

Низкофоновые оксидные кристаллы для поиска темной материи и двойного бета-распада

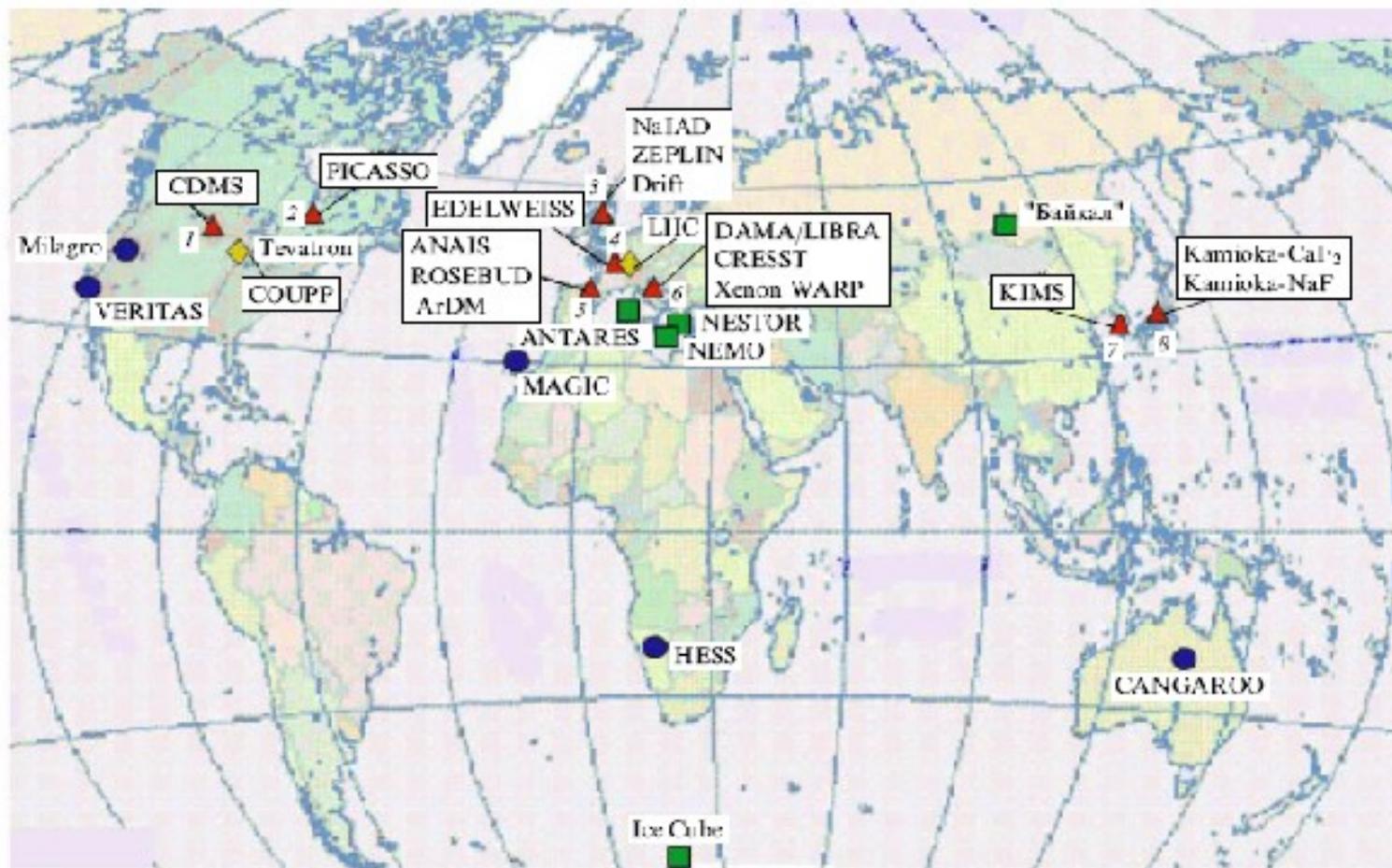
Тупицына И.А.^а, Вострецов Ю.Я.^а, Гринев Б.В.^а,
Даневич Ф.А.^б, Нагорная Л.Л.^а

^а *Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины*

^б *Институт ядерных исследований НАН Украины*



Установки по поиску ТМ



■ Нейтринные телескопы
● Гамма-телескопы

◆ Ускорители
▲ Подземные лаборатории

Эксперименты на спутниках
 PAMELA
 GLAST
 AMS

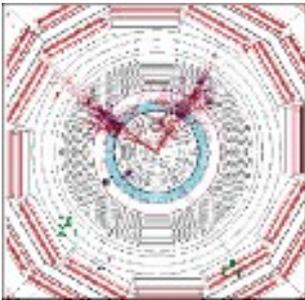
Методы поиска частиц ТМ

На коллайдерах

LHC

WIMP -100 ГэВ
при $E > 2000$ ГэВ
Нельзя

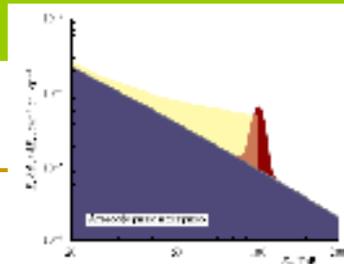
определить
какой вклад
образовавшиеся
новые частицы
вносят в ТМ



Непрямые методы

(регистрация продуктов
аннигиляции вимпов)

- Нейтрино в нейтринных телескопах
- Фотонов наземными гамма-телескопами
- Фотонов космическими гамма-телескопами
- Космических позитронов и антипротонов



Прямые методы

- Детекторы, регистрирующие ионизацию
- Сцинтилляционные детекторы
- Детекторы, регистрирующие тепло
- Комбинированные детекторы

Сцинтилляционные детекторы

- DAMA, DAMA/LIBRA - NaI(Tl), Гран-Сассо
Годовая модуляция счета событий в интервале 2-6 кэВ

