

Низкофоновые сцинтилляционные кристаллы PbWO_4 для поиска двойного бета распада и темной материи

Вострецов Ю.Я.^a, Гринев Б.В.^a, Даневич Ф.А.^b, Дегода В.Я.^c,
Мокина В.М.^b, Рудь А.В.^a, Тупицына И.А.^a, Якубовская А.Г.^a

^a **Институт сцинтилляционных материалов НАН Украины**

^b **Институт ядерных исследований НАН Украины**

^c **Киевский национальный университет им. Т.Шевченко**

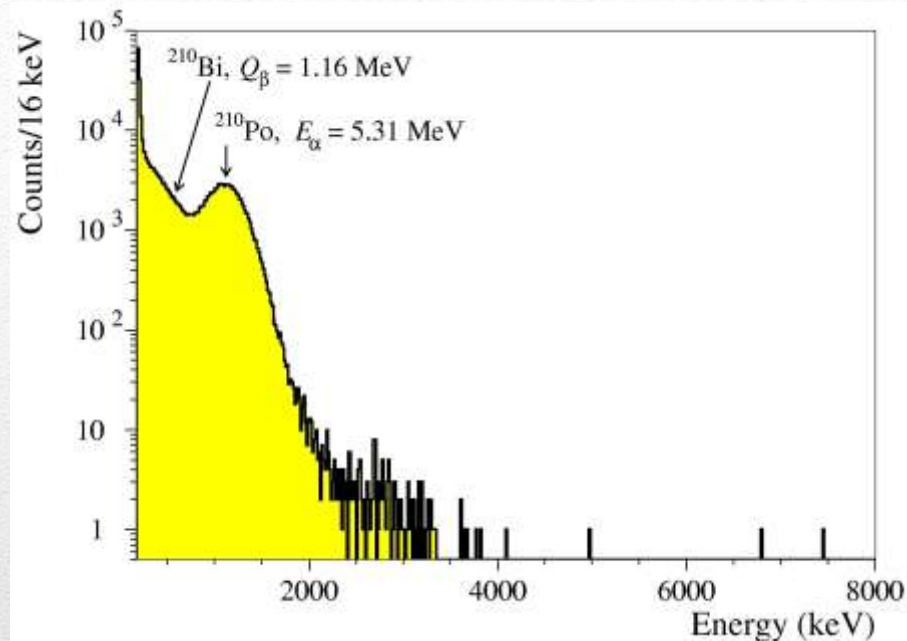


Поиски темной материи:

Важной задачей является разработка низкофоновых сцинтилляторов с высоким световыходом при низких температурах

Для поиска 2β -распада

с помощью сцинтиллятора $^{106}\text{CdWO}_4$ можно использовать радиоактивно чистый световод с высокой плотностью (для защиты от радиоактивности ФЭУ)



Chain Nuclide

Activity (mBq/kg)

^{232}Th ^{228}Th ≤ 13

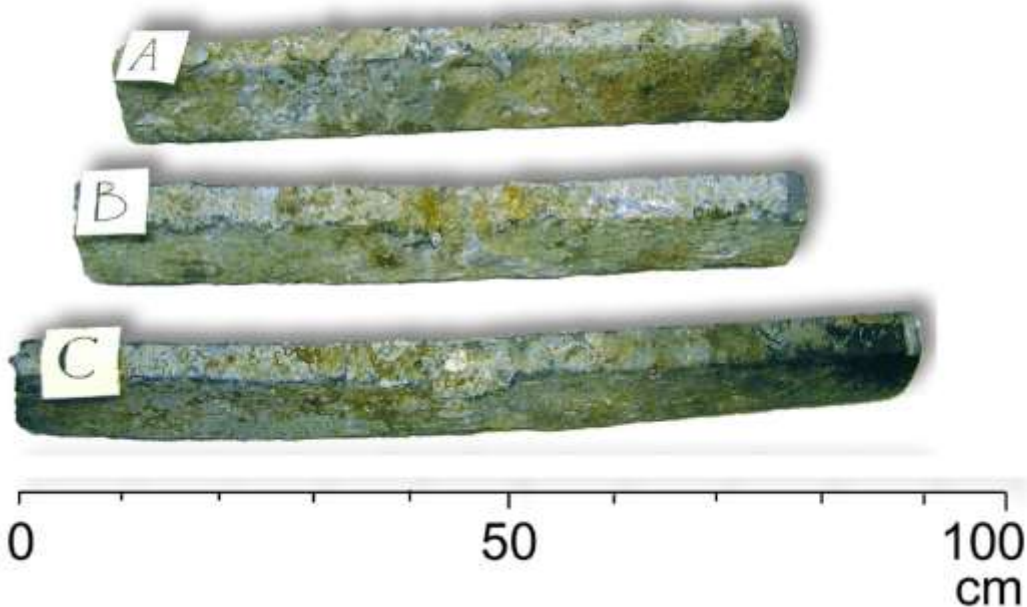
^{238}U ^{226}Ra ≤ 10

^{210}Po $(53-79) \times 10^3$

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.

