

EDELWEISS-LT

Прямой поиск легких WIMP с HPGe полупроводниковыми боллометрами

-  CNRS/IN2P3
-  CNRS/IN2P3
-  CNRS/INP
-  CNRS
-  CEA/IRFU
-  CEA/IRAMIS
-  IKP
EKP
IPE
Karlsruher Institut für Technologie
-  JINR DUBNA
-  Univ. OXFORD
-  Univ. SHEFFIELD

Основные данные об эксперименте

1. **HPGe детекторы-болометры**
2. **Традиционные методы подавления фона:**

Подземная лаборатория LSM

Многослойная защита + активное вето

Отбор материалов

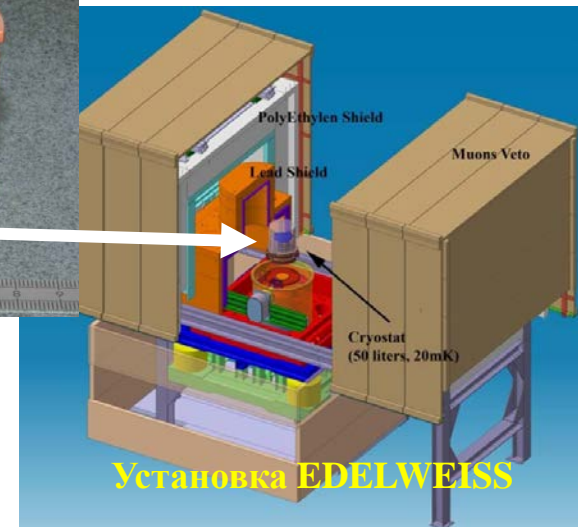
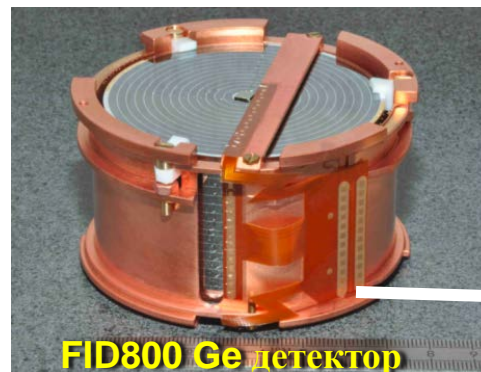
Непрерывный контроль уровня радона

Непрерывный мониторинг нейтронного потока

3. **Специальные методы подавления фона**

2 канала измерений: фоновый и

ионизационный



Отношение $E_{\text{ionization}}/E_{\text{recoil}}$

=1 для электронов

≈ 0.3 для ядер отдачи

⇒ Возможность отобрать события - кандидаты WIMP

⇒ Подавление γ -фона > 99.999%

Детекторы со специальной схемой электродов, позволяющей проводить активный отбор поверхностного фона (событий с неполным сбором заряда)

Текущая научная программа

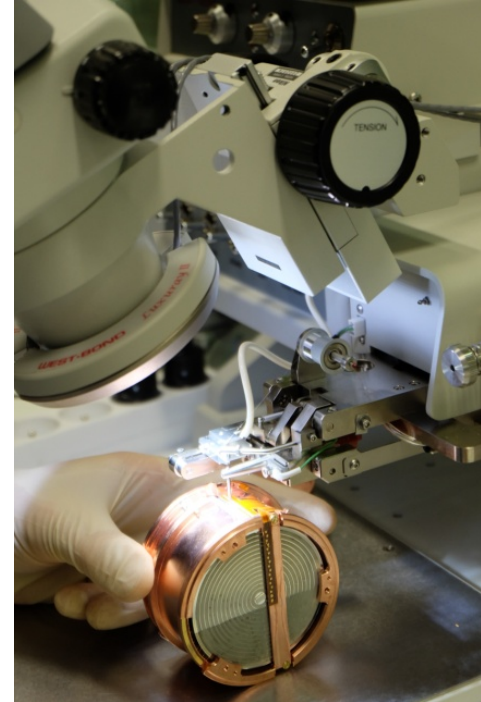
EDELWEISS-III (2012-2018):
24 FID800 Ge детекторов

Улучшенное подавление фонов.

Разрешение ионизационных и фоновых каналов улучшены на >30%.

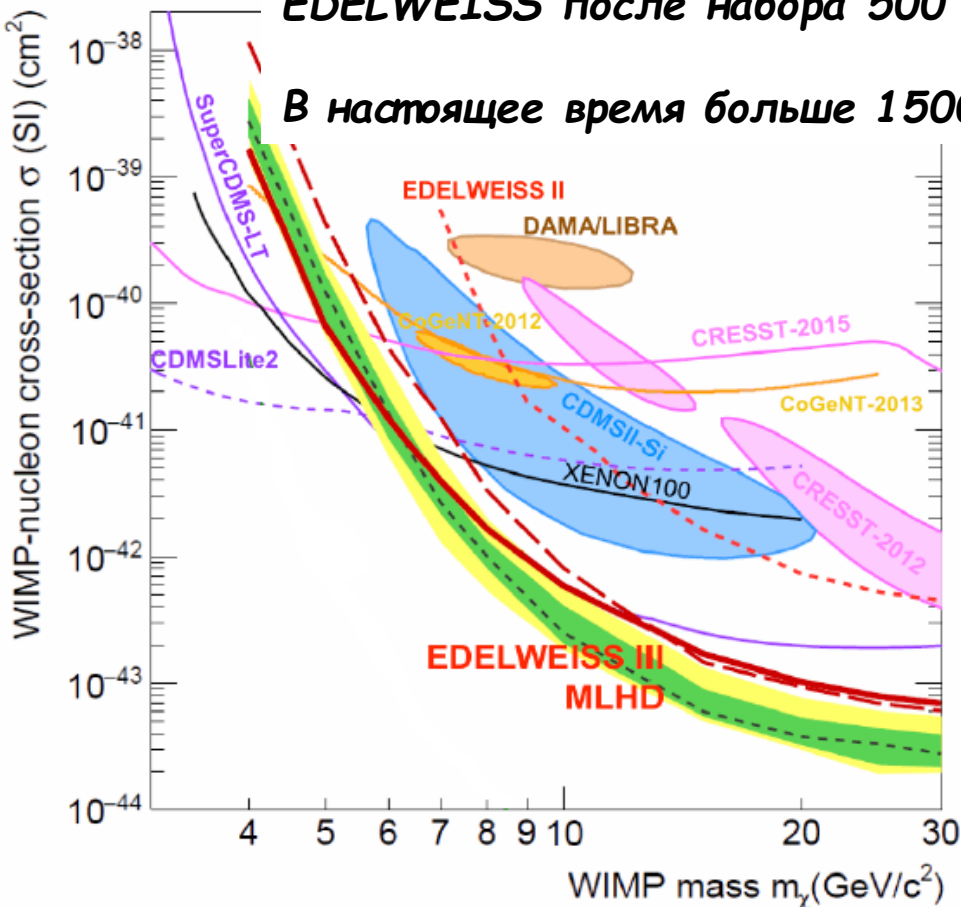
Смещение интереса в область легких WIMP

EDELWEISS, текущая фаза эксперимента



Результаты, полученные экспериментом EDELWEISS после набора 500 кг. суток

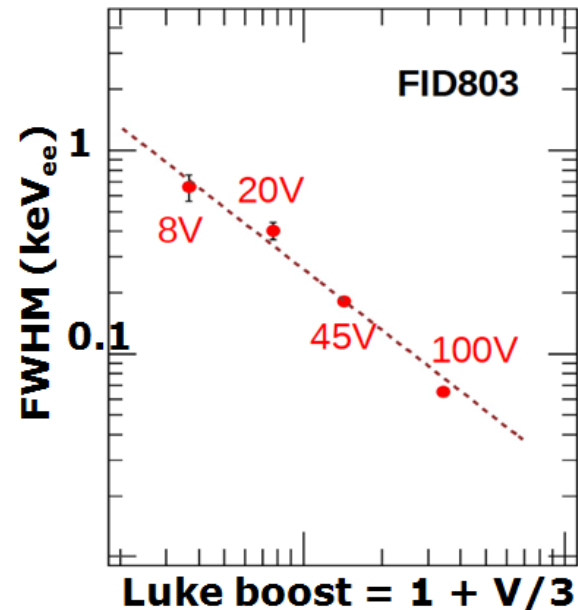
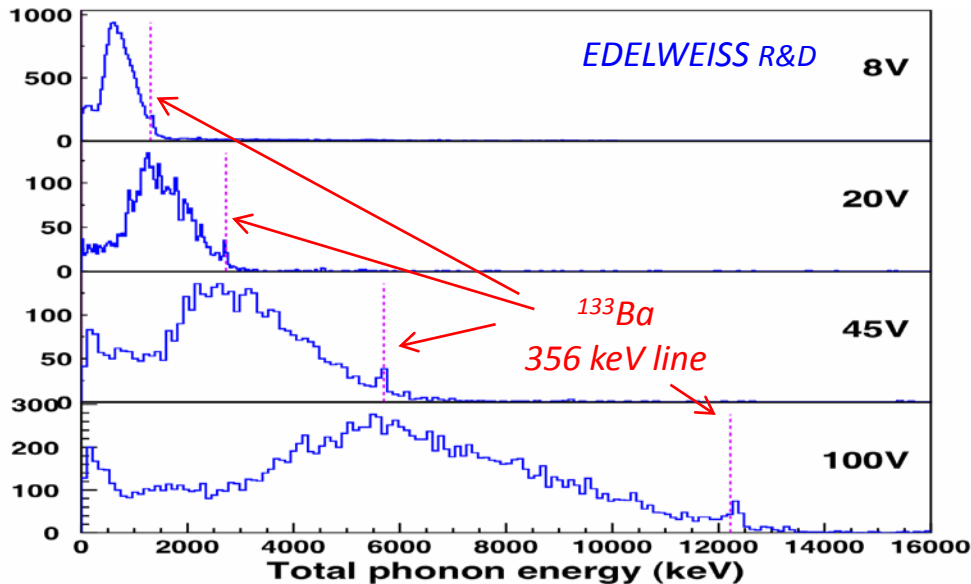
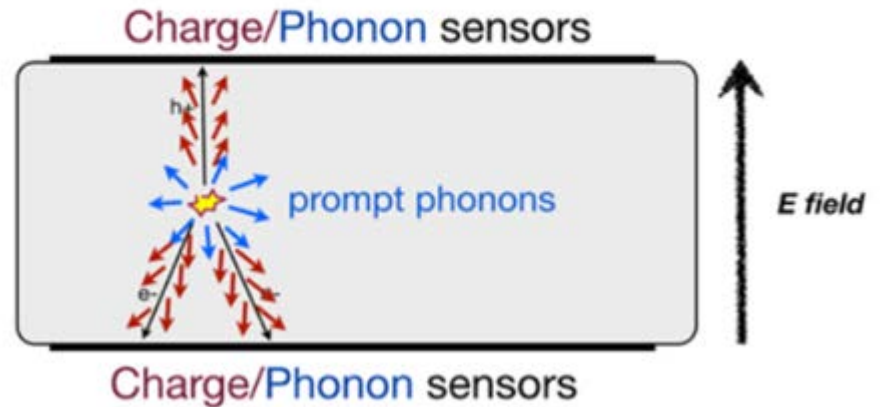
В настоящее время больше 1500 кг. суток