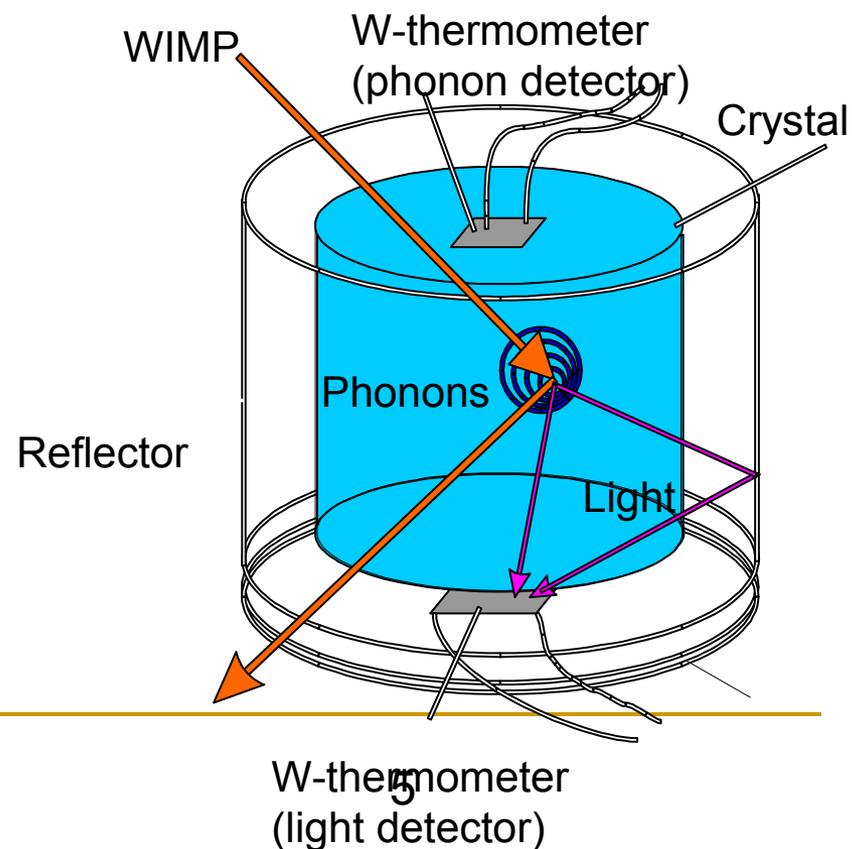
- NaIAD – NaI , Боулби
- KIMS-CsI(Tl), Янгянг

Отклонений от фонового счета событий не обнаружено

Комбинированные криогенные детекторы

- ❑ Энергетический порог энергии отдачи -10 кэВ
- ❑ Высокое, сравнимое с германиевыми детекторами, энергетическое разрешение.
- ❑ Эффективное разделение событий от γ -квантов (β^- , α -частиц) и ядер отдачи

Детектор CRESST-II



2β -распад

Элементы с 2 β–активными изотопами

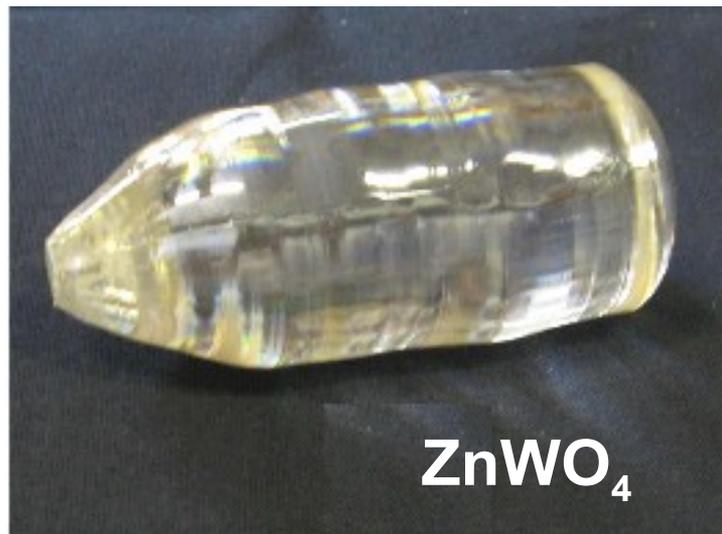
Ca, Cr, Ni, Zn, Se, Sr, Zr, Mo, Ru, Pd, Cd, Sn, Te,
Ba, Ce, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, W, Os, Pt, Hg



Основные требования к сцинтилляторам

- высокий световой выход
- низкий уровень собственной радиоактивности
- наличие определенных нуклидов (2β распад)
($^{106,108,114,116}\text{Cd}$, $^{64,70}\text{Zn}$, $^{180,186}\text{W}$, $^{92,98,100}\text{Mo}$,
...)
- наличие различных ядер сцинтилляционных мишеней (поиск темной материи)