Получение низкофоновых сцинтилляторов PbWO_4 . Исследование их оптических и сцинтилляционных характеристик

Samples of ancient lead found
in Ukraine



Радиоактивность, мБк/кг

	^{40}K	<7
	^{60}Co	<0.2
	^{137}Cs	<0.5
^{232}Th	^{228}Ra	<0.4
	^{228}Th	<1.2
^{238}U	$^{234\text{m}}\text{Pa}$	<21
	^{226}Ra	<1
	^{210}Pb	<30
	$^{210}\text{Po} (\alpha)$	<0.3

F.A.Danevich et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 603 (2009) 328–332

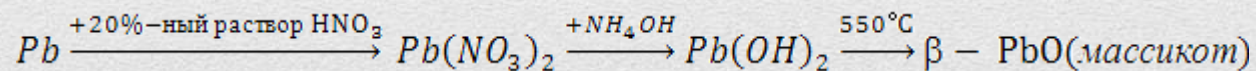
Примесный состав PbO и WO₃

Методы очистки свинца:

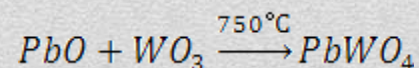
Элемент	ppm масс	
	PbO	WO ₃
Mg	-	0.1
Al	-	2
Si	0.15	20
K	-	2
Ca	-	0.6
Ti	-	<0.05
V	-	<0.02
Cr	-	0.3
Mn	-	<0.02
Fe	0.2	0.1
Co	0.002	<0.02
Ni	0.04	<0.03
Cu	0.03	0.1
Zn	4	<0.05
Ag	0.02	<0.2
Cd	-	<0.4
Sn	0.02	<0.2
Sb	0.005	<0.2
Th (ppb)	-	<0.2
U (ppb)	<1	<0.2

Археологический свинец был очищен методом вакуумной дистилляции в Харьковском физико-техническом институте и окислен в условиях чистой комнаты в Национальной лаборатории Гран Сассо [1]

Схема получения β-PbO (массикот) из очищенного металлического Pb:

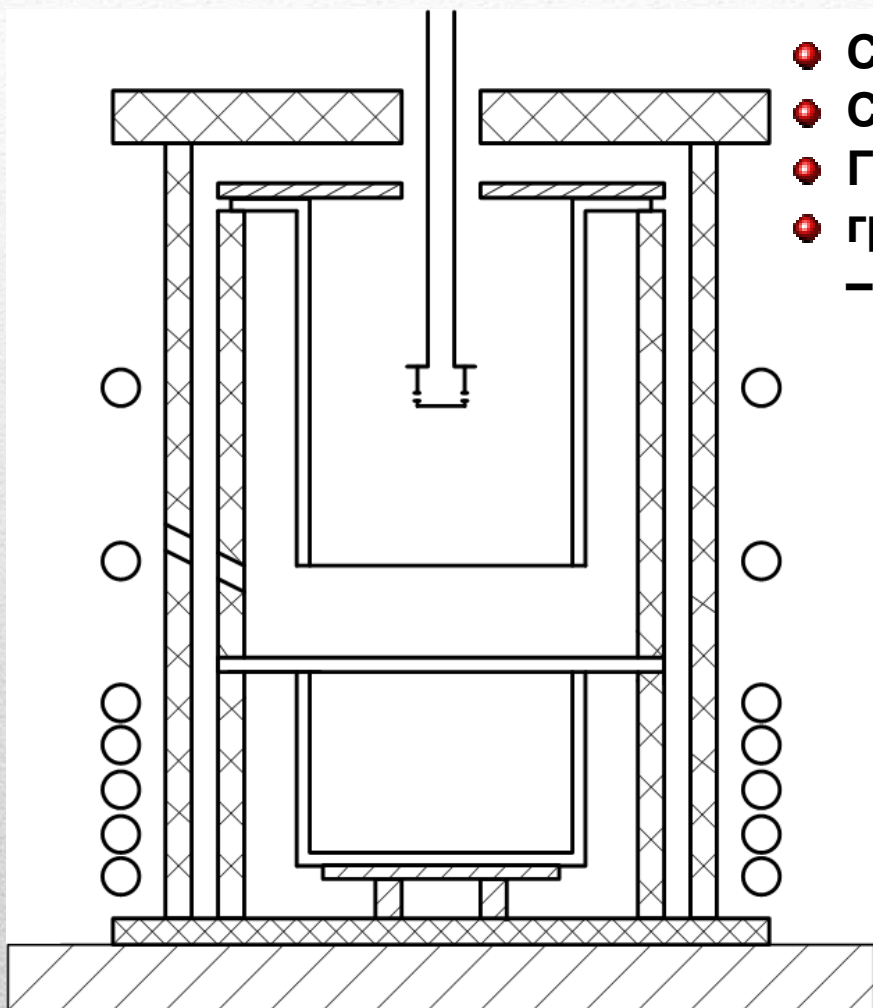


Твердофазный синтез PbWO₄



[1] Р. С. Бойко, В. Д. Вирич, Ф. А. Даневич и др. ГЛУБОКАЯ ОЧИСТКА АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО СВИНЦА НЕОРГАНИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, 2011, том 47, № 6, с. 722–726

Ростовой узел



Режимы роста

- Скорость вытягивания – 1-2 мм/час
- Скорость вращения – 15-20 об/мин
- Градиент в зоне кристаллизации- 70 °С/см
- градиент в верхней части ростового узла – 10 °С/см





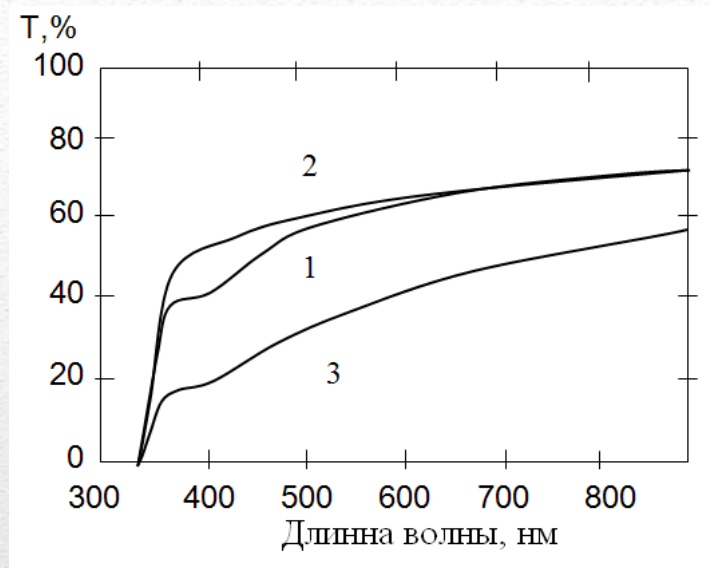
a)



b)

Световод из кристалла PbWO_4 :

а) после механической обработки; б) после отжига



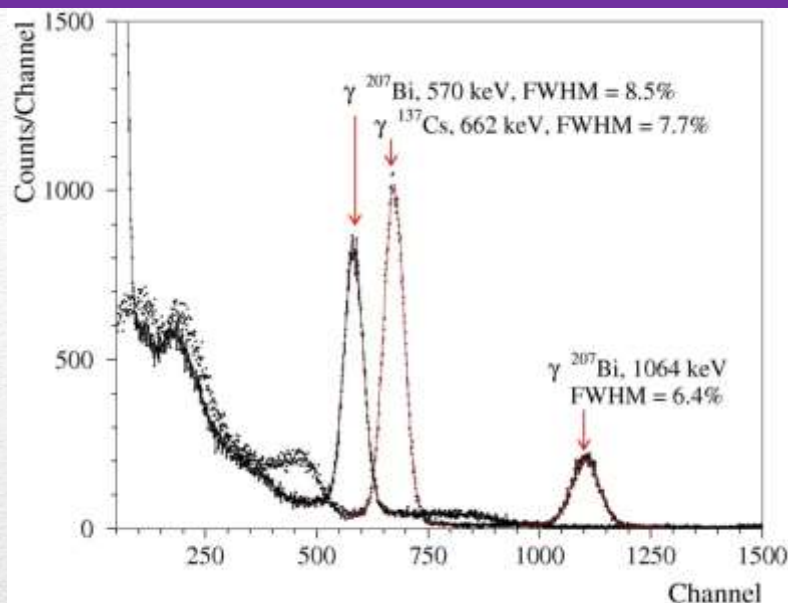
Спектр пропускания образца кристалла PbWO_4 ($d=1$ см):