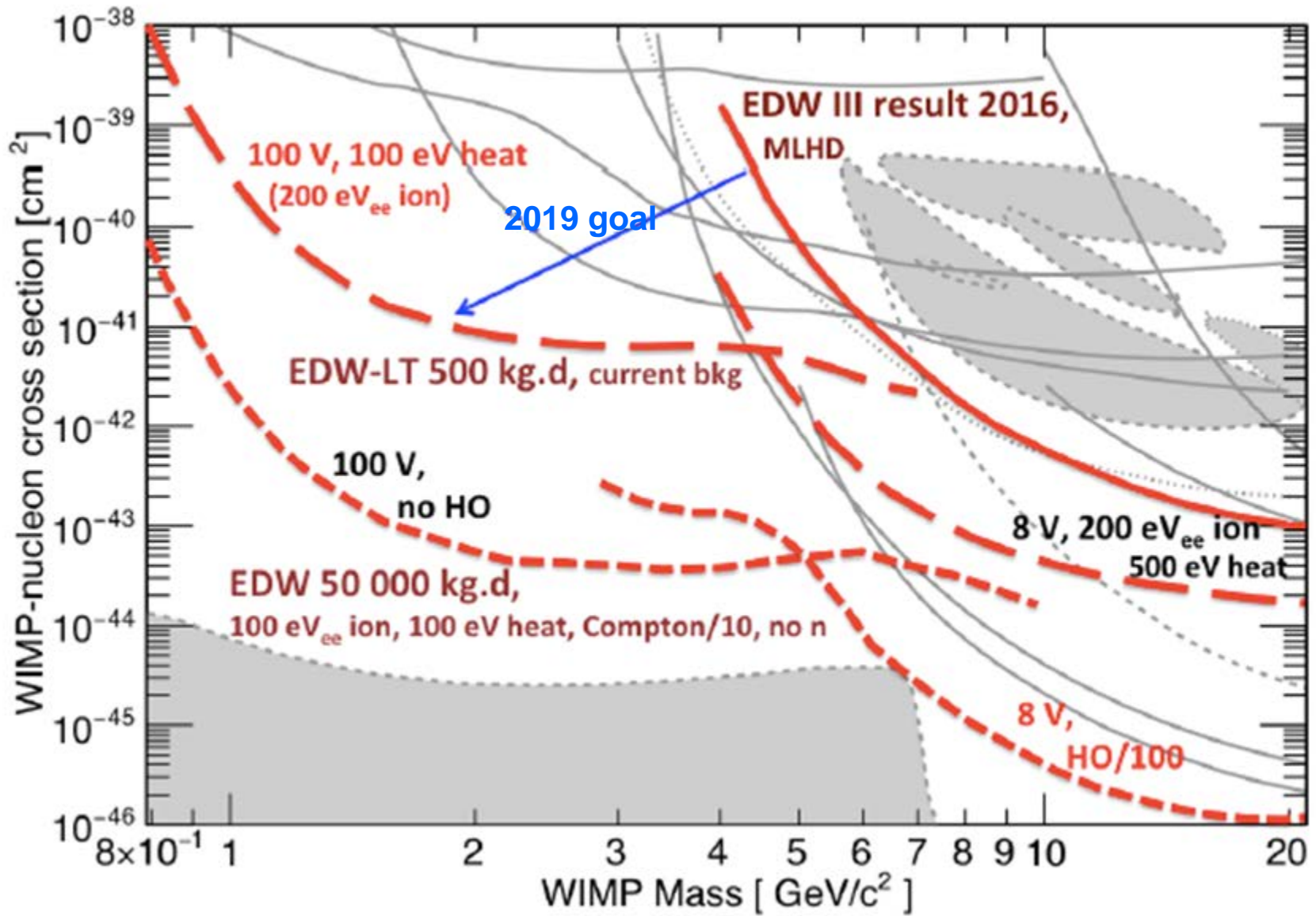
EDELWEISS-LT

Новый метод (усиление фононного сигнала из-за эффекта Неганова-Люка) для исследования области WIMP с массой $< 10 \text{ ГэВ}/c^2$.

$$E_t = E_r + \frac{1}{3 eV} E_Q \Delta V$$



Ожидаемые результаты



План работ

Time	Task
2017-2018	Search for source of heat only events (Building and testing of HPGe crystals with different thermistors, holders, crystal treatments, delivery of the detectors to LSM, measurements)
2018-2019	Delivery (production) of EDELWEISS-LT detectors
2019	Delivery of the upgrades (cryogenics, wiring, electronics, internal shield)
2019	500 kgd EDELWEISS-LT result
2019	Decision about ultimate EDELWEISS-LT detectors design
2019-2020	Accumulation of WIMP data, improving of background, preparation to 50000 kgd phase (production of detector, tests, calibrations).
2020-2021	Upgrade of EDELWEISS shield, cryogenic, start of 50000 kgd phase of EDELWEISS-LT

Обязанности в EDELWEISS

Общие обязанности:

Сборка установки

Запуск

Набор данных

Проведение калибровочных измерений

МС

Анализ данных

Наша ответственность:

Контроль радона

Измерения нейтронов

Измерения радиоактивности материалов

Эксплуатация чистой комнаты

Сертификация радиоактивных материалов

Новые детекторы (детекторы с низким энергетическим порогом)

Мы участвуем:

Измерения нейтронов в совпадениях с мюонным вето

База данных

Наше оборудование в EDELWEISS

Rn детектор 1



Rn детектор 2



Нейтронный детектор 1



Якушев и Розов работают с германиевым детектором в чистой комнате EDELWEISS



Нейтронный детектор 2

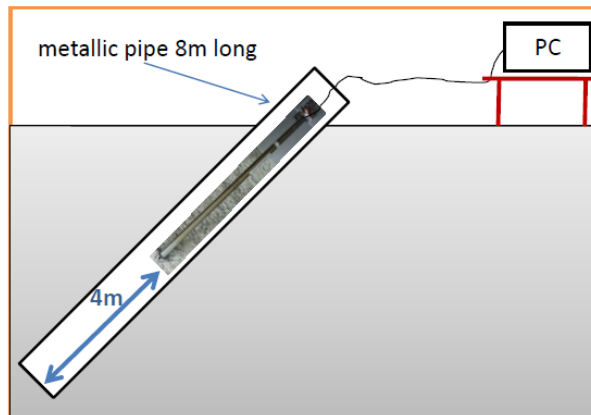
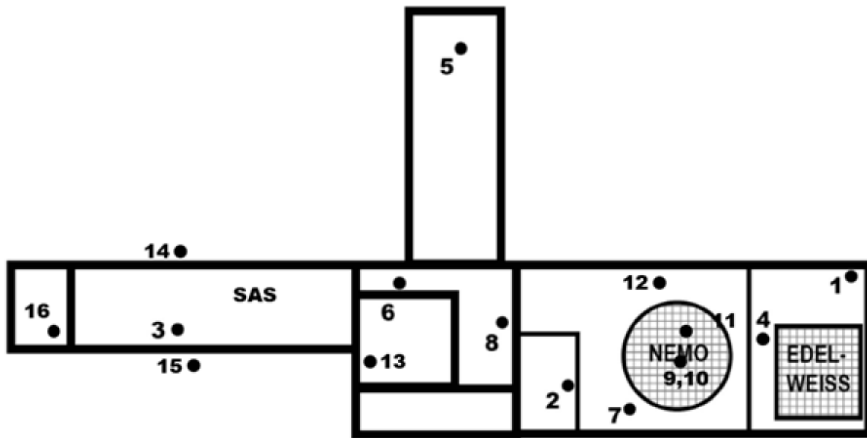




