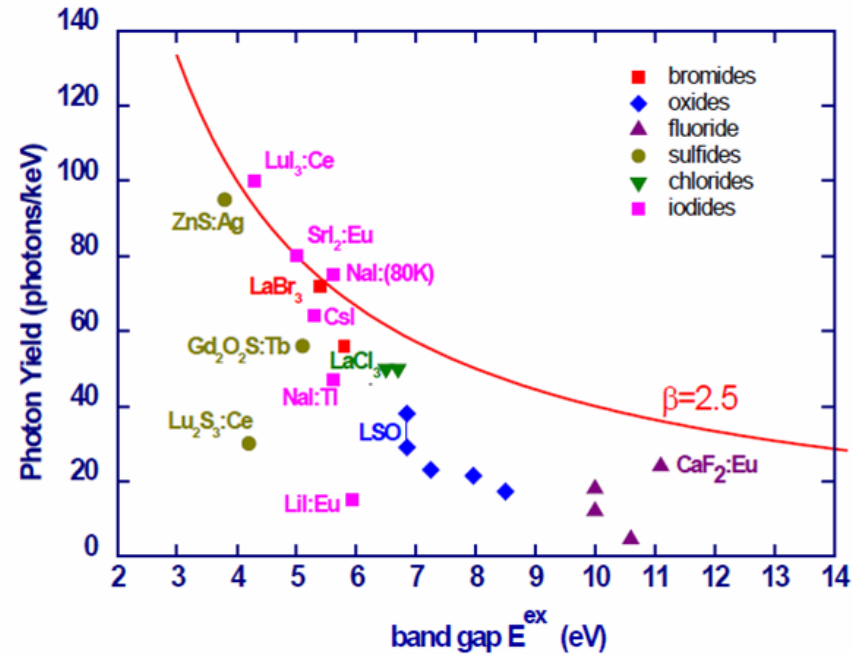
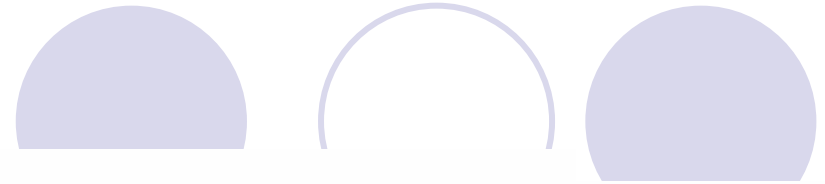
Experimentally 65'000 Photons/MeV



## Table : Some inorganic scintillators

	density	$\lambda$	yield	$\tau$
		nm	ph/MeV	ns
NaI:Tl	3.67	410	40'000	230
BGO	7.14	480	4'000	300
BaF2(fast)	4.88	215	1'500	<1
BaF2(slow)	4.88	310	10'000	700
CsI:Tl	4.51	565	65'000	600
CsF	4.11	390	2'000	3
PbWO4	8.28	480	200	10
LSO:Ce	7.4	420	28'000	40
LuAP:Ce	8.3	360	10'000	18
GSO:Ce	6.71	440	7'500	60
LuPO4	6.6	360	13'000	24
YAP:Ce	5.37	370	16'000	25
LaBr:Ce	5.3	360	60'000	35

BGO=Bi<sub>4</sub>Ge<sub>3</sub>O<sub>12</sub>, GSO=Gd<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, LSO=Lu<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, LuAP=LuAlO<sub>3</sub>, YAP=YAIO<sub>3</sub>



New scintillator  
energy resolution  
2% at  $\approx 1$  MeV





## Some examples of the use of scintillators.

- Monitor gamma radiation levels
- Gamma detectors for security;  
e.g. someone want to steal some uranium from here
- Scintillators are widely used in medical imaging  
Notably in PET and scintigraphy
- In radiography (X-ray imaging) as phosphors

# I. Быстрый сцинтиллятор $\text{BaF}_2$

Идея подавления медленной компоненты сцинтилляции в кристаллах  $\text{BaF}_2$  путем введения определенных примесей высказана еще в 1989 году.