1 – до отжига;

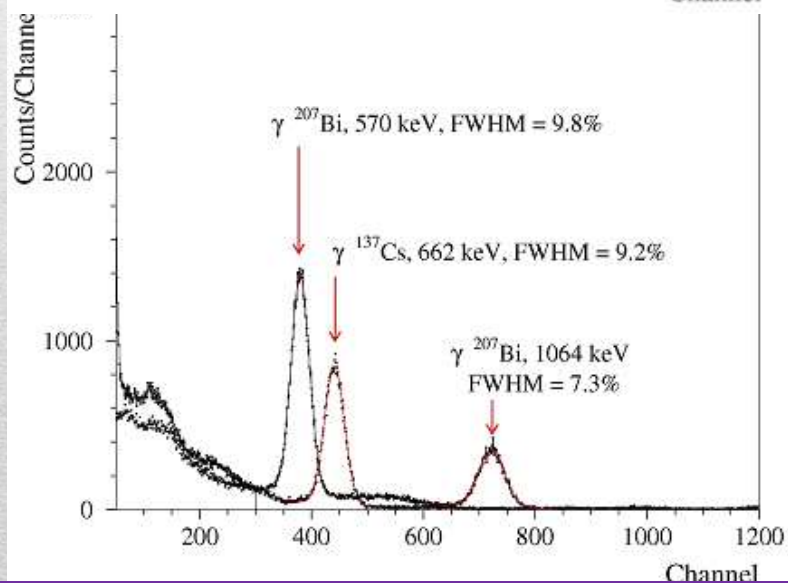
2 – после отжига при 750°C в течение 24 часов;

3 – после облучения УФ

a)



b)



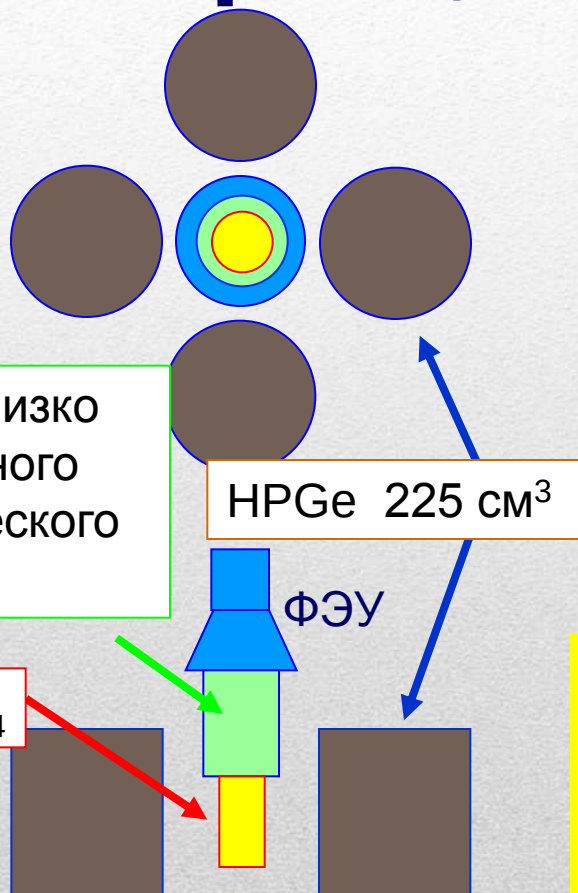
Энергетические спектры γ -квантов ^{137}Cs и ^{207}Bi измеренные со сцинтилляционным кристаллом CdWO_4 размерами $\varnothing 20 \times 20$ мм:

а - установленным непосредственно на ФЭУ,

б - установленным на световод из кристалла PbWO_4 из археологического свинца

Относительная амплитуда импульсов детектора со световодом составила 65% относительно кристалла, установленного непосредственно на ФЭУ .