Наше оборудование в EDELWEISS



^3He детектор, поле нейтронов в LSM

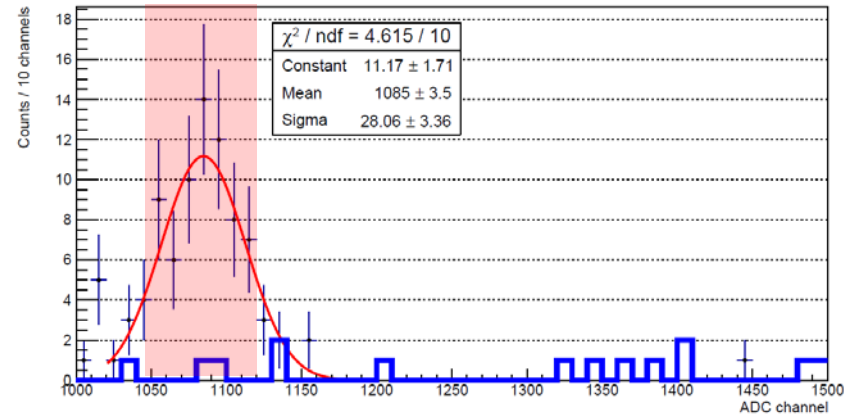
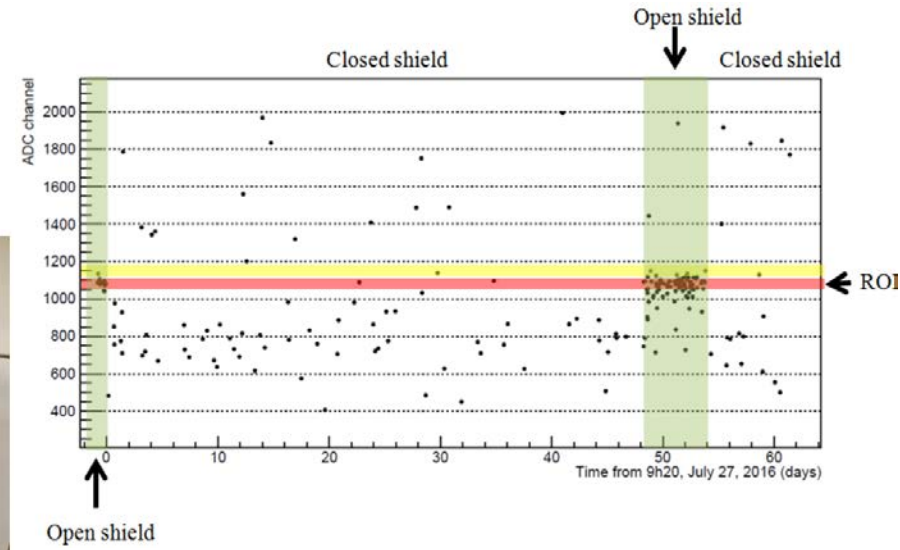


Thermal neutron flux		
Point	Counting rate at ROI, cpd	Thermal neutron flux, 10^{-6} n/cm ² /sec
1	76.8 ± 1.5	3.64 ± 0.07
	78.2 ± 2.3	3.72 ± 0.11
	74.35 ± 0.6	3.54 ± 0.03
2	97.7 ± 9.3	4.7 ± 0.5
	106.1 ± 7.3	5.1 ± 0.4
3	130.7 ± 12.2	6.3 ± 0.6
	140.3 ± 7.4	6.7 ± 0.4
	148.2 ± 12.3	7.1 ± 0.6
4	43.3 ± 4.0	2.1 ± 0.2
	59.7 ± 4.5	2.9 ± 0.2
5	94.7 ± 9.7	4.5 ± 0.5
	112.1 ± 7.5	5.3 ± 0.4
6	43.3 ± 4.0	2.1 ± 0.2
	59.7 ± 4.5	2.9 ± 0.2
7	43.3 ± 4.0	2.1 ± 0.2
	59.7 ± 4.5	2.9 ± 0.2
8	43.3 ± 4.0	2.1 ± 0.2
	59.7 ± 4.5	2.9 ± 0.2
9	93.3 ± 5.1	4.4 ± 0.3
10	86.1 ± 5.4	4.1 ± 0.3
11	76.13 ± 5.0	3.63 ± 0.24
12	207.09 ± 7.1	9.86 ± 0.34
	200.81 ± 1.6	9.56 ± 0.08
13	179.1 ± 1.0	8.53 ± 0.05
14	162.2 ± 9.3	7.72 ± 0.45
15	172.5 ± 4.2	8.22 ± 0.20
16	130.2 ± 7.8	6.20 ± 0.38

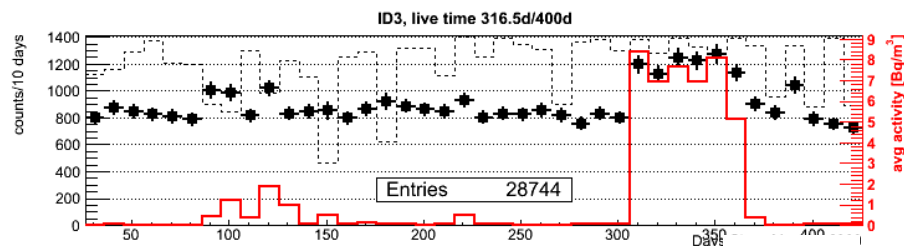
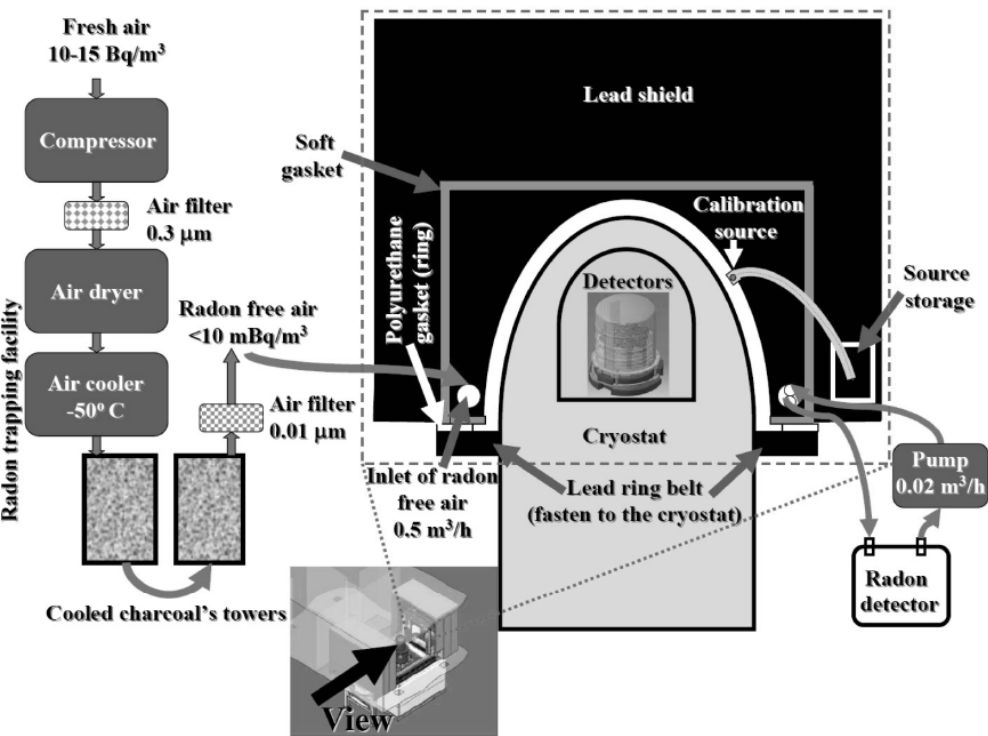
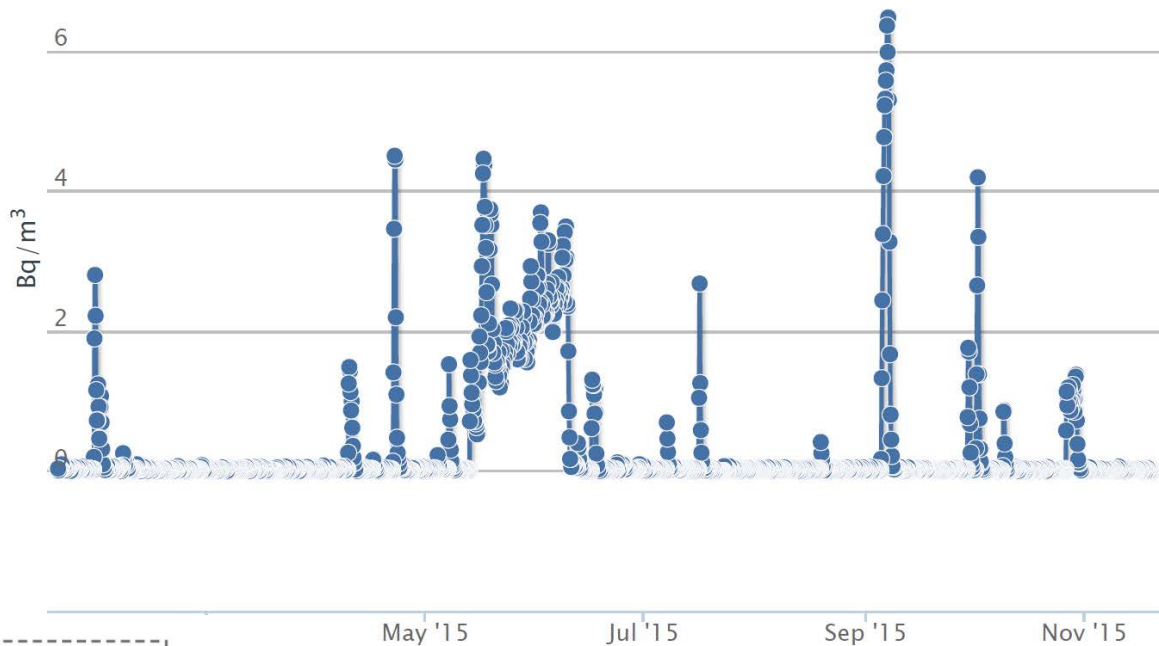
^3He детектор, установленный сверху криостата EDELWEISS



$< 10^{-8}$ нейтрон/см²/сек



Уровень радона вблизи криостата EDELWEISS в течении 2015 года. Периоды высокого уровня соответствуют открытой защите, проблемам с анти-радоновой фабрикой, и др.