Нами на основе многолетних исследований и анализа возможных примесей сделан вывод о перспективности использования примеси **кадмия** для тушения **ЭКСИТОНОВ**

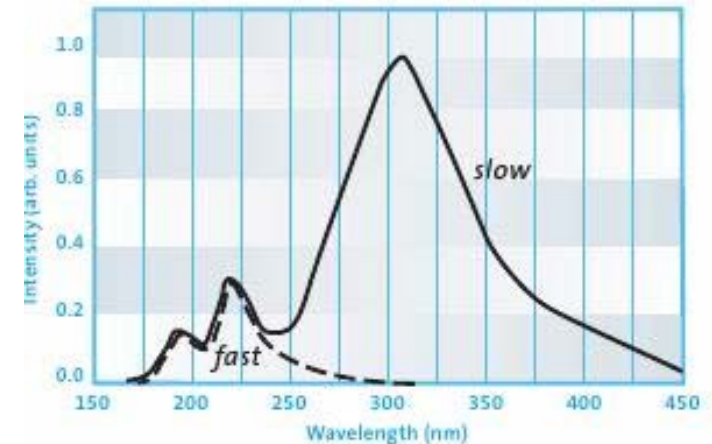
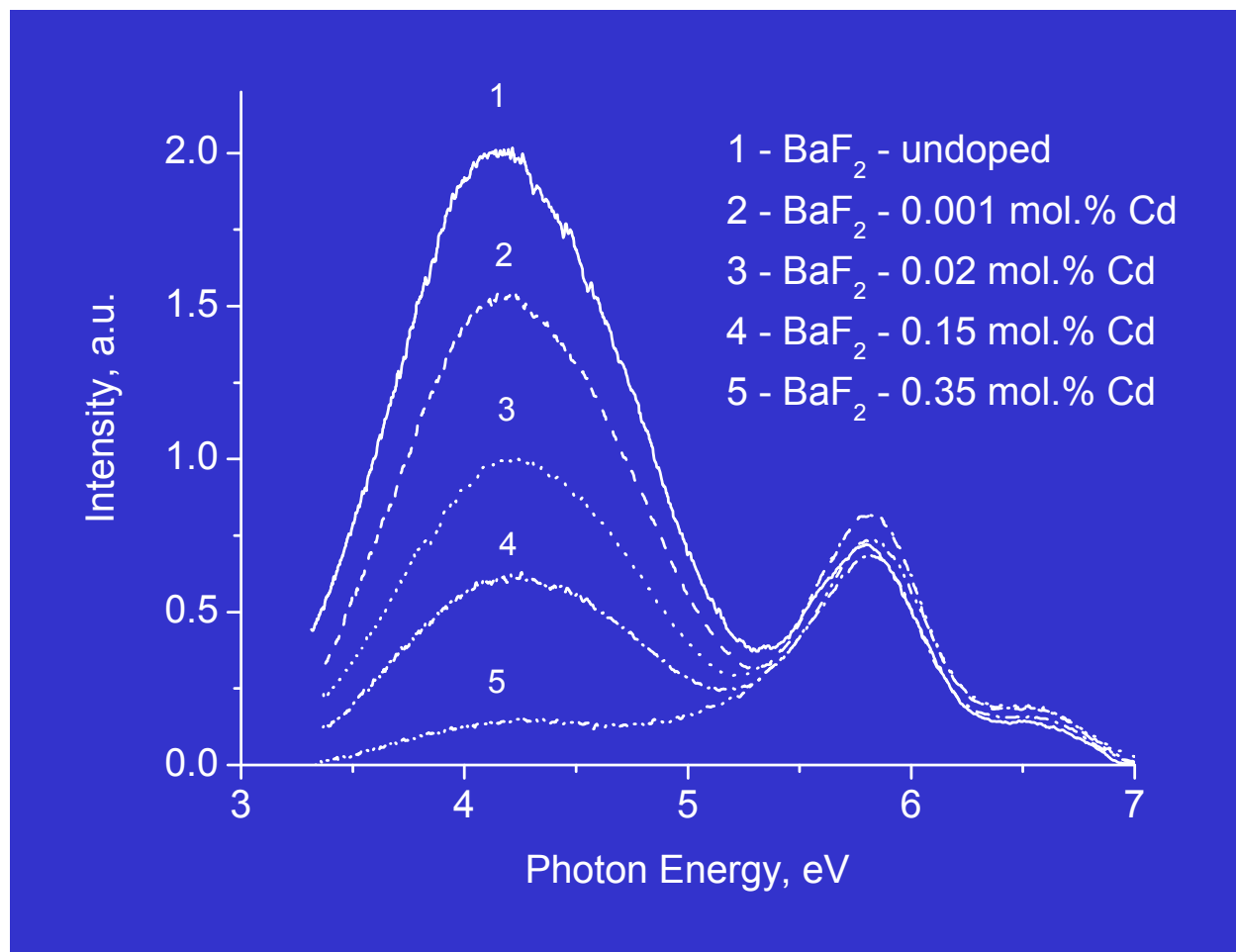