$ZnWO_4$ для поиска 2β -распада и ТМ



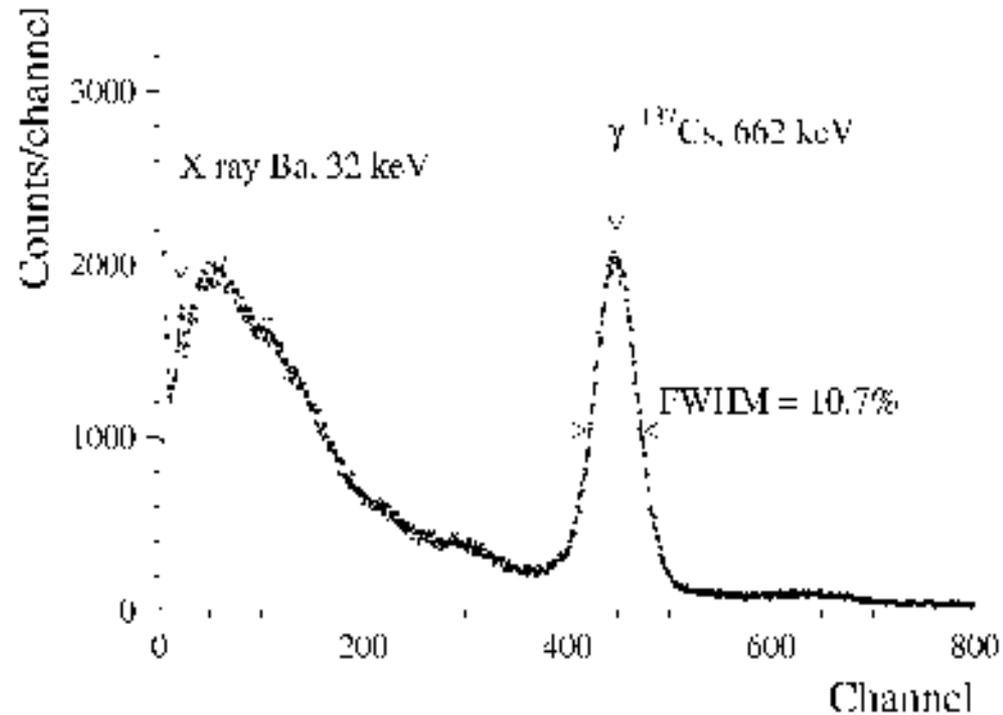
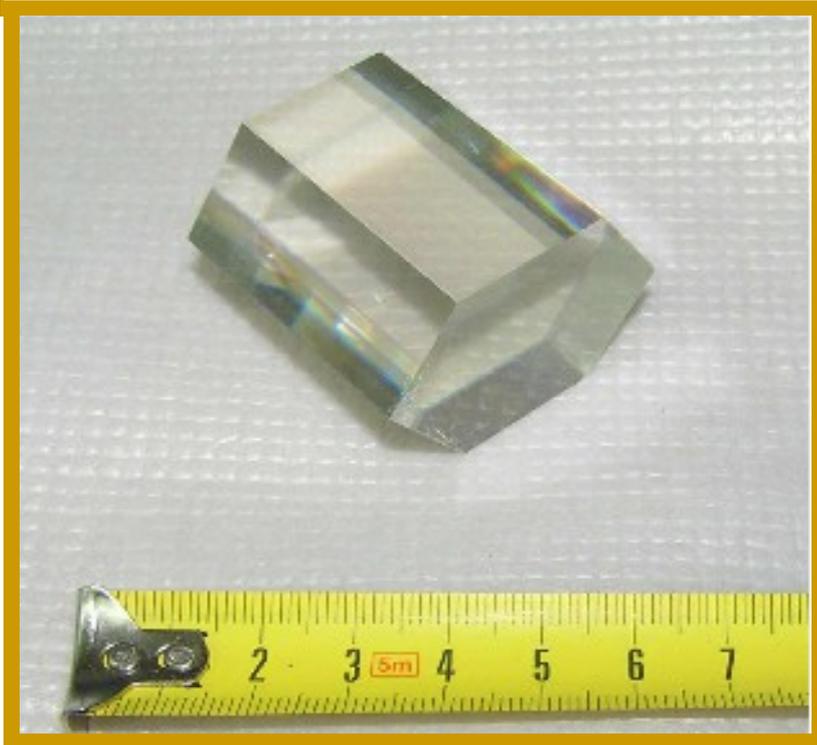
Крупногабаритные кристаллы $\varnothing 50 \times 130$ мм

$ZnWO_4$ 2β $^{64,70}Zn$, ^{180}W , ^{186}W ; ТМ

F.A.Danevich et al., *ZnWO₄ crystals as detectors for 2β decay and dark matter experiments*. Nucl. Instrum. Meth. Phys. Res. A 544 (2005) 553.

L.L.Nagornaya et al., "Growth of $ZnWO_4$ crystal scintillators for high sensitivity 2β experiments" IEEE Trans. Nucl. Sci. 55 (2008) 1469

The energy resolution of ZnWO_4 scintillation elements

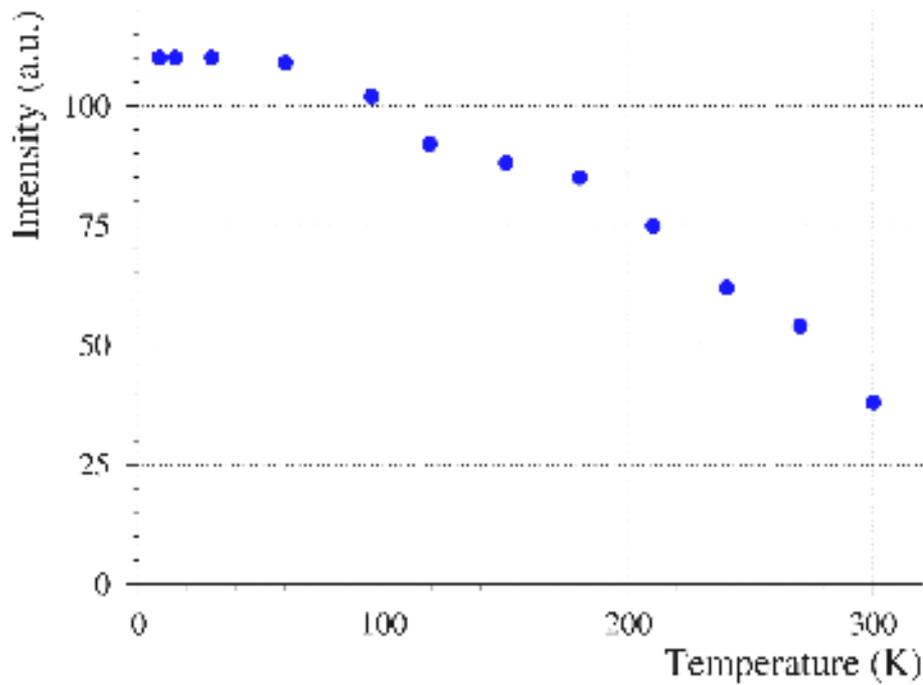


The energy resolution of ZnWO_4 scintillation elements was 8.5 % with 1 cm³ sample and 10.7 % with a hexagonal scintillation element 40 × 40 mm for 662 keV γ line of ^{137}Cs