Набор данных

localhost7113

Panel_EDWA3

Graph Tools Values Config One flag<0 Record Quit

Sources

Ba_grotte Arg_in 2 : automatique

Ba_nemo Arg_out

Co_France eau_pt

Co_Italie S1 1.09

Bouilleur 15 : 10 mW

Niveau He

He1 3.849

He2 3.857

He3 3.847

He4 3.656

He5 0.011

He6 3.614

He7 3.630

He8 3.596

He9 3.547

He10 3.541

He11 3.477

Températures

T_100K 97.72 K

T_50K 57.37 K

T_B1K 1.40 K

T_Speer 11.20m K

T_Bolo 19.00m K

P_regul 2.95u W

Alimentations BB

Alim1 Seuil_1 12

Seuil_2 12

Alim3 Seuil_3 12

Seuil_4 12

Suspension du cryostat

A1p 3.809 Hc1 5.782

A1m

A2p 3.524 Hc2 5.609

A2m

A3p 3.827 Hc3 5.716

A3m

A4p 3.861 Hc4 5.808

A4m

Pair 5.397 S_bas 5 S_haut 6

Press, Temp, Hum

Temp_SB 19.57

Hum_SB 10.55

Press_SB 29.30m

P_GM1 1.00

P_Arg 987.01

P_eau_comp 1.85

Turcalo

K3, K6 : NON CONNECTES

Vitesse circulateur (Consigne en %)

circu 50

Pression circulateur (bar)

Ccircu 2.0

Pcircu 2.063

Tcircu 26

Vcircu 332

Bolometres

50K

Pt_2

K8

K7

K2

K1

GM1 Power Pt2_GM2_GM3_Power

GM1 GM2_50K GM3_100K Circulateur

Pompage Vide Machines EDWA1

Vc3 C.cir.in Remplis.

Vc4 C.cir.out Recupér.

Vc3 Pompe

Tcd2 40.25 Tcd1 64.70 Tcd3 111.78

90.26 Tcd4

FR

05:39 mardi

Boost.LAN Manager 120000

Page : 159 sur 160 Mots : 66 329 Anglais (États Unis) 104 %

51	IPNL/Dubna	IPNL	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna
52	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna	Dubna	IPNL	IPNL
01	IPNL/Dubna ?							

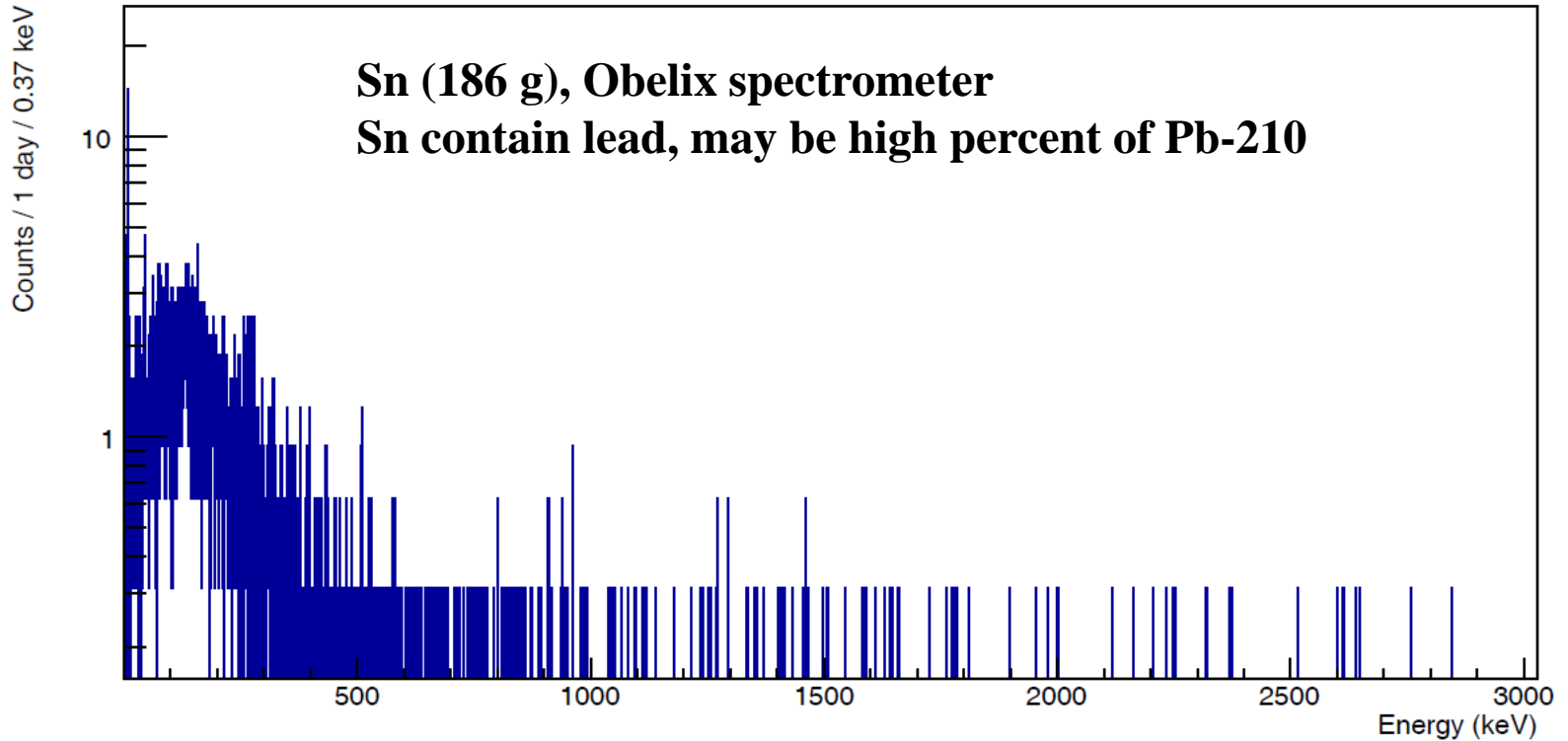
pour en faire attendre d'arriver anche. (tour) puis canne e. Bien changer fermer vanne ¼ asfert fini respiration sinon

or changed

Низкофоновые материалы / Припой

Sn + Pb

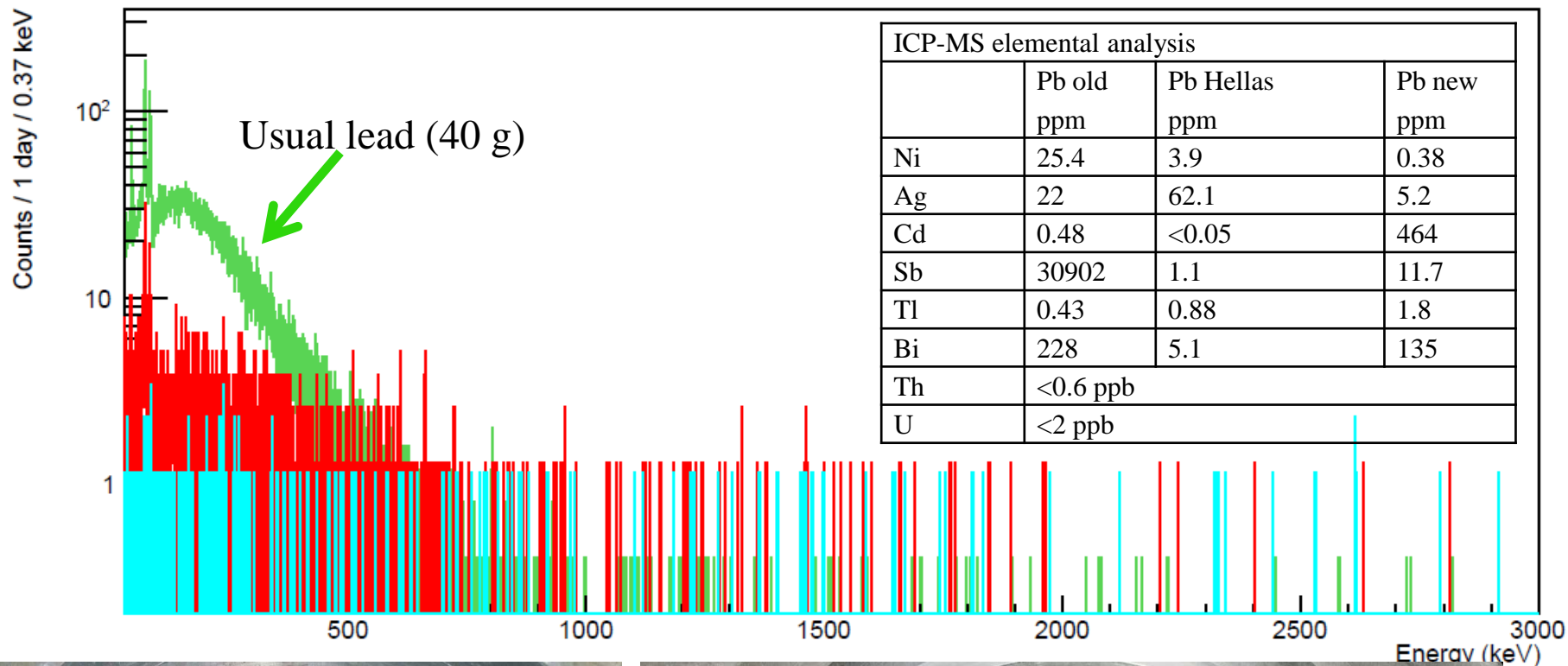
ICP-MS, Sn 99.99%	
Ag	2,5
Cd	2,1
Pb	230
Bi	43,3



