

# Отдел полупроводниковых ядерных детекторов

## Лаб. низкофоновых измерений

- 1) А.В. Дербин внс, дфмн,
- 2) В.Н. Муратова, снс, кфмн
- 3) Д.А. Семенов, снс, кфмн
- 4) И.М. Котина, снс, кфмн
- 5) О.И. Коньков, снс, кфмн
- 6) И.С. Драчнев, снс, PhD, кфмн
- 7) А.С. Бондаренко, снс, кфмн
- 8) Е.В. Унжаков, снс.
- 9) Н.В. Ниязова, мнс.
- 10) И.С. Ломская, мнс.
- 11) Д.В. Иванов, аспирант лаб.-иссл.
- 12) М.А. Панкратов, студент, 5 курс

## Группа физики и технологии п/п детекторов

- 1) М.В. Трушин, кфмн, внс
- 2) Л.В. Силантьева вед. инж.-эл.
- 3) Г.Э. Иващенко вед. инж.-тех.
- 4) Е.В. Федоров вед. инж.-тех.
- 5) Т.А. Филиппова инж.
- 6) Е.А. Чмель вед. инж.-тех.

## Группа Радиохимии

В отделе сейчас – 20 чел.

1 дфмн; 7 кфмн; внс – 2; снс – 7; нс – 0; мнс – 2; асп. – 1; студ. – 1; вед.инж.-6; инж.-2; рег. ап. -1; сл. мех.-1; ( $\Sigma 13$  нс) + 7 ИТР +ОИЯИ (3)

## Конструкторский технологический участок

- 1) А.П. Михайлов регулировщик р.а.
- 2) В.А. Радаев слесарь мех.сб.р.

# Отдел полупроводниковых ядерных детекторов Лаборатория низкофоновых измерений

## Состав (13 (ставок?) чел.):

А.В. Дербин внс, дфмн,

В.Н. Муратова, снс, кфмн

Д.А. Семенов, снс, кфмн

И.М. Котина, снс, кфмн

О.И. Коньков, снс, кфмн

И.С. Драчнев, снс, PhD

М.В. Трушин, снс->внс, кфмн

А.С. Бондаренко, снс, кфмн

Е.В. Унжаков, снс

Н. Ниязова, мнс

И.С. Ломская, мнс

Д.В. Иванов аспирант ПИЯФ

М.А. Панкратов, студент 5 курс

**1 ст+1 асп+2мнс+0нс+7снс+2внс**

**1 д.ф.м.н. и 7 к.ф.м.н.**



# Работы в Отделе в 2025 году

Работы проводились по 4 основным направлениям:

## 1) Нейтрино,

- 1) *Borexino*, доклад **И. Драчнева** – принцип Паули Вх
- 2) Измерения  $\beta$ - и  $\gamma$ -спектров, доклад **М. Трушина** –  $^{99}\text{Tc}$  ( $2\beta 0\nu$ )
- 3) доклад **Н. Ниязовой** –  $\nu$ -спектр  $^{144}\text{Pr}$  (поиск  $m_\nu \sim 1 \text{ eV}$ )
- 4) доклад **Д. Иванова** -  $T_{1/2}$   $^{71}\text{Ge}$  (*Ga-Ge аномалия*)

## 2) Темная материя

эксперименты по поиску **аксионов** (ПИАФ, БНО ИЯИ, Н.Новгород) –

5) аксионы с болометром  $\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ ,

5) Реликтовые аксионы, проект CASH, доклад **Е. Унжакова** ( $m_A \sim 50 \mu\text{eV}$ )

7) и по поиску **WIMPs** (**DarkSide20k**)n+Si, DEAP)5.5 МэВ axion)

8) **Возбуждение ядерных уровней WIMPs** ( $^{83}\text{Kr}$ ,  $^{169}\text{Tm}$ )

3) **Изучение радиационной стойкости кремниевых п/п детекторов**

(разработка n+Si-источника для нейтринных экспериментов)

(рук. М.В. Трушин)

4) **Изучение параметров п/п детекторов и МДП структур**

(разработка Si-мультидетектора для измерения  $\beta$ -спектров осколков деления для восстановления спектра реакторных антинейтрино)

(рук. И.М. Котина, М.В. Трушин)