Figure 1. Scintillation emission spectrum of  $\text{BaF}_2$

# Влияние примесей на подавление ЭКСИТОНОВ

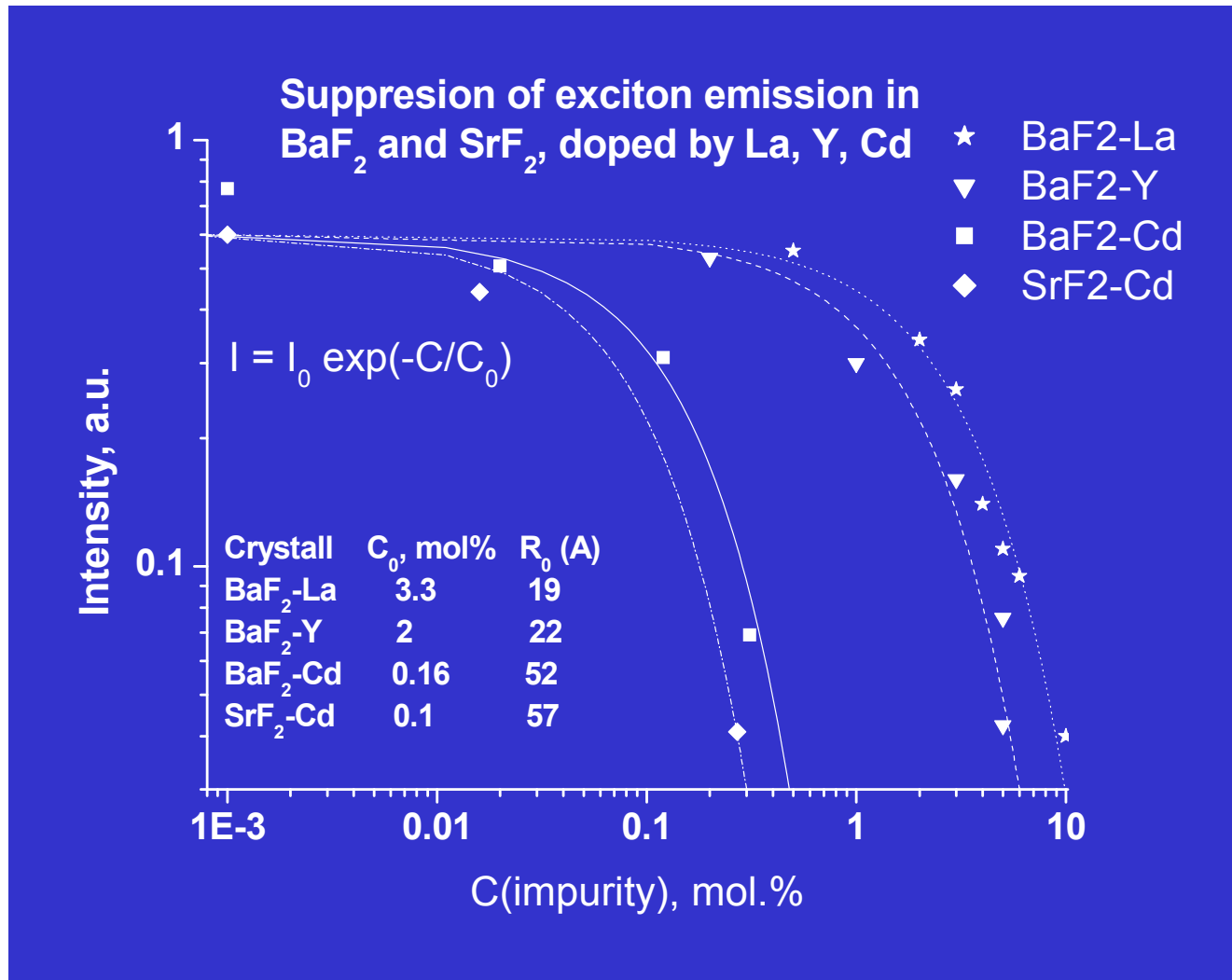
В кристаллах  $\text{BaF}_2\text{-Cd}$  интенсивность медленной компоненты подавлена в **10-30 раз**, что достаточно для применения сцинтилляторов в интенсивных радиационных полях.