Sn произведен
методом зонной
плавки в РХЛ



Measurements of Pb samples with the OBELIX (600 cm³ HPGe) spectrometer (LSM)



Roman lead

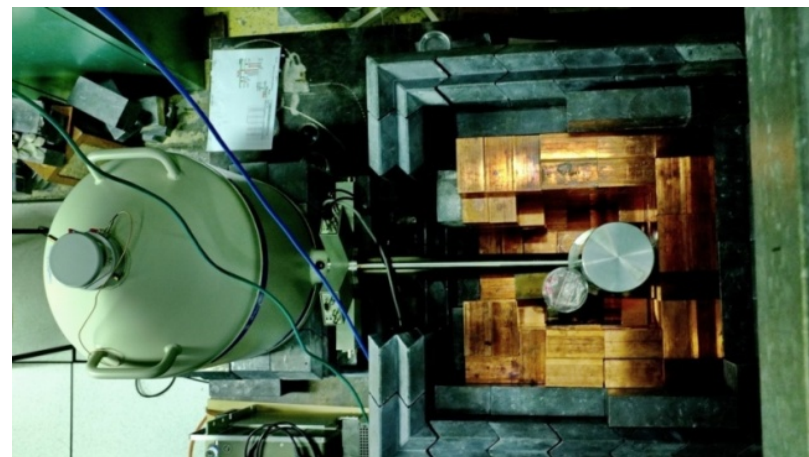


We drill a hole in the ingot and collected samples from different depth

ICP-MS elemental analysis						
	Pb Hellas ppm	Pb ingot 0-1.5 cm ppm	Pb ingot 1.5-3.7 cm ppm	Pb ingot 3.7-5.4 cm ppm	Pb ingot 5.4-7.15 cm ppm	Pb ingot 7.15-9.15 cm ppm
Ni	3.9	10.2	10.6	12.5	9.5	18.6
Ag	62.1	80.7	90.7	98.2	69	158
Cd	<0.05	<0.1				
Sb	1.1	79.2	71.6	83	56.5	104
Tl	0.88	<0.7				
Bi	5.1	<4				
Th	Limit (<0.6 ppb Hellas, <0.2 ingot)					
U	Limit (<2 ppb Hellas, <5 ppb ingot)					

Archeological Pb ingot are clean, attention to contamination during a treatment!

EDELWEISS-I для R&D



Участие в EDELWEISS обеспечивает доступ к инфраструктуре в подземной лаборатории LSM, необходимой для экспериментов на КАЭС

В заключение:

- **Проект EDELWEISS-LT является продолжением многолетней научной программы по прямому поиску частиц темной материи с HPGe детекторами-болометрами;**
- **На новом этапе основная задача состоит в исследовании области легких WIMP, где EDELWEISS имеет лидирующие позиции;**
- *Основной ответственностью нашей группы является изучение фона – основа для получения достоверных результатов;*
- *Участие в EDELWEISS обеспечивает доступ к инфраструктуре в подземной лаборатории LSM, необходимой для экспериментов на КАЭС.*

Публикации

- Q Arnaud, et al (EDELWEISS collaboration) Optimizing EDELWEISS detectors for low-mass WIMP searches, 2017, arXiv preprint arXiv:1707.04308, submitted to Phys. Rev. D
- E Armengaud, et al (EDELWEISS collaboration), Measurement of the cosmogenic activation of germanium detectors in EDELWEISS-III, *Astroparticle Physics*, 91, 2017, 51-64
- E Armengaud, et al (EDELWEISS collaboration) Performance of the EDELWEISS-III experiment for direct dark matter searches, *Journal of Instrumentation*, 12, 08, P08010, 2017, arXiv preprint arXiv:1706.01070
- L Hehn, et al (EDELWEISS collaboration) Improved EDELWEISS-III sensitivity for low-mass WIMPs using a profile likelihood approach, 2016, *The European Physical Journal C* 76 (10), 548
- E Armengaud, et al (EDELWEISS collaboration) Constraints on low-mass WIMPs from the EDELWEISS-III dark matter search, 2016, *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics* 2016 (05), 019
- AV Rakhimov, et al, Neutron activation analysis of polyethylene from neutron shield of EDELWEISS experiment, *Radiochimica Acta* 103 (9), 673-678, 2015
- G Angloher et al, EURECA conceptual design report, *Physics of the Dark Universe*, 3, 41-74, 2014
- B Schmidt et al. Muon-induced background in the EDELWEISS dark matter search. 2013, *Astroparticle Physics* 44, 28-39.
- E. Armengaud et al. (EDELWEISS collaboration) Axion searches with the EDELWEISS-II experiment. In: *JCAP* 1311 (2013), p. 067. arXiv: 1307.1488 [astro-ph.CO];
- E Armengaud, et al (EDELWEISS collaboration) Background studies for the EDELWEISS dark matter experiment, *Astroparticle Physics* 47, 1-9, 2012
- E Armengaud, et al (EDELWEISS collaboration) Search for low-mass WIMPs with EDELWEISS-II heat-and-ionization detectors, *Physical Review D* 86 (5), 051701, 2012

During participation of JINR in the EDELWEISS program the most cited (more than 300 times) article is: E Armengaud et al. "Final results of the EDELWEISS-II WIMP search using a 4-kg array of cryogenic germanium detectors with interleaved electrodes". *Phys.Lett. B*702 (2011), pp. 329-335. arXiv: 1103.4070 [astro-ph.CO]

Наименование узлов и систем установки, ресурсов, источников финансирования		Стоимость узлов (тыс.\$) установки. Потребности в ресурсах	Предложения Лабораторий по распределению финансирования и ресурсов			
			1 год	2 год	3 год	
Основные узлы и оборудование	1. Материалы для тестирования низкого порога детекторов (защита, вето система и т.д.). Материалы и оборудование чистой комнаты.	30	10	10	10	
	2. Спектроскопическая электроника для детектор с точечным контактом в LSM.	15	5	5	5	
	3. Низкофоновые нейтронные спектрометры на основе йодсодержащих детекторов.	15	5	5	5	
	4. Материалы и оборудование для поддержания работоспособности детекторов, находящихся под нашим управлением в EDELWEISS (3 нейтронных детектора, 2 радоновых детектора, альфа-спектрометр, HPGe спектрометр).	21	7	7	7	
	5. Материалы и оборудование для проведения калибровок, включая создание калибровочных источников. Радиохимическое оборудование.	15	5	5	5	
	6. Материалы и оборудование для проведения R&D в ЛЯП (электроника, материалы для чистой комнаты, оборудование лабораторий).	9	3	3	3	
	Итого	105	35	35	35	
Необходимые ресурсы	Норма-часы					
		ОП ОИЯИ ООЭП ЛЯП	3300 1500	1100 500	1100 500	1100 500
Источники финансирования	Бюджет	Затраты из бюджета	105	35	35	35
	Внебюджетные средства	Средства по грантам. Другие источники финансирования (получение данных средства в настоящее время не гарантировано)	30	10	10	10

№№ пп	Наименование статей затрат	Полная стоимость	1 год	2 год	3 год
Прямые затраты на Проект					
1.	Компьютерная связь	3.0K US\$	1.0	1.0	1.0
2.	ООЭП ЛЯП	1500 норм ч.	500	500	500
3.	ОП ОИЯИ	3300 норма ч.	1100	1100	1100
4.	Материалы	36.0K US\$	12.0	12.0	12.0
5.	Оборудование	69.0K US\$	23.0	23.0	23.0
6.	Взнос в коллаборацию	60.0K US\$	20.0	20.0	20.0
7.	Командировочные расходы	60.0K US\$	20.0	20.0	20.0
Итого по прямым расходам		228.0K US\$	76.0K US\$	76.0K US\$	76.0K US\$