# Публикации в 2025 г. (13 + 21)

## 13 публикаций в индексируемых журналах (WoS & Scopus)

1. А.В. Дербин, "Регистрация солнечных CNO-нейтрино детектором Borexino", *Физика элементарных частиц и атомного ядра*, **56**, 1391 (2025)
2. F. Acerbi et al., (DarkSide-20K Coll.), Benchmarking the design of the cryogenics system for the underground argon in DarkSide-20k, *JINST*, **20**, P02016 (2025)
2. S. Ahyoune et al., (IAXO Coll.) "An accurate solar axions ray-tracing response of BabyIAXO, *JHEP02* (2025) 159
3. S. Zavaterelly et al., (Borexino Coll.), Ultra-low background physics: lessons from Borexino and future steps, *PoS (NOW2024) 093*, 2025
5. A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, V.N. Muratova, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, and A.S. Vorobyev, *A New Precision Measurements of  $^{71}\text{Ge}$  Lifetime*, *Physics of Atomic Nuclei*, 2025, Vol. 88, No. 1, pp. 52–56.
6. F. Acerbi et al., (DarkSide-20K Coll.), Flow and thermal modelling of the argon volume in the DarkSide-20k TPC, *JINST*, **20**, P06046 (2025)
7. A.L. Pankratov, P.A. Belov, E.E. Boos, A.S. Chepurinov, A.V. Chiginev, A.V. Derbin, I.S. Drachnev, L.V. Dudko, D.S. Gorbunov, M.A. Gorlach, V.V. Ivanov, L.V. Kravchuk, M.V. Libanov, M.M. Merkin, V.N. Muratova, A.E. Pukhov, D.V. Salnikov, P.S. Satunin, D.A. Semenov, A.M. Sergeev, M.I. Starostin, I.I. Tkachev, S.V. Troitsky, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, M.M. Vyalkov, A.A. Yukhimchuk, *Search for dark-matter axions beyond the quantum limit: The cosmological axion Sarov haloscope proposal*, *Phys. Rev. D* **112**, 035003 (2025)
8. F. Acerbi et al., (DarkSide coll.), Quality assurance and quality control of the 26 m<sup>2</sup> SiPM production for the DarkSide-20k dark matter experiment, *Eur. Phys. J. C* **85**:534, (2025)
9. D. Basilico, et al., (Borexino Coll.), *Search for high energy 5.5 MeV solar axions with the complete Borexino dataset*, *Eur. Phys. J. C* **85**, 1182 (2025)
10. А.В. Дербин, И.С. Драчнев, Ю.М. Гаврилюк, А.М. Гангапшев, В.В. Казалов, В.В. Кузьминов, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, Д.А. Текуева, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков, С.П. Якименко, *Поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах  $^{83}\text{Kr}$  с возбуждением низколежащего ядерного уровня*, *Письма в ЖТФ* **51**, 24, 4 (2025)
11. F. Acerbi et al., (DarkSide coll.), Production, quality assurance and quality control of the SiPM Tiles for the DarkSide-20k Time Projection Chamber, *Eur. Phys. J. C* **85**:1334, (2025)
12. A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, I.M. Kotina, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, *Electron-antineutrino spectrum from precision measurements of  $^{144}\text{Pr}$ -decay*, *Phys. Rev. D* **112**, 112008 (2025)
13. А.В. Дербин, И.С. Драчнев, И.С. Ломская, В.Н. Муратова, Н.В. Ниязова, Д.А. Семенов, Е.В. Унжаков, *Новые ограничения на время жизни  $^{12}\text{C}$  по отношению к ядерным переходам с нарушением принципа Паули на основе данных детектора Борексино*, *Письма ЖТФ* **52**, в.4 (2026)