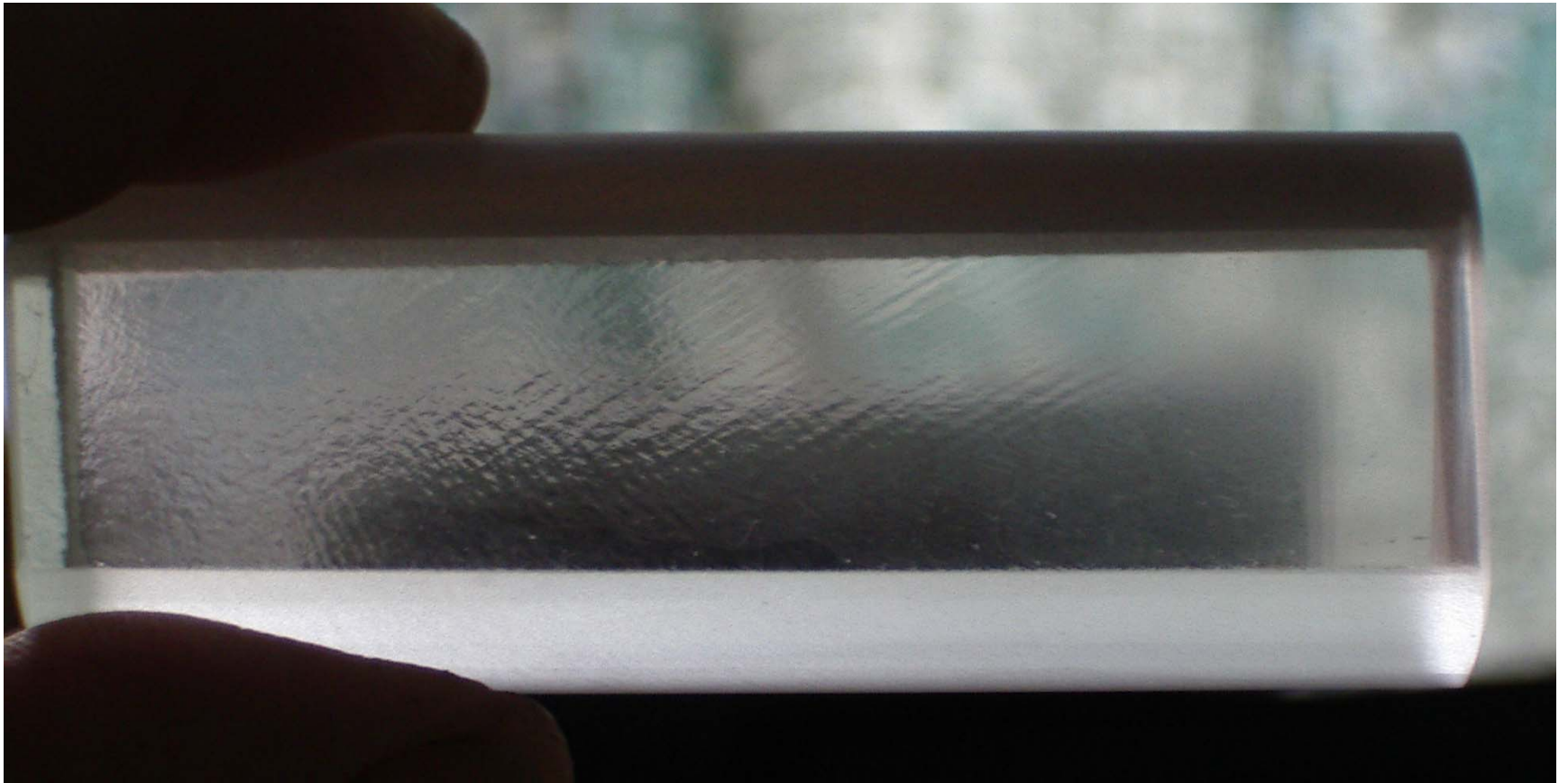
# Наиболее перспективные примеси в $\text{BaF}_2$