Световод из PbWO_4 для поиска 2β -распада ^{106}Cd со сцинтиллятором $^{106}\text{CdWO}_4$



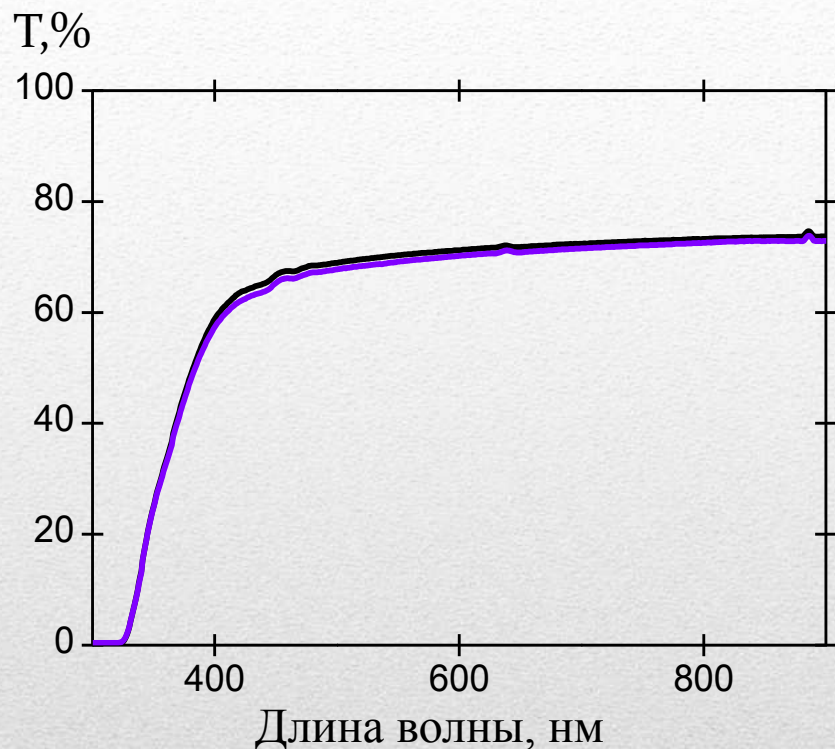
$^{106}\text{CdWO}_4$ в совпадениях (антисовпадениях) с 4-х кристалльным HPGe детектором GeMulti

Установка была собрана в начале ноября 2012 в подземной лаборатории Гран Сассо (Италия), идет набор данных

Чувствительность к $2\nu \epsilon\beta^+$ и $2\beta^+$
 ^{106}Cd : $T_{1/2} \sim 10^{20} - 10^{21}$ лет

Теория: $2\nu 2K$ $10^{20} - 5 \times 10^{21}$ лет
 $2\nu \epsilon\beta^+$ $8 \times 10^{20} - 4 \times 10^{22}$ лет

- [1] P. Belli et al., NIMA 615 (2010) 301
[2] P. Belli et al., PRC 85 (2012) 044610