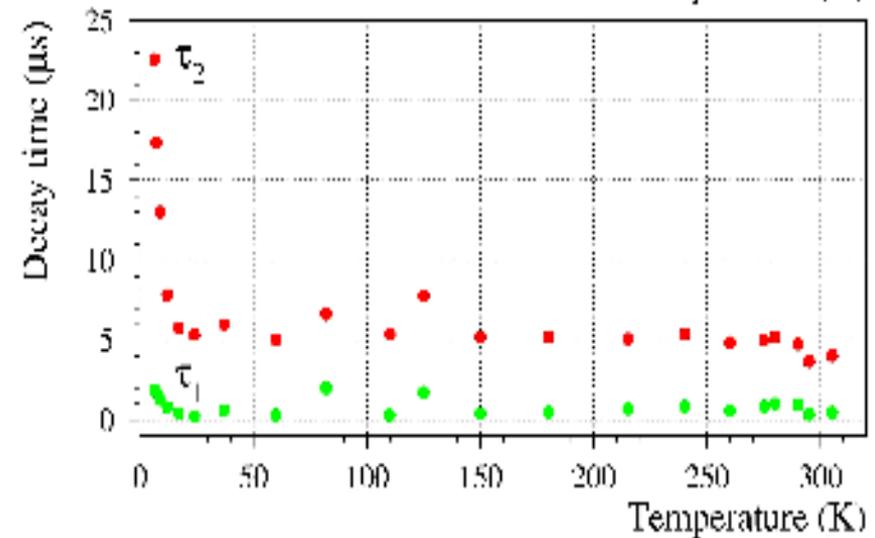
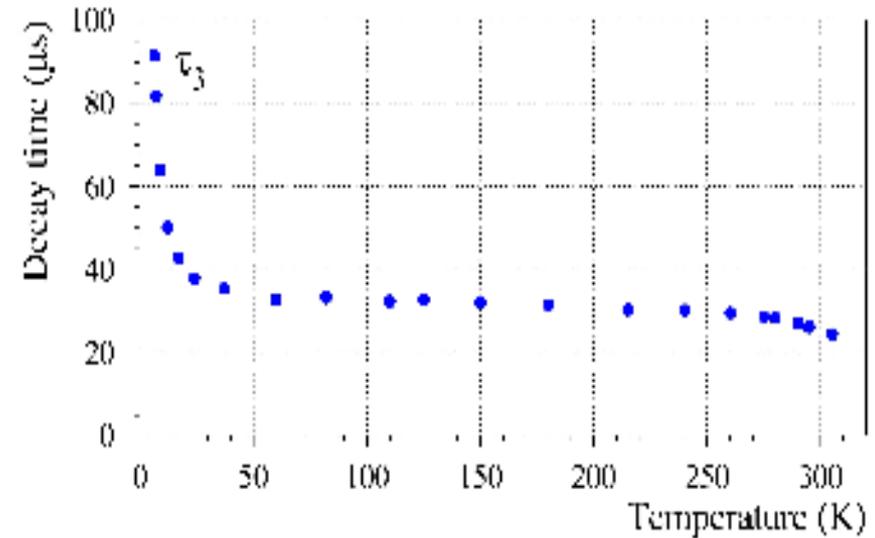
L.Nagornaya et al, "Large volume ZnWO_4 crystal scintillators with excellent energy resolution and low background" IEEE Trans. Nucl. Sci. 56 (2009) 994