Ионы	Конфигурация/ ионный радиус (6- коорд.)	Уровень примеси (моль.%) для подавления в 10 раз
$\text{Sc}^{3+}$	$3s^2 3p^6 [\text{Ar}] / 0.89$	?
$\text{Y}^{3+}$	$3d^{10} 4p^6 [\text{Kr}] / 1.04$	3.5%
$\text{La}^{3+}$	$4d^{10} 5p^6 [\text{Xe}] / 1.17$	5 %
$\text{Cd}^{2+}$	$[\text{Kr}] 4d^{10} / 1.09$	0.3 %
$\text{Zn}^{2+}$	$[\text{Ar}] 3d^{10} / 0.88$	?
$\text{Ba}^{2+}$	$4s^2 4p^6 4d^{10} / 1.49$	

# Влияние примесей на подавление ЭКСИТОНОВ



Трудности выращивания кристалла с  
уровнем примеси выше 1 %



# II. Сцинтиллятор $\text{SrF}_2$

I S S N 0021-3411

ИЗВЕСТИЯ  
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

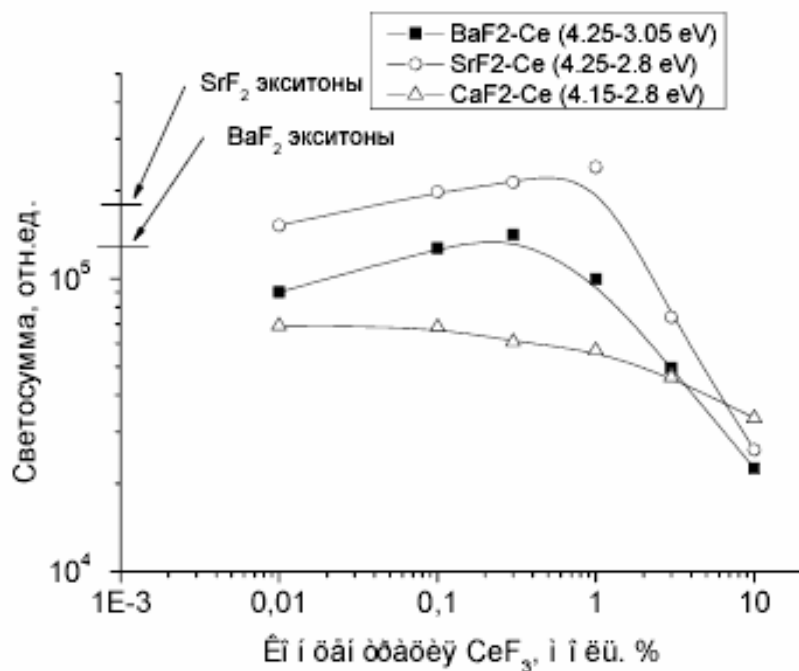


Рис.2 Зависимость интегральной светосуммы свечения ионов  $\text{Ce}^{3+}$  от концентрации  $\text{CeF}_3$  в кристаллах  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$

# ФИЗИКА

## 8/2-2009

ИЗДАНИЕ  
ТОМСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

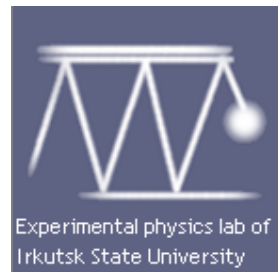
# Scintillation properties of pure and $\text{Ce}^{3+}$ -doped $\text{SrF}_2$ crystals

R. Shendrik, E. A. Radzhabov, and A. I. Nepomnyashchikh

1) Vinogradov Institute of Geochemistry, Russia

2) Irkutsk State University, Russia

E-mail: shendrik@ieee.org



**LUMDETR 2012**

8<sup>th</sup> International Conference  
on Luminescent Detectors and  
Transformers of Ionizing Radiation