# Публикации 2024 г. (13 + 21)

## 21 публикация в arXiv и в Proceedings

1. F. Acerbi et al., (DarkSide-20K Coll.), Flow and thermal modelling of the argon volume in the DarkSide-20k TPC, [arXiv:2503.08468 \(2025\)](#)
2. Agnes et al, (DarkSide coll.), Fermionic sub-GeV Dark Matter from evaporating Primordial Black Holes at DarkSide-50, [arXiv:2505.13093v1 \[hep-ph\] 19 May 2025](#)
3. A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, I.M. Kotina, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, The precision measurement of the electron anti-neutrino spectrum in beta-decay of 144Pr nuclei, [arXiv:2506.03716, 4 June 2025](#)
4. Andrey L. Pankratov, Pavel A. Belov, Eduard E. Boos, Alexander S. Chepurnov, Alexander V. Chiginev, Alexander V. Derbin, Ilya S. Drachnev, Lev V. Dudko, Dmitry S. Gorbunov, Maxim A. Gorlach, Vadim V. Ivanov, Leonid V. Kravchuk, Maxim V. Libanov, Michael M. Merkin, Valentina N. Muratova, Alexander E. Pukhov, Dmitry V. Salnikov, Petr S. Satunin, Dmitrii A. Semenov, Alexander M. Sergeev, Maksim I. Starostin, Igor I. Tkachev, Sergey V. Troitsky, Maxim V. Trushin, Evgenii V. Unzhakov, Maxim M. Vyalkov, Arkady A. Yukhimchuk, Search for dark-matter axions beyond the quantum limit: the Cosmological Axion Sarov Haloscope (CASH) proposal, [arXiv:2506.18595, 23 June 2025](#)
5. F. Acerbi et al., (DarkSide coll.), Production, Quality Assurance and Quality Control of the SiPM Tiles for the DarkSide-20k Time Projection Chamber, [arXiv:2507.07226v1, 9 Jul 2025](#)
6. D. Basilico et al., (Borexino coll.), Search for high energy 5.5 MeV solar axions with the complete Borexino dataset, [arXiv:2504.19135v1, 27 Apr 2025](#)
7. Agnes et al, (DarkSide-50 coll.), Characterization of spurious-electron signals in the double-phase argon TPC of the DarkSide-50 experiment, [arXiv:2507.23003v1, 30 Jul 2025](#)
8. F. Acerbi et al., (DarkSide Coll.), Sensitivity to low-mass WIMPs with an improved liquid argon ionization response model within the DarkSide programme, [arXiv:2511.13629v1 \[hep-ex\] 17 Nov 2025](#)
9. Драчнев И. С., Дербин А. В., Ломская И. С., Муратова В. Н., Ниязова Н. В., Семенов Д. М., Унжаков Е. В., Оценка чувствительности детектора Бorexино к ядерным переходам с нарушением принципа Паули, [Тезисы докладов международной конференции Физика.СПб, стр.9, 20–24 октября 2025 года](#)
10. Котина И. М., Базлов Н.В., Бондаренко А.С., Дербин А.В., Драчнев И.С., Коньков-О.И., Муратова В.Н., Трушин М.В., Унжаков Е.В. Исследование фотоэлектрических и электрофизических свойств гетероструктур i-aSi:H/SiO<sub>2</sub>/p-Si, [Тезисы докладов международной конференции Физика.СПб, стр.276, 20–24 октября 2025 года](#)
11. А.В. Дербин, И.С. Драчнев, Ю.М. Гаврилюк, А.М. Гангапшев, В.В. Казалов, В.В. Кузьминов, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, Д.А. Текуева, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков, С.П. Якименко, Поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах 83Kг с возбуждением низколежащего ядерного уровня, [Тезисы докладов международной конференции Физика.СПб, стр.409, 20–24 октября 2025 года](#)