H. Kraus et al., ZnWO_4 scintillators for cryogenic dark matter experiments, NIMA 600 (2009) 594.

ZnWO₄ temperature dependence of light output and decay time

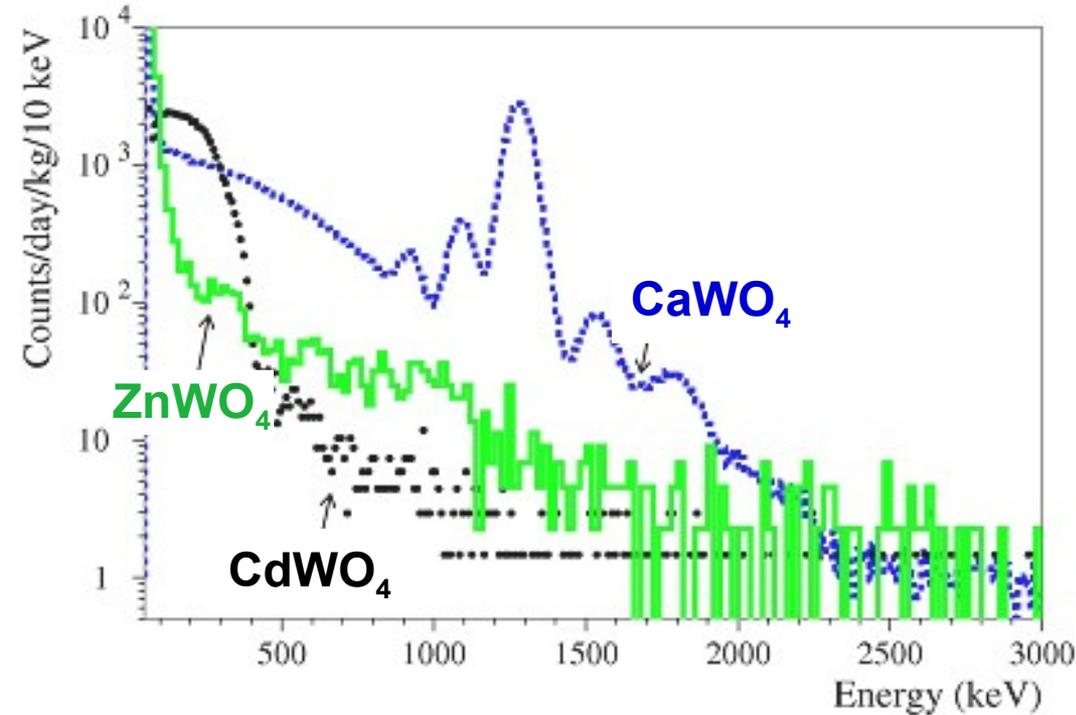


The light output of ZnWO₄ demonstrates about three-fold increases and decay time becomes about three times longer with decrease of temperature from 300 K to 7 K.



The relative light output of ZnWO₄ at 10 K is 110-115 % that of CaWO₄

ZnWO₄ - an excellent radiopure



	ZnWO ₄ ⁽¹⁾	CaWO ₄ ⁽²⁾
²³² Th	0.0015	0.7
²³⁵ U	≤ 0.003	1.6
²³⁸ U	0.002	300
Total α	0.2	400
⁴⁰ K	≤ 0.4	
⁶⁵ Zn	0.5	
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	≤ 0.4	

1) P. Belli et al., Nuclear Physics A826 (2009) 256

2) NIMA 538 (2004) 657; APP 23 (2005) 249

The measurements were carried out at Solotvina Underground Laboratory (Ukraine) and Gran Sasso National Laboratories (Italy).

ZnWO₄ is one of the best candidate as a detector for cryogenic 2β decay and Dark Matter experiments !

L. L. Nagornaya et al, IEEE Trans. Nucl. Sci. 55 (2008) 1469

H. Kraus et al., NIMA 600 (2009) 594.

P. Belli et al., Radioactive contamination of ZnWO₄ crystal scintillators, accepted to NIMA

Double beta processes in $^{64,70}\text{Zn}$ and $^{180,186}\text{W}$ have been searched for with the help of large volume (up to 0.7kg) ZnWO_4 crystal scintillators at the Gran Sasso National Laboratories (INFN, Italy). Total time of measurements exceeds 11 thousands hours. New improved half-life limits in ^{64}Zn have been set on the level of $\sim 10^{20}$ yr. The different modes of 2β processes in ^{70}Zn , ^{180}W , and ^{186}W have been restricted at the level of 10^{17} - 10^{20} yr.

P. Belli, et al "Search for 2β decay of Zinc and Tungsten with the help of low-background ZnWO_4 crystal scintillators" Nuclear Physics A826 (2009) 256

PbWO_4 и PbMoO_4

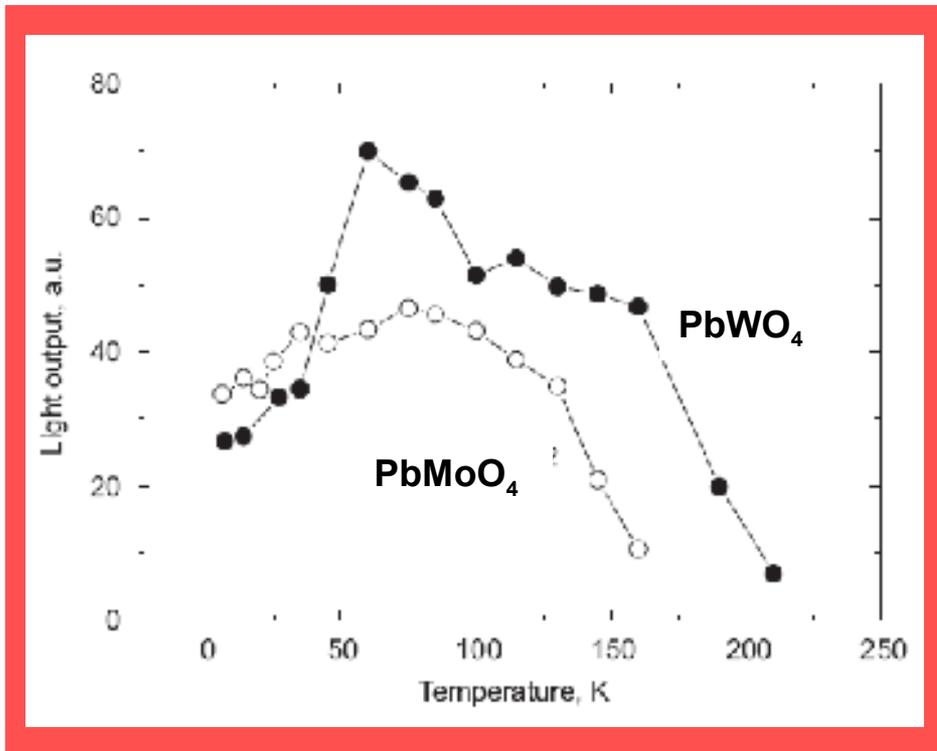


For the first time, PbWO_4 scintillation crystal had been developed by us for studies in the field of high energies. Possible applications of this crystal include studies of double beta-decay, searches for dark matter and its use as anticoincidence shield and active light-guide

L. Nagornaya et al, "Fast scintillators based on large "heavy" tungstate single crystals," in *Proc. "Crystal 2000" Int. Workshop*, Chamonix, France, 1992, pp. 367–374.