# Scintillation properties of some fluorides

	SrF <sub>2</sub>	SrF <sub>2</sub> -Ce	CaF <sub>2</sub> -Eu	BaF <sub>2</sub>	NaI-Tl
<b>Light yield (ph/MeV)</b>	14000 <sup>2)</sup>	?	22000	10000	45000
<b>Emission peak (nm)</b>	285	310; 325	435	220; 300	415
<b>Principal decay (ns)</b>	2000	120	960	0.8, 600	230
<b>Density (g/cm<sup>3</sup>)</b>	4.24	4.24	3.18	4.9	3.67
<b>Z<sub>eff</sub></b>	35	35	17	53	50
<b>Melting / Process temp, °C</b>	1450	1450	1691	1370	651
<b>Hygroscopic</b>	no	no	no	no	yes

1) <http://scintillator.lbl.gov>

2) Shotanus, van Ejjik, IEEE TNS 1987;



# X-ray emission spectra

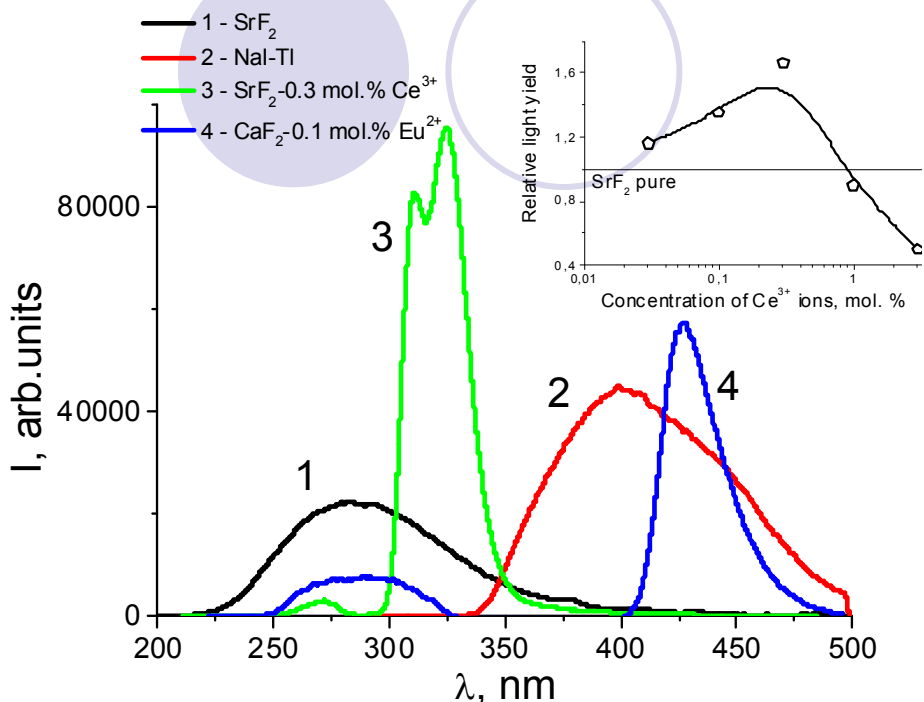


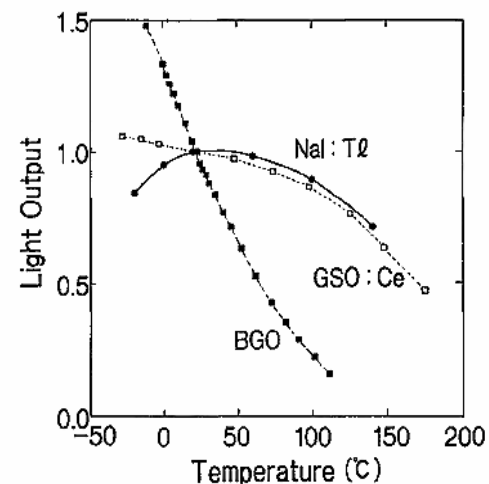
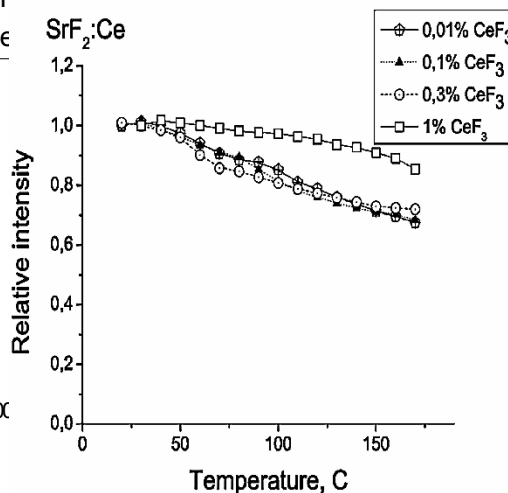
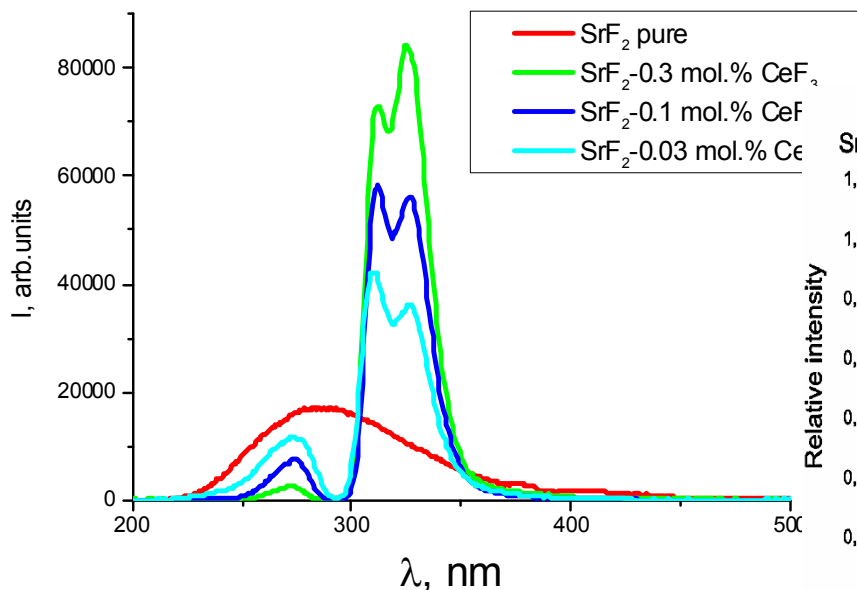