# Публикации 2024 г. (13 + 21)

## 21 публикация в arXive и в Proceedings

12. А.В. Дербин, Экспериментальные поиски солнечных аксионов, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
13. Е. Унжаков, А. Дербин, В. Муратова, Д. Семенов, И. Драчнев, М. Трушин, Н. Ниязова, Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов испускаемых в M1-переходе ядра  $^{169}\text{Tm}$ , LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
14. Н. Ниязова, А. Дербин, В. Муратова, Д. Семенов, И. Драчнев, М. Трушин, Е. Унжаков, Поиск тяжелых нейтрино с помощью измерений спектров  $^{144}\text{Ce}$ -  $^{144}\text{Pr}$  полупроводниковыми спектрометрами, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
15. Д. Иванов, А. Воробьев, А. Дербин, В. Муратова, Д. Семенов, И. Драчнев, М. Трушин, Н. Ниязова, Е. Унжаков, Прецизионные измерения периода полураспада  $^{71}\text{Ge}$ , выполненные с целью поиска решения «галлиевой аномалии», LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
16. В. Муратова, А. Дербин, Д. Семенов, И. Драчнев, М. Трушин, Е. Унжаков, Поиск аксиоэлектрического эффекта в атомах Kг для солнечных аксионов, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
17. И. Ломская, А. Дербин, В. Муратова, Д. Семенов, И. Драчнев, М. Трушин, Н. Ниязова, Е. Унжаков, Поиск корреляций нейтринных событий в детекторе *Bohexino* с транзиентными астрофизическими явлениями, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
18. М. Панкратов, А. Дербин, И. Драчнев, Д. Иванов, И. Котина, В. Муратова, Д. Семенов, М. Трушин, Е. Унжаков, Спектрометр на основе Si-детекторов для измерения бета-спектров в присутствии интенсивного гамма-фона. LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
19. Д. Семенов, Н. Базлов, А. Дербин, И. Драчнев, Д. Иванов, И. Котина, О. Коньков, В. Муратова, Н. Ниязова, М. Трушин, Е. Унжаков, Е. Чмель, Компактный калибровочный источник нейтронов на основе нуклида  $^{252}\text{Cf}$  и кремниевого полупроводникового детектора, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
10. М. Трушин, А. Бондаренко, Н. Базлов, А. Дербин, И. Драчнев, Д. Иванов, И. Котина, О. Коньков, В. Муратова, Н. Ниязова, Т. Самсонова, Е. Унжаков, Эпитаксиальные пленки  $4\text{H-SiC}$  как детекторы альфа-частиц и осколков деления. LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)
21. Драчнев И. С., Дербин А. В., Ломская И. С., Муратова В. Н., Ниязова Н. В., Семенов Д. М., Унжаков Е. В., Оценка чувствительности детектора Борексино к ядерным переходам с нарушением принципа Паули, LXXV международная конференция «ЯДРО-2025», Сборник тезисов, стр. 202, СПбГУ (2025)

# Доклады на конференциях и семинарах в 2025 г.

## 19 докладов и выступлений на конференциях и семинарах (10 чел.)

1. **А.В. Дербин**, Основные научные результаты ОПЯД в 2024 г. Сессия Ученого совета Отделения нейтронных исследований, 20-21 января 2025 года, Гатчина.
2. **М.В. Трушин**, Измерение времени жизни изотопа  $^{71}\text{Ge}$  для возможного объяснения нейтринной «галлиевой аномалии», Сессия Ученого совета Отделения нейтронных исследований, 20-21 января 2025 года, Гатчина.
3. **И.С. Драчнев**, Поиск солнечных аксионов в эксперименте Борексино, Сессия Ученого совета Отделения нейтронных исследований, 20-21 января 2025 года, Гатчина.
4. **Д.В. Иванов**, Анализ формы бета-спектра  $^{210}\text{Bi}$  с целью определения чувствительности к реликтовым нейтрино, Сессия Ученого совета Отделения нейтронных исследований, 20-21 января 2025 года, Гатчина.
5. **А.В. Дербин**, Экспериментальные поиски солнечных и реликтовых аксионов: ПИЯФ, Гран-Сассо, БНО ИЯИ, сессия Секции ядерной физики ОФН РАН, Москва, 13-14 мая 2025
6. **И.С. Драчнев** «Поиск солнечных аксионов по реакциям взаимодействия с фотонами и электронами на примере детектора Bogexino», III-й Всероссийская школа Национального центра физики и математики по проблемам исследований в сильных и сверхсильных магнитных полях, НЦФМ, Технопарк Саров, 22 мая 2025
7. **Е.В. Унжаков** «Поиск солнечных аксионов с помощью резонансного поглощения атомными ядрами», III-й Всероссийская школа Национального центра физики и математики по проблемам исследований в сильных и сверхсильных магнитных полях, НЦФМ, Технопарк Саров, 22 мая 2025
8. **А.В. Дербин**, Экспериментальные поиски солнечных аксионов, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
9. **В.Н. Муратова**, Поиск аксиоэлектрического эффекта в атомах Kг для солнечных аксионов, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», С.-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
10. **И.С. Драчнев**, The precision measurement of the electron anti-neutrino spectrum I beta-decay of  $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$  nuclei, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
11. **Д.В. Иванов**, Прецизионные измерения периода полураспада  $^{71}\text{Ge}$ , выполненные с целью поиска решения «галлиевой аномалии», LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
12. **И.С. Ломская**, Поиск корреляций нейтринных событий в детекторе Bogexino с транзитными астрофизическими явлениями, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
13. **Н.В. Ниязова**, Поиск тяжелых нейтрино с помощью измерений спектров  $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$  полупроводниковыми спектрометрами, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
14. **М.А. Панкратов**, Спектрометр на основе Si-детекторов для измерения бета-спектров в присутствии интенсивного гамма-фона, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
15. **Д.А. Семенов**, Компактный калибровочный источник нейтронов на основе нуклида  $^{252}\text{Cf}$  и кремниевого полупроводникового детектора, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
16. **М.В. Трушин**, Эпитаксиальные пленки  $4\text{H-SiC}$  как детекторы альфа-частиц и осколков деления, LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», С.-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
17. **Е.В. Унжаков**, Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов, испускаемых в M1-переходе ядра  $^{169}\text{Tm}$ , LXXV Международная конференция «ЯДРО-2025. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Ядерно-физические технологии», Санкт-Петербург, 1-6 июля 2025 г.
18. **Д.В. Иванов**, Новые результаты измерения периода полураспада  $^{71}\text{Ge}$ , выполненные с целью поиска решения «галлиевой аномалии», Open Science-2025, XII Всероссийский с международным участием Молодежный научный форум, Гатчина, 12–14 ноября 2025 г.
19. **М.А. Панкратов**, Спектрометр на основе Si-детекторов для измерения бета-спектров в присутствии интенсивного гамма-фона, Open Science-2025, XII Всероссийский с международным участием Молодежный научный форум, Гатчина, 12–14 ноября 2025 г.