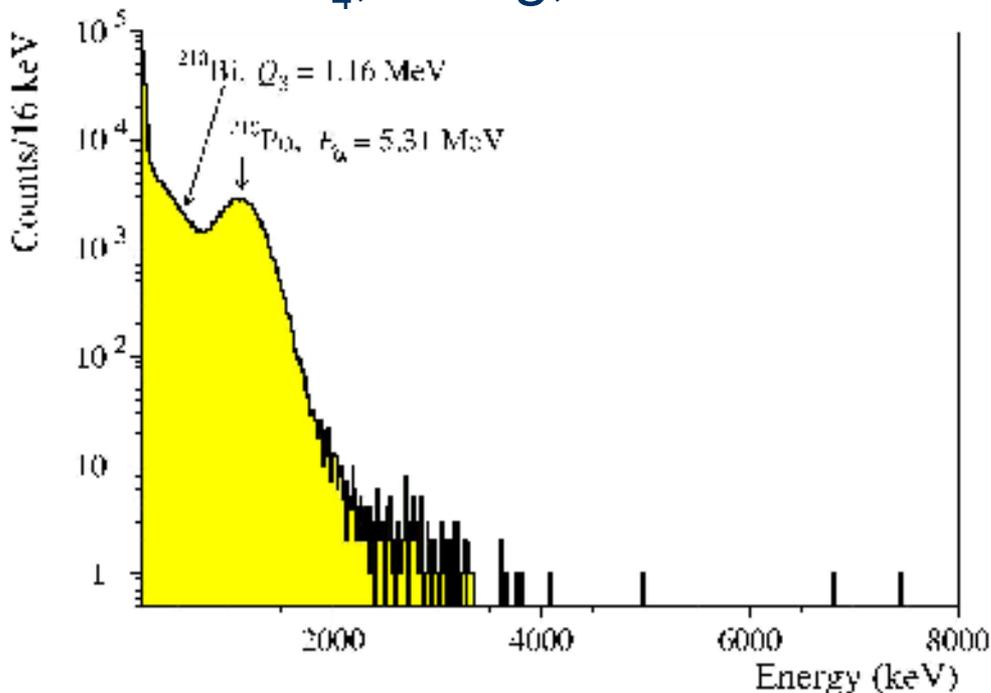
F.A.Danevich et al., "Application of PbWO_4 crystal scintillators in experiment to search for 2β decay of ^{116}Cd ", *NIMA* 556(2006)259.

Температурные зависимости светового выхода и констант затухания PbWO_4 PbMoO_4



PbWO₄ и PbMoO₄

PbWO₄, 182 g, 2.2 h

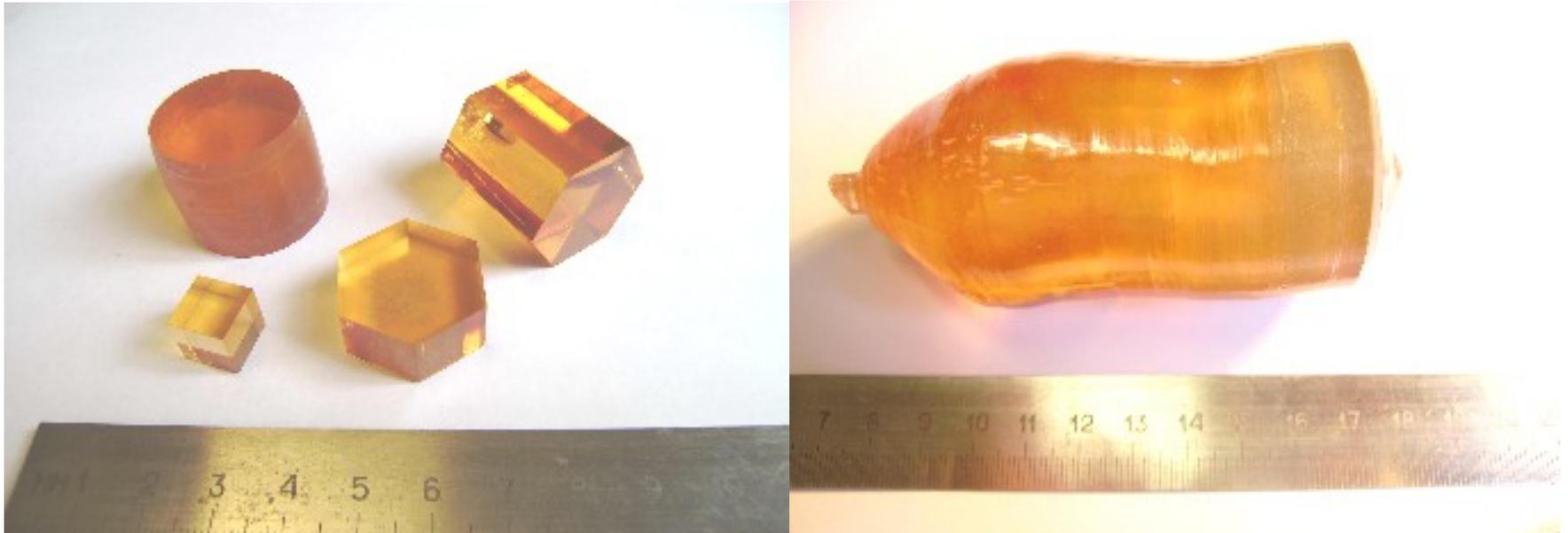


<u>Chain</u>	<u>Nuclide</u>	<u>Activity</u> (mBq/kg)
232Th	228Th	≤13
238U	226Ra	≤10
	210Po	<u>(53-79) × 10³</u>

С целью получения кристаллов PbWO₄ и PbMoO₄ не загрязненных ²¹⁰Pb планируются выращивания из археологического свинца

F.A.Danevich et al., “Application of PbWO₄ crystal scintillators in experiment to search for 2β decay of ¹¹⁶Cd”, NIMA 556(2006)259.