Figure shows luminescence spectra of pure  $\text{SrF}_2$  (curve 1), NaI-Tl (curve 2),  $\text{SrF}_2$ -0.3 mol.%  $\text{Ce}^{3+}$  (curve 3), and  $\text{CaF}_2$ -0.1 mol.%  $\text{Eu}^{2+}$  (curve 4). The spectra were not corrected for spectral sensitivity of registration channel

Light output (LO) of x-ray luminescence is derived from integral emission intensity of the crystals.

$$\text{LO}(\text{SrF}_2) = 0.48 * \text{LO}(\text{NaI-Tl})$$

$$\text{LO}(\text{SrF}_2\text{-}0.3 \text{ mol.\% Ce}) = 0.71 * \text{LO}(\text{NaI-Tl})$$

$$\text{LO}(\text{CaF}_2\text{-Eu}) = 0.5 * \text{LO}(\text{NaI-Tl})$$



# Light yield measurements

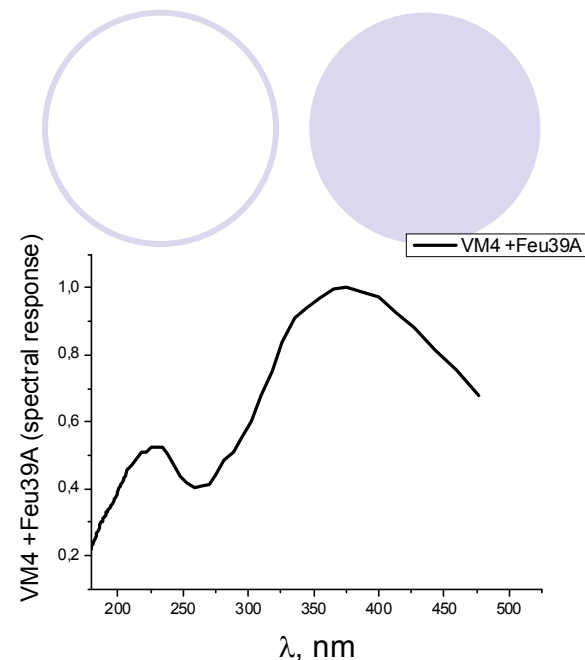
	Pulse height	X-ray emission
NaI-Tl (LY=45000 ph/MeV)	1	1
CaF <sub>2</sub> -0.1 mol. % Eu <sup>2+</sup>	0.42	0.5
SrF <sub>2</sub>	0.42	0.48
SrF <sub>2</sub> -0.3 mol. % Ce <sup>3+</sup>	0.32	0.79
SrF <sub>2</sub> -1 mol. % Ce <sup>3+</sup>	0.2	0.43

\*) In the table, LY is pointed without correction for spectral sensitivity of PMT.