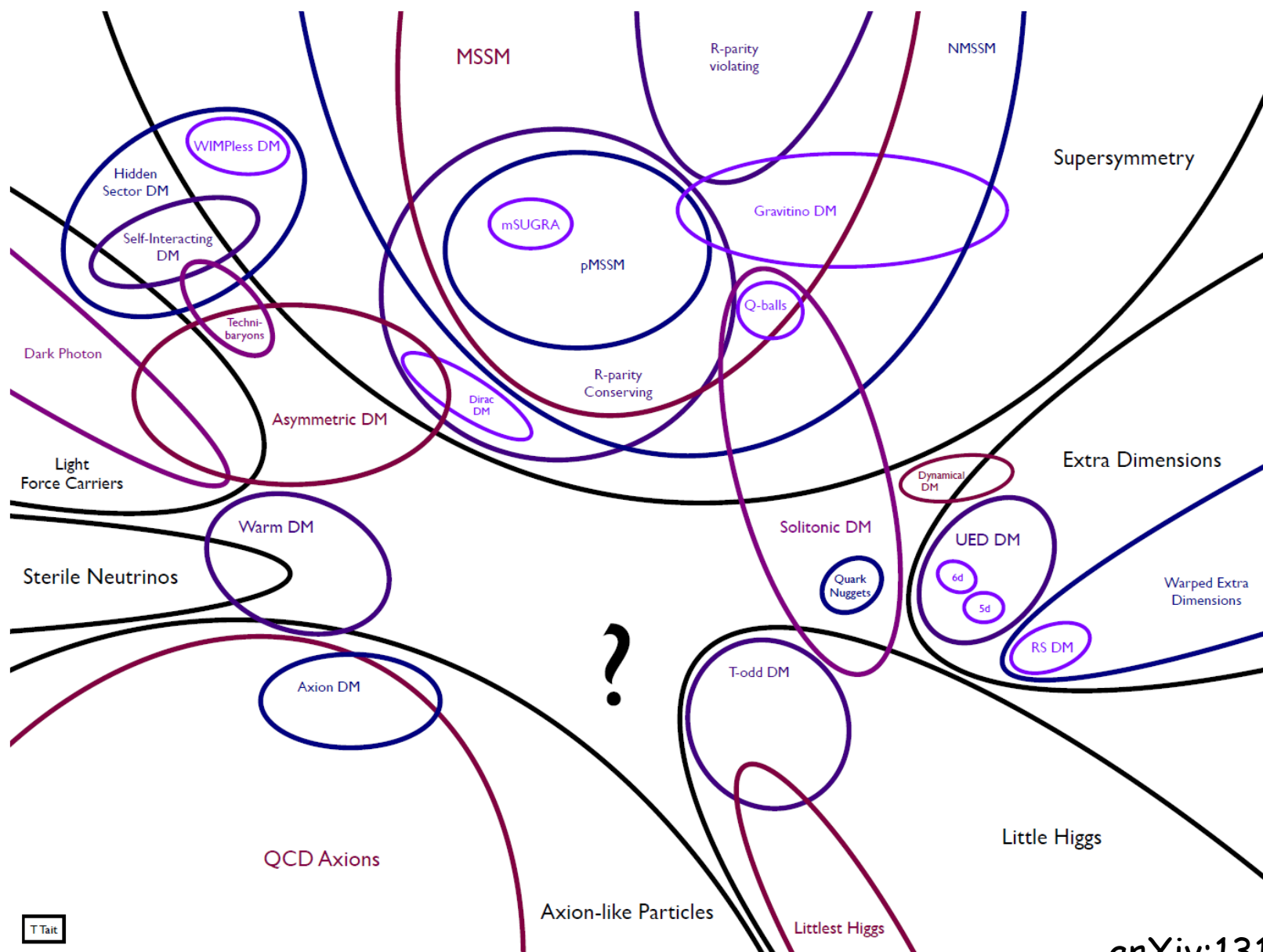
JINR group human resources are

Name	Category	Responsibilities	Time that each participant will give to the work under the Project in relation to its Full Time Equivalent(FTE)
V. Brudanin	Head of department	Administrative work	0.1
Z. Kalaninova	Researcher	MC, data analysis	1.0
A. Lubashevskiy	Senior Researcher	MC, running of JINR low threshold detectors, radon measurement, data analysis	0.2
D. Filosofov	Head of sector	Radiochemistry, low background technique	0.3
N. Mirzaev	Junior researcher	Radiochemistry, low background technique	0.3
L. Perevoshchikov	Researcher	Nuclear spectroscopy	0.2
D. Ponomarev	Engineer	Neutron background measurements, detectors building, testing. Experiment running.	0.5
A. Rakhimov	Junior researcher	Radiochemistry, neutron activation analysis, nuclear spectroscopy	0.3
I. Rozova	Engineer	Data analysis	0.5
S. Rozov	Engineer	Background study and improvement, detector building, testing, calibration, running.	0.7
K. Shakhov	Engineer	Radon gas, radon emanation detection / development and measurements	1.0
E. Yakushev	Head of sector	Administrative work, radon and neutron measurements, detectors building, commissioning, running	0.7
Total FTE (Engineers): 2.7, Total FTE (Scientific staff): 3.1, Total FTE: 5.8			

Snowmass-2013 Cosmic Frontier 3 (CF3) Working Group Summary: Non-WIMP dark matter

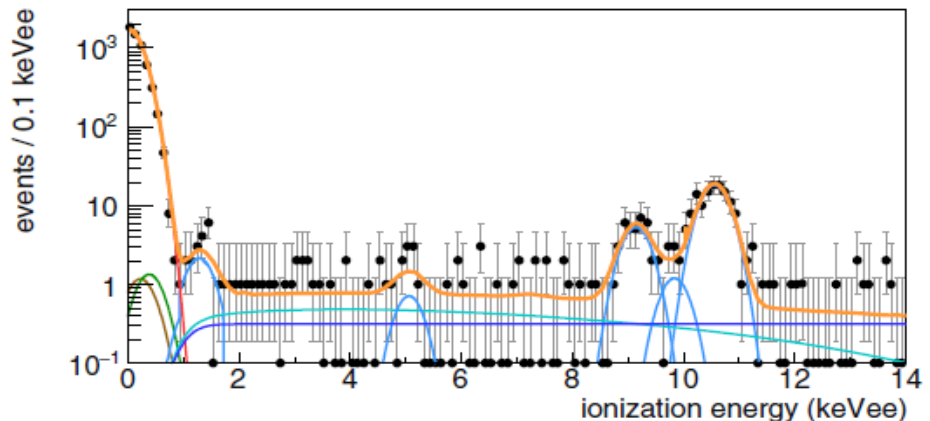
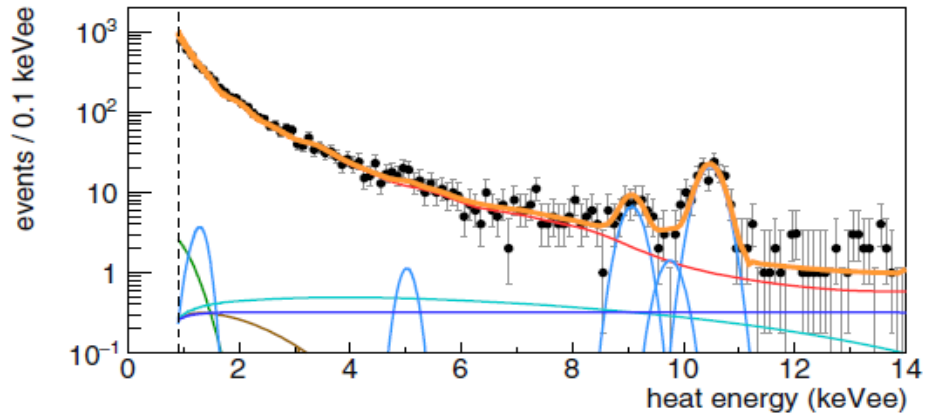
4 The (incomplete) landscape of candidates

The following sections of this report discuss some of dark matter candidates in more detail.



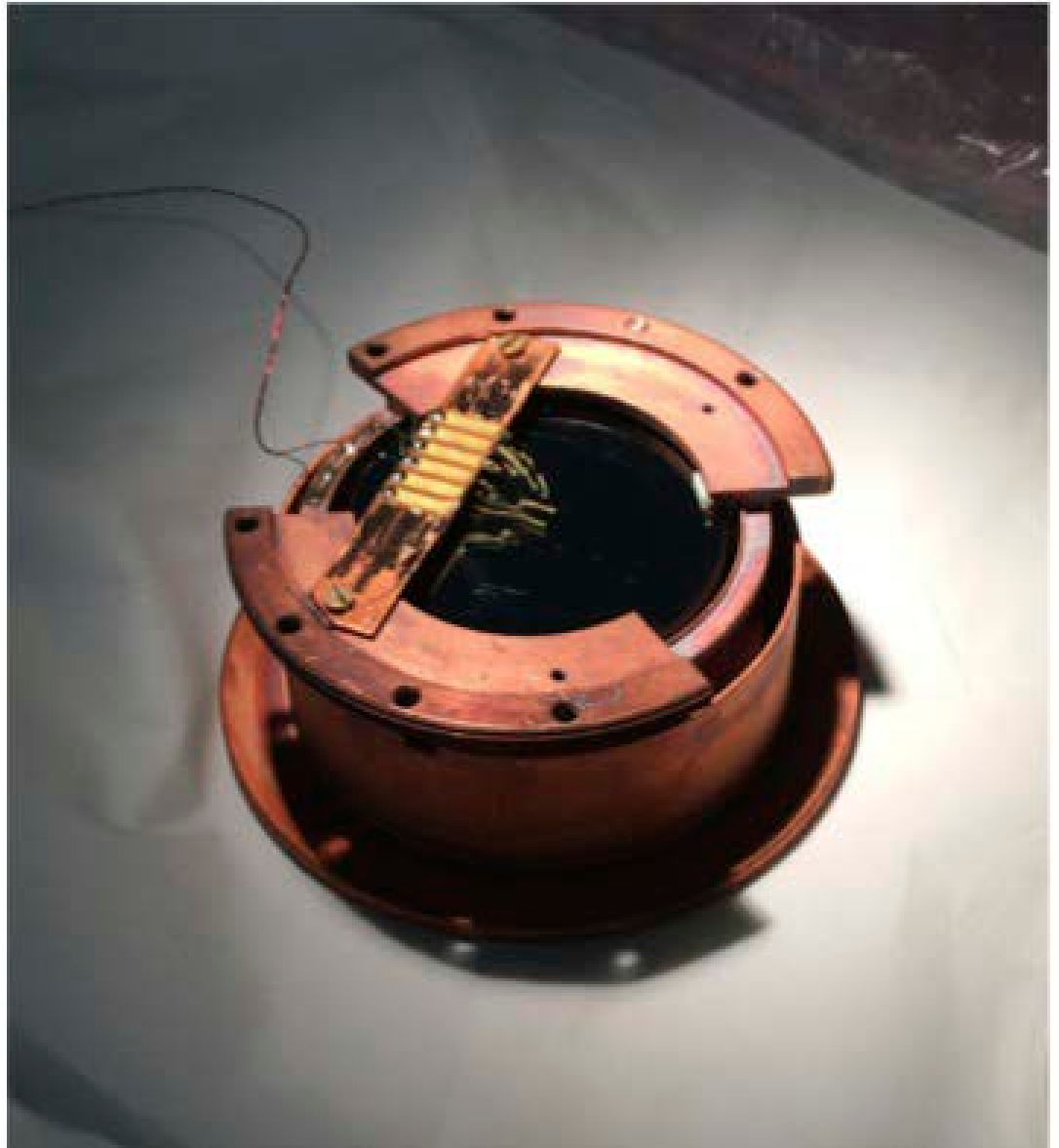
Дальнейший прогресс: борьба с *heat-only* событиями