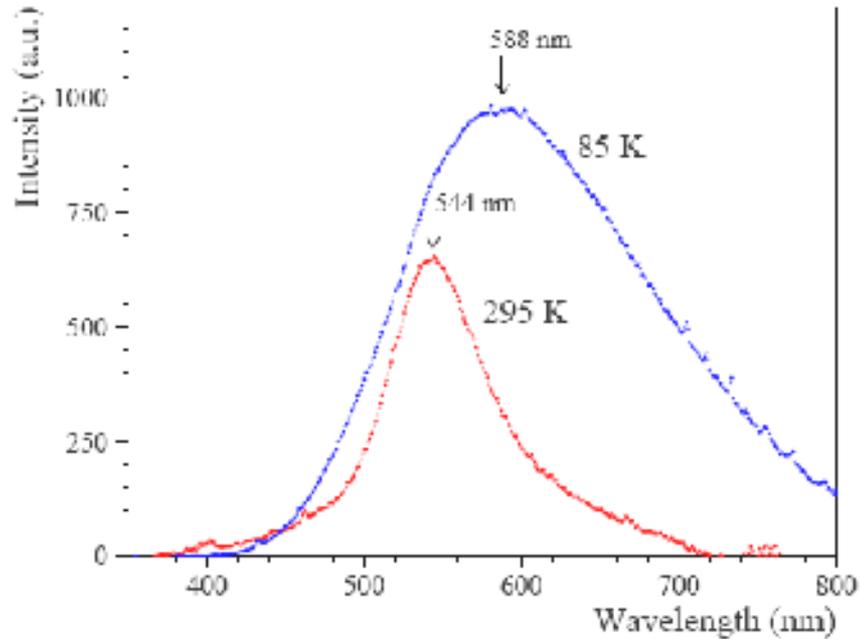
ZnMoO_4 – детектор для поиска 2β распада ^{100}Mo



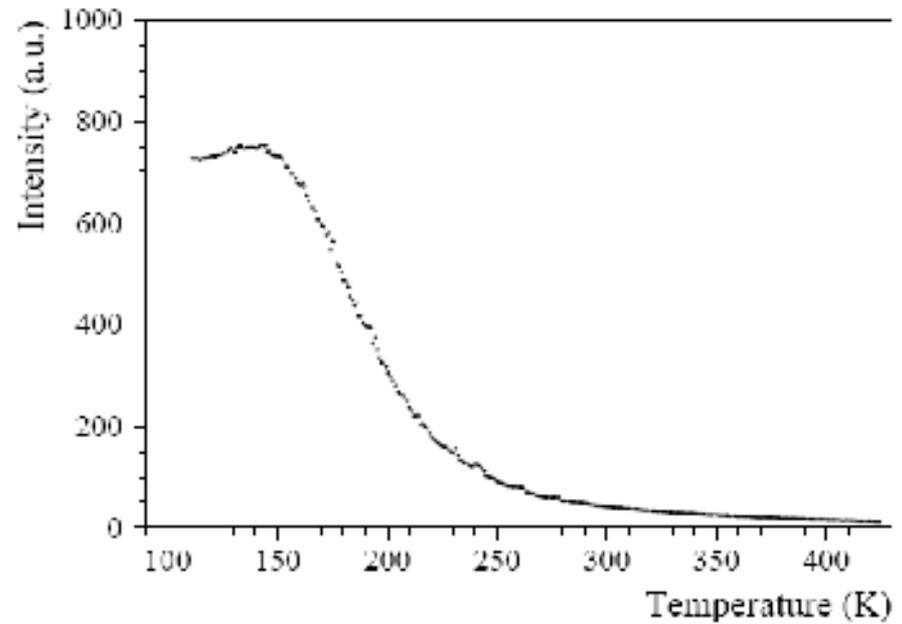
Крупногабаритный кристалл ZnMoO_4 $\varnothing 40 \times 80$ мм

L.L.Nagornaya et al., “Oxide scintillators to search for dark matter and double beta decay” IEEE Trans. Nucl. Sci. (2009)

Люминесценция $ZnMoO_4$



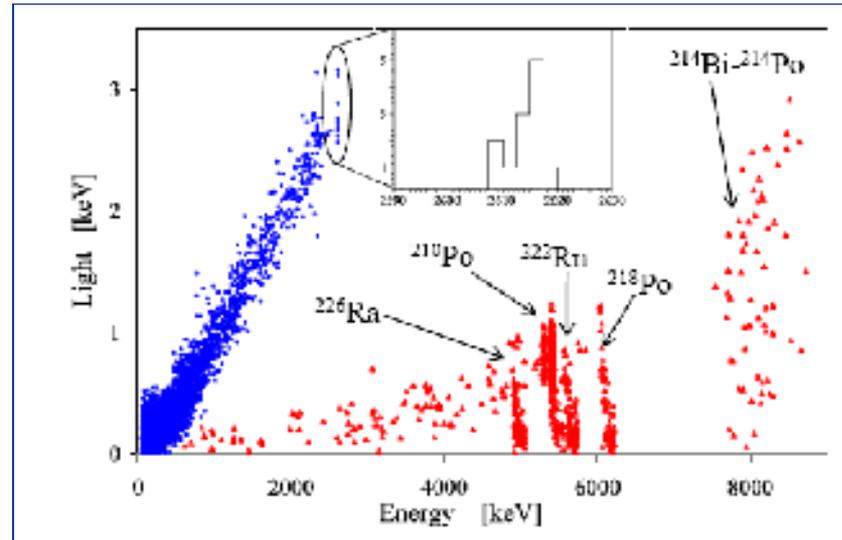
LY $ZnMoO_4$ ~6% $CdWO_4$



The measurements of ZnMoO_4 at milli-Kelvin temperature



ZnMoO_4 crystal mounted on copper cryostat.



Scatter plot of the light signal versus heat signal for background exposition with ZnMoO_4 crystal.

Contamination by ^{210}Po is 28 mBq/kg, activity of ^{226}Ra was determined as 8.1 mBq/kg by analysis of α events in the data.