# Диссертации, аспирантура, магистратура

## Аспирантура ПИЯФ -> мнс -> к.ф.м.н.

**«Изучение бета-спектров источника электронных антинейтрино  $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$  с помощью полупроводниковых детекторов для поиска осцилляций нейтрино в стерильное состояние.»**

**(Н. Ниязова, с 2017 г., рук. И.С. Драчнев / А.В. Дербин)**

**«Поиск редких низкоэнергетических событий от астрофизических источников с детектором Борексино»**

**(И. Ломская, 2019, рук. И.С. Драчнев / А.В. Дербин)**

## Специалитет ТУ (2024) -> Аспирантура ПИЯФ (2024-25)

**Курсовая – > диплом СПбГТУ (ТИ) (2021-24)-> Аспирантура (2 курс)**

**Д.В. Иванов ««Измерения бета-спектров, гамма- и рентгеновского излучения для задач нейтринной физики»»**

**(2025, рук. М.В. Трушин / А.В. Дербин)**

**Курсовая – > диплом СПбГТУ (ТУ) (2024-27)-**

**М.В. Панкратов «Спектрометр на основе п/п кремниевых детекторов для измерения бета-спектров в присутствии  $\gamma$ -фона»**

**(2023-27, рук. М.В. Трушин / А.В. Дербин)**

# 1 грант РФФИ в 2025 г., 1+1 заявка на 2026 г.

## Гранты РФФИ

### 1. Грант РФФИ 24-12-00046

Исследования Солнца, Земли, других астрофизических объектов и редких физических процессов с помощью нейтринной спектроскопии на полном наборе данных детектора Борексино.

руководитель *Дербин Александр Владимирович* НИЦ КИ ПИЯФ

## Заявки на грант РФФИ

«Прецизионные измерения  $\beta$ -спектров для задач нейтринной и ядерной физики»

руководитель *Трушин Максим Валерьевич* НИЦ КИ ПИЯФ

«Квантовые сенсоры для поиска тёмной материи (2026-2030)»

От НИЦ КИ ПИЯФ 5 человек (из 28)

# Премии и награды в 2025 г.

Третья премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ [ЯФ НЭ]  
**«Поиск солнечных аксионов с помощью газового  $83\text{Kr}$ -счетчика,  $169\text{Tm}$  криогенного болометра»**

ПИЯФ: А.В. Дербин, И.С. Драчнев, И.С. Ломская, В.Н. Муратова, В.В. Ниязова, Д.А. Семенов, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков (8 сотрудников). ИЯИ: 6 сотр.

Третья премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ [Методика]  
**«Структура и электрическая проводимость тонких пленок нитрида алюминия ( $\text{AlN}$ ) на кремнии ( $\text{Si}$ )»**

ПИЯФ: Н.В. Базлов, А.С. Бондаренко, А.В. Дербин, И.С. Драчнев, О.И. Коньков, И.М. Котина, Н.В.Ниязова, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков (9 сотр.) СПбГУ: 4 сотр..