Энергетические спектры фоновых (вверху) и ионизационных (внизу) каналов для одного из детекторов EDELWEISS. Результат фитирования модели фона к данным показан оранжевой линией. Компоненты фона: эксклюзивно-фоновые (*heat-only*) события - красная линия (доминируют для малых энергий в фоновом канале); Комптон - темно синяя линия; тритиевый бета спектр - бирюзовая линия; космогенные K и L-пики - голубая линия, β -события - зеленая линия; ядра отдачи $Pb-206$ - коричневая линия.



Дальнейший прогресс: разрешение теплового сенсора

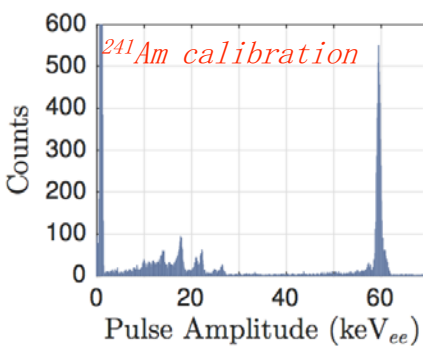
В R&D достигнута
чувствительность 200
нВ/кэВ (улучшение в 6
раз)



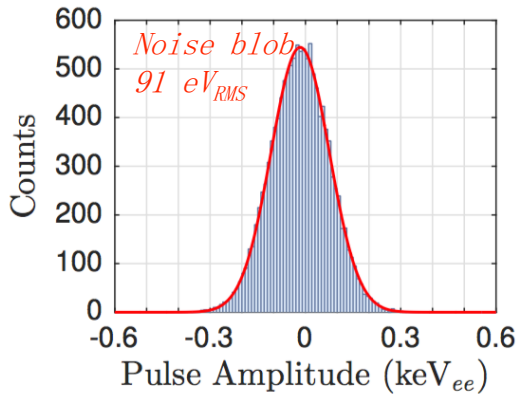
Дальнейший прогресс: улучшение энергетического разрешения ионизационного канала

- Замена JFET (полевой транзистор с управляющим PN-переходом) на HEMT (транзистор с высокой подвижностью электронов)
 - Lower intrinsic noise, low heat load
 - Works at 4K: shorter cables reduces capacitance and improves resolution
- **Successful HEMT amplifier with sub-100 eV_{RMS} ion. resolution** [A. Phipps, arXiv:1611.09712, collaboration between SuperCDMS and EDW]
- Step#1: Upgrade EDW ionization readout with this new design
- Step#2: Electrode design to reduce detector capacitance to reach 50 eV_{RMS}
- Increase of electrode spacing from 2 to 4 mm already successfully implemented