Эффективное разделение события от γ -квантов (β -частиц) от α -частиц

MgWO_4 – кристалл для поиска ТМ



Сложности получения –
полиморфизм

Фазовый переход ниже
температуры плавления

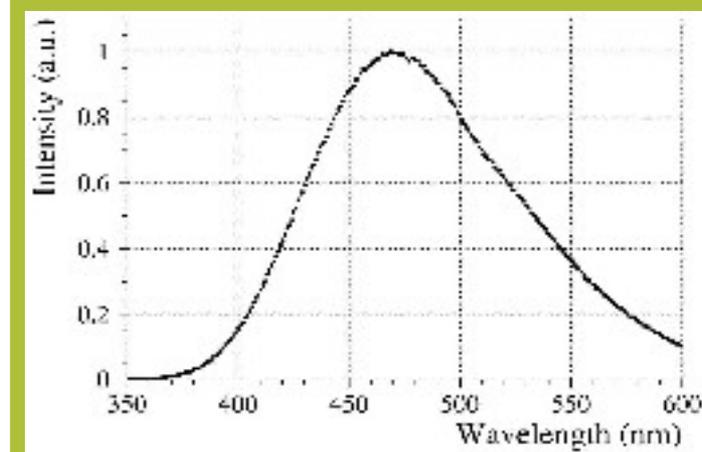
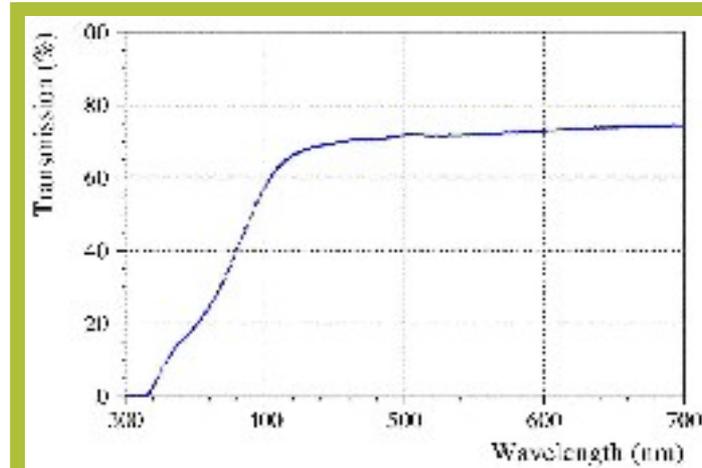
Моноклинная
(люминесцентная)



Триклинная

Спектры пропускания и рентгенолюминесценции MgWO_4

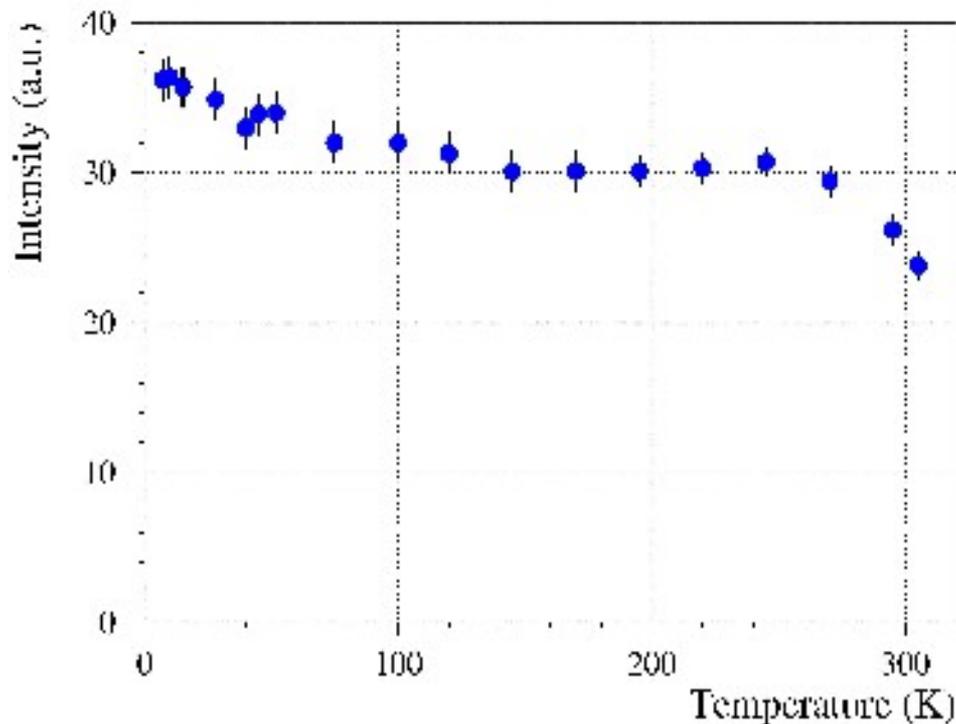
Энергетические спектры ^{137}Cs (662 кэВ),
измеренные сцинтилляционными
кристаллами MgWO_4 и CdWO_4



Фотоэлектронный выход составил
35% относительно CdWO_4 и 27%
относительно NaI(Tl) .

F.A.Danevich et al., “ MgWO_4 crystal scintillators for cryogenic dark matter experiments”, NIMA 608 (2009) 107.

Температурная зависимость светового выхода и времени высвечивания MgWO_4



Сцинтилляционная эффективность составила 33% относительно ZnWO_4 при $T = 7 \text{ K}$

- Сцинтилляторы на основе оксидных кристаллов – перспективные материалы для поиска ТМ и 2β распада
- Криогенные сцинтилляционно–фононные детекторы–детекторы нового поколения с высокой разрешающей способностью и достоверной идентификацией событий
- Сцинтилляционные кристаллы $ZnWO_4$, $PbWO_4$, $PbMoO_4$, $ZnMoO_4$, $MgWO_4$ – перспективные материалы для новых экспериментов по поиску редких событий

Спасибо за внимание!