# Новые результаты Борексино (2025)

**2025 год:** 1) 5.5 МэВ аксионы за 15 лет измерений  
2) Новые данные по нарушению принципа Паули в ядрах ( $^{12}\text{C}$ )

**2024 год:** 1) Новые данные по потоку аксионов с энергией 5.5 МэВ  
2)  $\alpha/\beta$ -дискриминация в ЖС

**2022 год:** 1) Направление  $^7\text{Be}$  нейтрино  
2) Новое об CNO-нейтрино+ $^{210}\text{Bi}$  ПИЯФ  
3) Быстрые радиовсплески

**2020 год:** CNO-нейтрино; (PNPI  $\beta$ -спектр  $^{210}\text{Bi}$ ) vs от астрофизических источников; - Гео- vs; - Нестандартные взаимодействия vs

**2018 год** Комплексные результаты 10-летних измерений солнечных нейтрино

**2016 год** Корреляции гамма-всплесков и сигналов Борексино  
Стерильное нейтрино -проект SOX\_Ce

**2014 год:**  $\bar{\nu}\nu$ -нейтрино.

**2012 – год  $A_{\text{sol}}$  и  $V_{\text{нейтрино}}$**   
• Солнечные аксионы.  
• Скорость нейтрино.  
• Начало Фазы 2

**2010 – год антинейтрино**

1. Гео-нейтрино
2. Солнечные анти-нейтрино
3. Фоновые анти-нейтрино
4. Переходы в  $^{12}\text{C}$  с нарушением ПП

**2023 год:** 1) Новые данные по CNO-нейтрино с учетом выделения направления +  $^{210}\text{Bi}$  ПИЯФ  
2) Сигналы  $\text{Vorexino}$  и гравитационные события NS-NS, NS-BH и BH-BH

**2021 год:** Сигналы  $\text{Vx}$  и быстрых радиовсплесков  
Идентификация космогенного  $^{11}\text{C}$ ; - Выделение направления  $^7\text{Be}$  нейтрино

**2019 год:** Совместный фит  $\bar{\nu}\nu$ ,  $^7\text{Be}$ , и  $\text{re}\nu$ -нейтрино,  
Модуляция потока мюонов за 10 лет измерений, Гео-нейтрино, анти- $\nu$  от Солнца, солнечные вспышки, NSI

**2017 год** Корреляции грав. волн и сигналов Борексино  
Временные вариации  $^7\text{Be}$ -нейтрино  
Магнитный момент  $\nu \mu_{\text{eff}} \leq 2.8 \times 10^{-11} \mu_B$

**2015 год** -Стабильность электрона гео-нейтрино за 2056 суток  
Проект SOX\_Ce

**2013 год** - Тяжелое стерильное нейтрино.  
• Новые данные по гео нейтрино.  
• Подготовка - стерильное нейтрино SOX  
• Возможность регистрации  $\bar{\nu}\nu$ -нейтрино, магнитного момента, ..

**2011 – год  $^7\text{Be}$ ,  $\text{re}\nu$ -, CNO- $\nu$**

1. Вариации день-ночь для  $^7\text{Be}$ - $\nu$
2. Обнаружены  $\text{re}\nu$ -нейтрино
3. Поток  $^7\text{Be}$ - $\nu$  измерен с 5% точ.