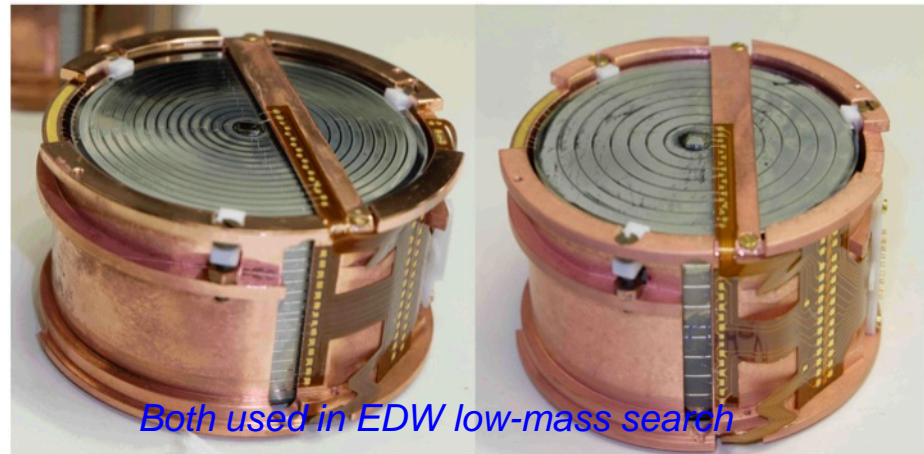
A. Phipps et al, arXiv: 1611.09712



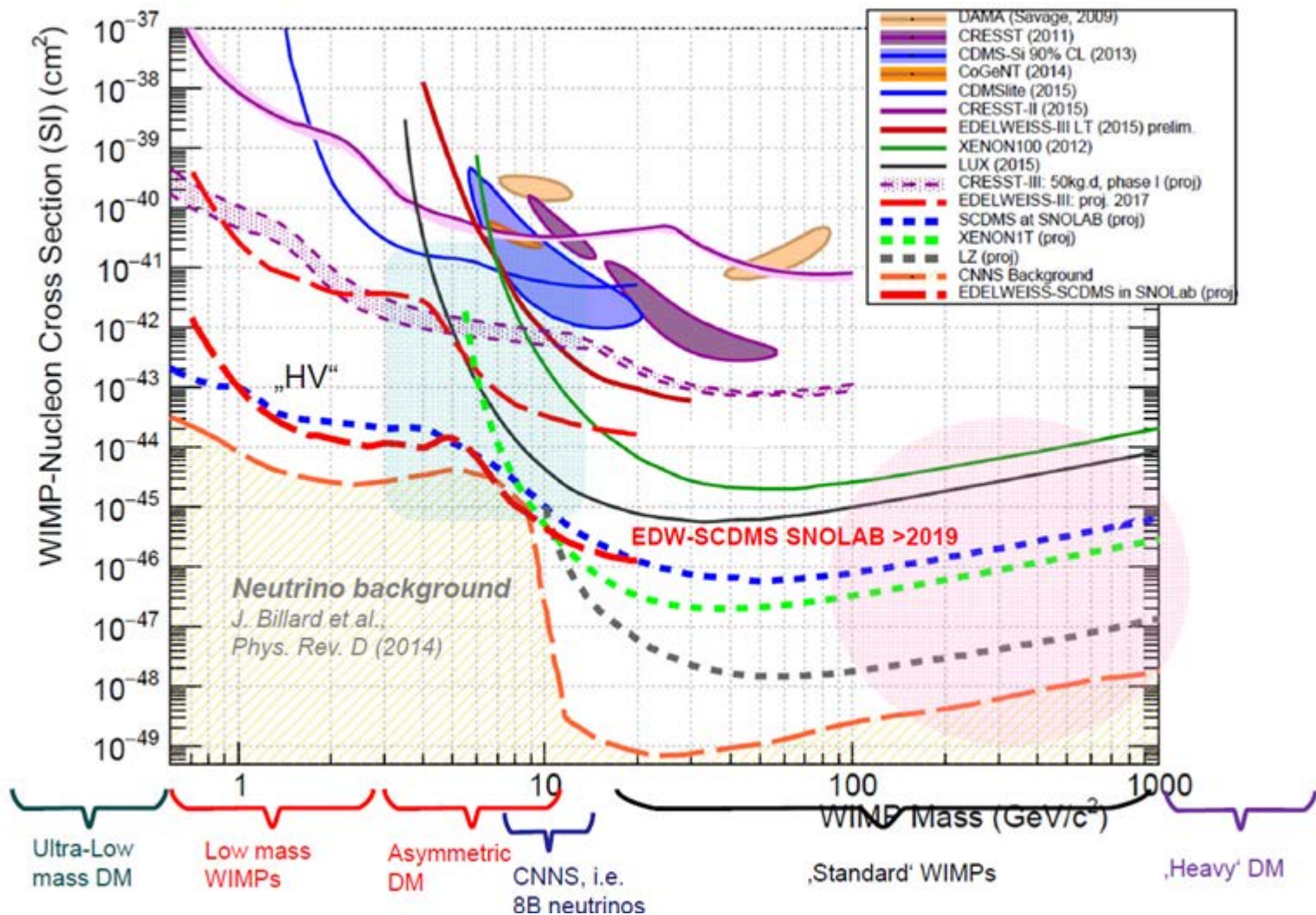
FID842
2 mm spacing



FID824
4 mm spacing

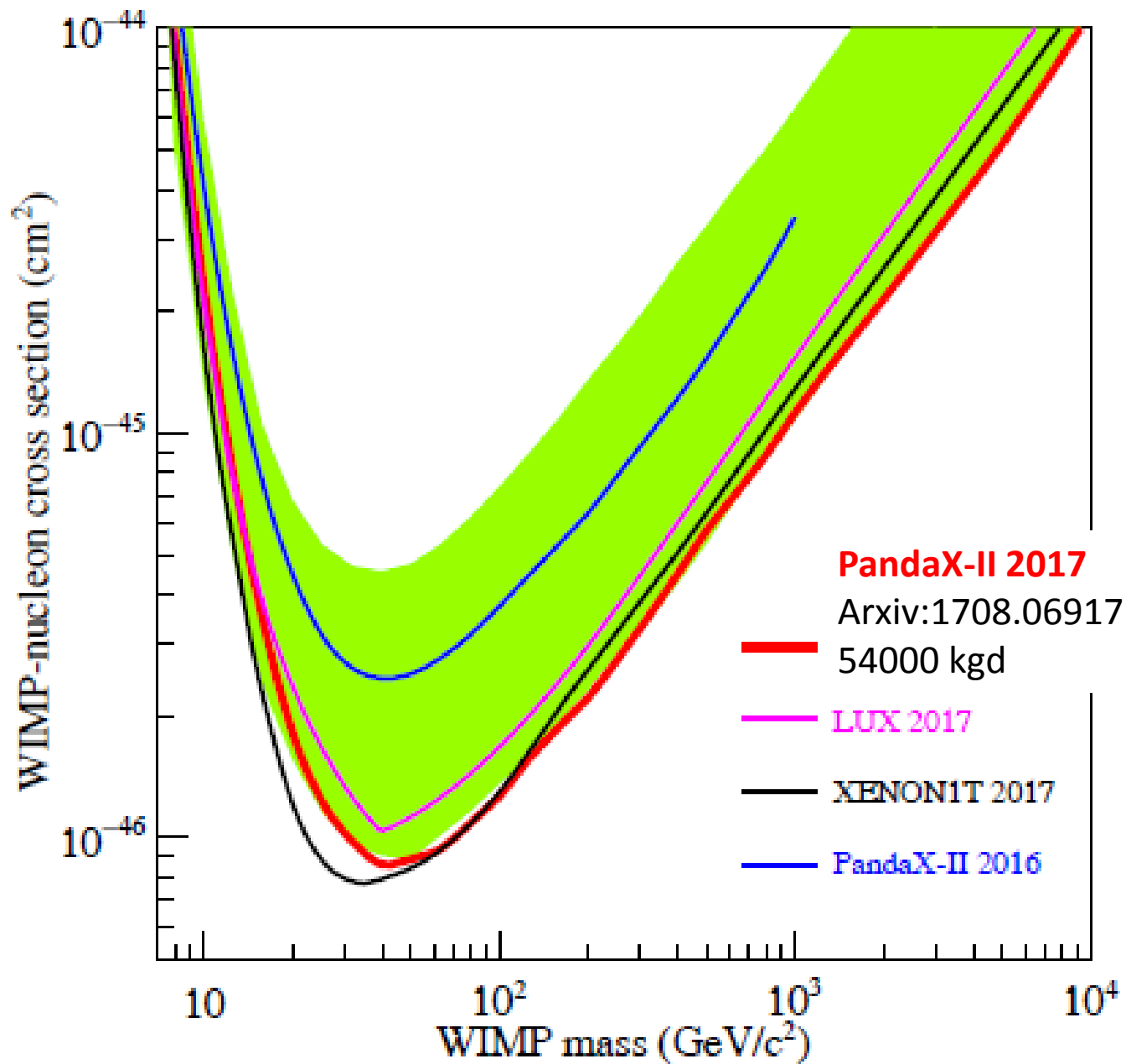


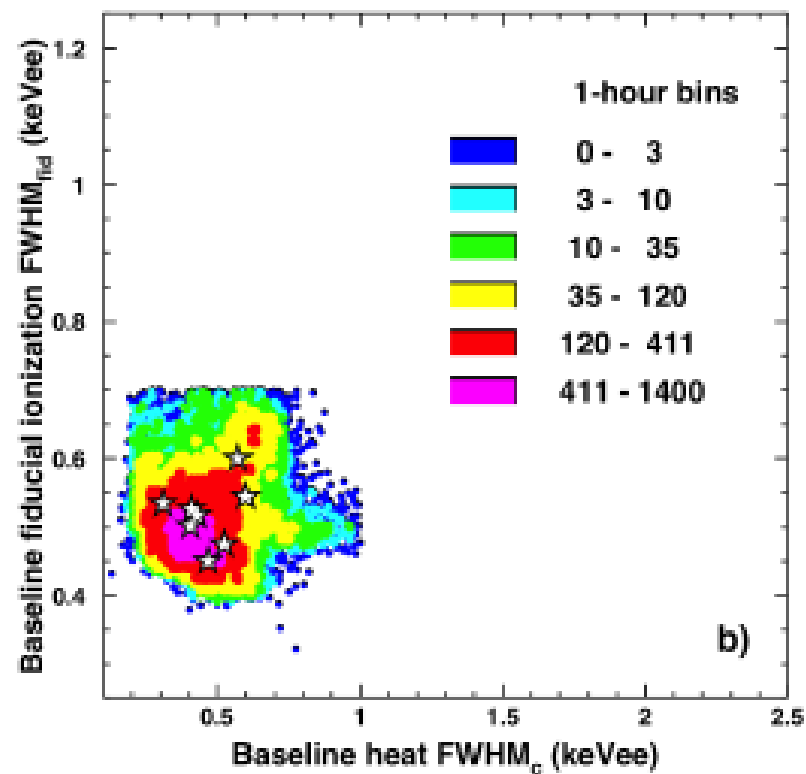
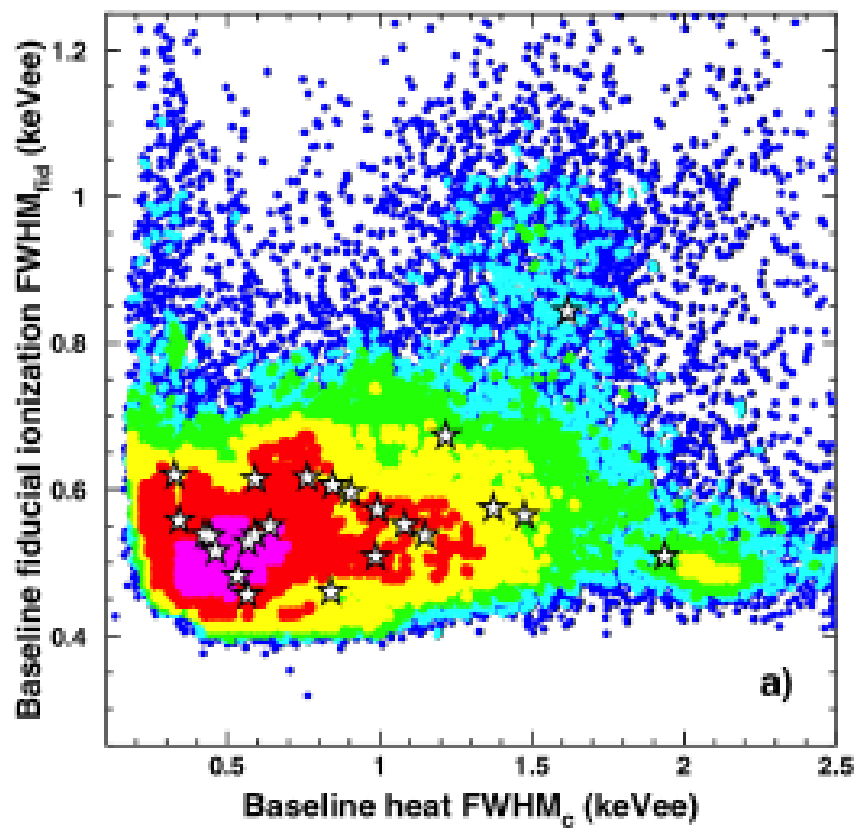
Both used in EDW low-mass search



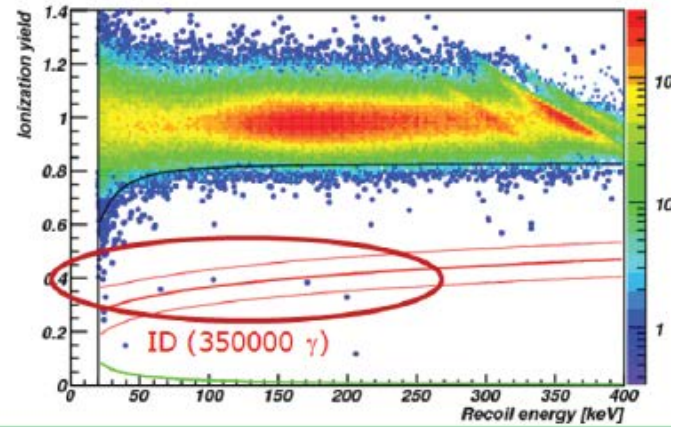
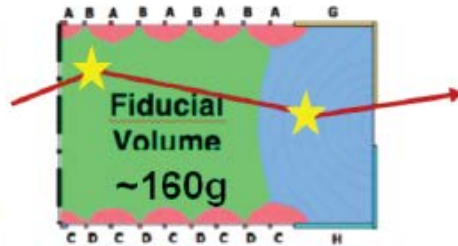
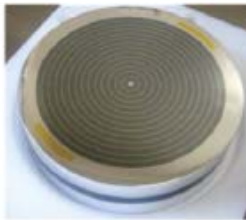
Последние несколько лет: значительный прогресс в улучшение чувствительности экспериментов по прямому поиску частиц темной материи (WIMP).

Противоречивые результаты, особенно в области низких масс WIMP





EDELWEISS-II
 ID 400g with 10x 160g fiducial mass



EDELWEISS-III
 FID 800g with 40x ~600g fiducial mass