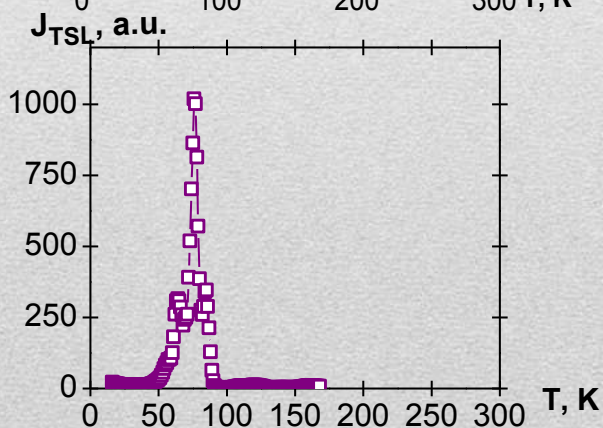
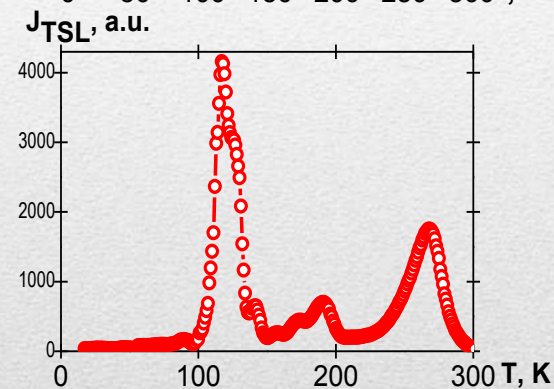
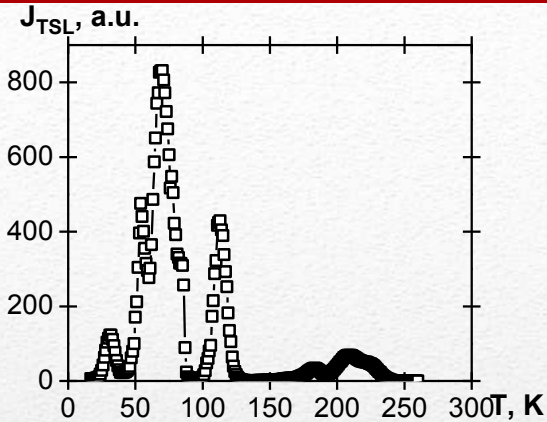
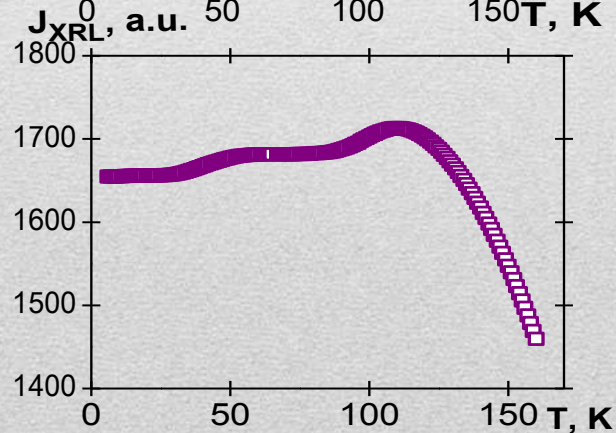
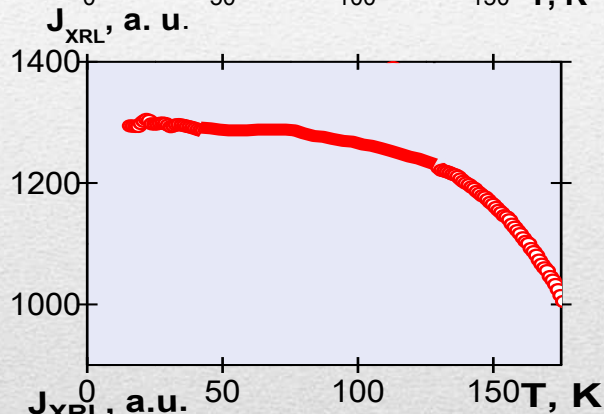
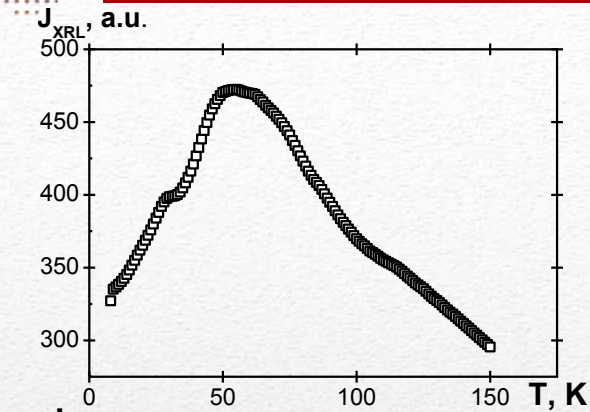


Спектр пропускания образца кристалла PbWO_4 ($d=1$ см) из шихты с избытком PbO 0,05%:

1 – до облучения УФ (—);
2 – после облучения УФ (—)



Образцы кристалла PbWO_4 из шихты с избытком PbO 0,05 мас. %.



$PbWO_4$ из обычного сырья

$PbWO_4$ из археологического сырья

$PbWO_4$ из археологического сырья с избытком PbO 0,05 мас. %

- Разработан способ выращивания низкофоновых оптически качественных кристаллов PbWO_4 . Получены кристаллы размерами $\varnothing 40 \times 83$ мм и $\varnothing 30 \times 30$ мм
- Кристаллы PbWO_4 , выращенные из сырья высокой чистоты стехиометрического состава, обладают фотохромным эффектом. В кристаллах, выращенных из шихты с избытком PbO 0,05 мас.%, фотохромный эффект практически не проявляется.
- Кристалл PbWO_4 $\varnothing 40 \times 83$ мм используется в качестве световода в эксперименте по поиску 2β -распада со сцинтиллятором $^{106}\text{CdWO}_4$
- Планируются измерения образца $\varnothing 30 \times 30$ мм в качестве криогенного сцинтилляционного болометра для оценки радиоактивной загрязненности и световых выхода при $T \sim 20$ мК

Спасибо за внимание!