## After correction:

Corrected light yield of SrF<sub>2</sub> –  $^{corr}LY(SrF_2)=2*LY(SrF_2)$

Corrected light yield of SrF<sub>2</sub>-Ce –  $^{corr}LY(SrF_2-Ce)=1.5*LY(SrF_2-Ce)$

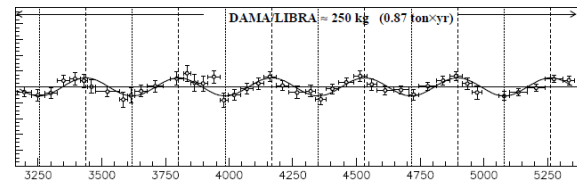
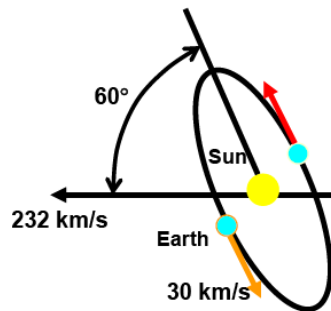
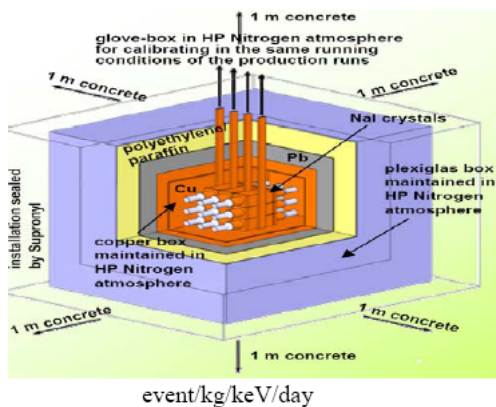


LUMDETR 2012

8<sup>th</sup> International Conference  
on Luminescent Detectors and  
Transformers of Ionizing Radiation



# III. Материалы для поиска темной материи



Одно из сильных доказательств существования темной материи получено в эксперименте DAMA-LIBRA (Италия). Детектором из кристаллов NaI-Tl обнаружен эффект годичной модуляции интенсивности излучения.



Для прямого поиска частиц темной материи наиболее перспективны фторидные материалы  $\text{LiF}$ ,  $\text{CaF}_2$  ... (итоги совещания в ИЯИ <http://www.inr.ru/rus/2012/temn-mat.html>). В кооперации с институтом ядерных исследований РАН (Троицк) и институтом сцинтилляционных материалов (Харьков) начат поиск подходящих фторидных сцинтилляторов

# Заключение



- Разработана методика выращивания кристаллов фторида бария с подавленной медленной компонентой ( $\text{BaF}_2\text{-LaF}_3$  и  $\text{BaF}_2\text{-CdF}_2$ )

- Разработана технология выращивания кристаллов щелочно-земельных фторидов ( $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$ ,  $\text{BaF}_2$ ) как чистых, так и активированных редкоземельными ионами.



Поиск и исследование новых сцинтилляционных материалов для на основе кристаллов фторида стронция и бария, активированных ионами редкоземельных элементов



По договору с "Российским Федеральным Ядерным Центром – Всероссийским научно-исследовательским институтом экспериментальной физики "РФЯЦ-ВНИИЭФ)" мы поставляем несколько опытных образцов сцинтилляторов из фтористого бария с подавленной медленной компонентой.



Установка для измерения светового выхода и энергетического разрешения сцинтилляционных кристаллов

- Установлены механизмы передачи энергии от кристаллической решетки к редкоземельным ионам в сцинтилляторах на основе  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{SrF}_2$  и  $\text{BaF}_2$  с примесями редкоземельных ионов ( $\text{Ce}^{3+}$ ,  $\text{Pr}^{3+}$ ,  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Tm}^{3+}$ ).

- Лаборатория располагает комплексом установок для измерения спектров рентгено- и радиолуминесценции, импульсной рентгеновской трубкой для измерения времен затухания и спектров с временным разрешением.