# Солнечные аксионы из реакции $p + d \rightarrow {}^3\text{He} + A$ (5.5 МэВ)

Eur. Phys. J. C (2025) 85:1182

<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-025-14811-9>

THE EUROPEAN  
PHYSICAL JOURNAL C



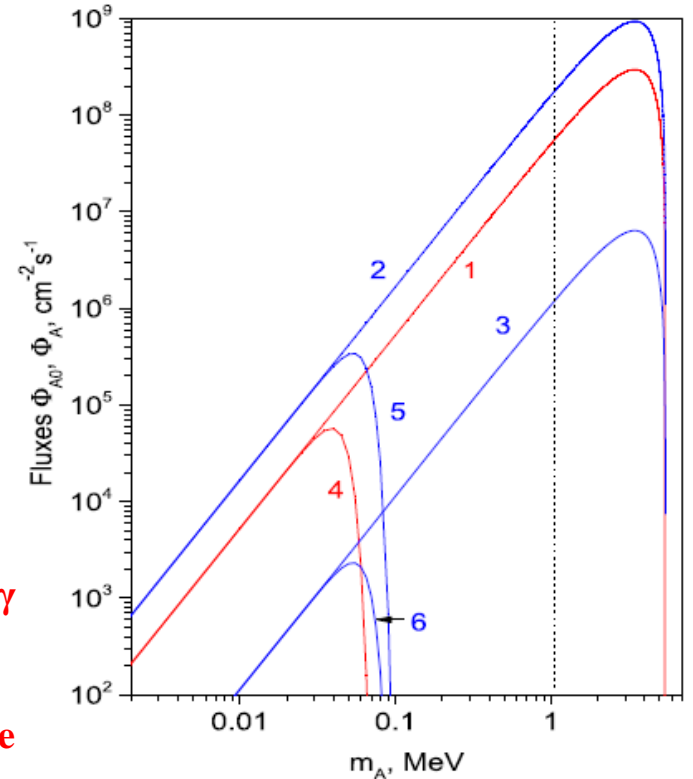
## Search for high energy 5.5 MeV solar axions with the complete Borexino dataset

(Borexino collaboration)

D. Basilico<sup>1</sup>, G. Bellini<sup>1</sup>, J. Benziger<sup>2</sup>, R. Biondi<sup>3,25</sup>, B. Caccianiga<sup>1</sup>, F. Calaprice<sup>4</sup>, A. Caminata<sup>5</sup>, A. Chepurinov<sup>6</sup>, D. D'Angelo<sup>1</sup>, A. Derbin<sup>7,8,a</sup>, A. Di Giacinto<sup>3</sup>, V. Di Marcello<sup>3</sup>, X. F. Ding<sup>4,26</sup>, A. Di Ludovico<sup>4,27</sup>, L. Di Noto<sup>5</sup>, I. Drachnev<sup>7</sup>, D. Franco<sup>9</sup>, C. Galbiati<sup>4,10</sup>, C. Ghiano<sup>3</sup>, M. Giammarchi<sup>1</sup>, A. Goretti<sup>4,27</sup>, M. Gromov<sup>6,11</sup>, D. Guffanti<sup>12,28</sup>, Aldo Ianni<sup>3</sup>, Andrea Ianni<sup>4</sup>, A. Jany<sup>13</sup>, V. Kobychev<sup>14</sup>, G. Korga<sup>15,16</sup>, S. Kumaran<sup>17,18,29</sup>, M. Laubenstein<sup>3</sup>, E. Litvinovich<sup>8,19</sup>, P. Lombardi<sup>1</sup>, I. Lomszkaya<sup>7</sup>, L. Ludhova<sup>17,18,30,31</sup>, I. Machulin<sup>8,19</sup>, J. Martyn<sup>12</sup>, E. Meroni<sup>1</sup>, L. Miramonti<sup>1</sup>, M. Misiaszek<sup>13</sup>, V. Muratova<sup>7</sup>, R. Nugmanov<sup>8,19</sup>, L. Oberauer<sup>20</sup>, V. Orekhov<sup>12</sup>, F. Ortica<sup>21</sup>, M. Pallavicini<sup>5</sup>, L. Pelicci<sup>17,18,32</sup>, Ö. Penek<sup>17,33</sup>, L. Pietrofaccia<sup>4,27</sup>, N. Pilipenko<sup>7</sup>, A. Pocar<sup>22</sup>, G. Raikov<sup>8</sup>, M. T. Ranalli<sup>3</sup>, G. Ranucci<sup>1</sup>, A. Razeto<sup>3</sup>, A. Re<sup>1</sup>, N. Rossi<sup>3</sup>, S. Schönert<sup>20</sup>, D. Semenov<sup>7</sup>, G. Settanta<sup>17,34</sup>, M. Skorokhvatov<sup>8,19</sup>, A. Singhal<sup>17,18,35</sup>, O. Smirnov<sup>11</sup>, A. Sotnikov<sup>11</sup>, R. Tartaglia<sup>3</sup>, G. Testera<sup>5</sup>, E. Unzhakov<sup>7</sup>, A. Vishneva<sup>11</sup>, R. B. Vogelaar<sup>23</sup>, F. von Feilitzsch<sup>20</sup>, M. Wojcik<sup>13</sup>, M. Wurm<sup>12</sup>, S. Zavatarelli<sup>5</sup>, K. Zuber<sup>24</sup>, G. Zuzel<sup>13</sup>

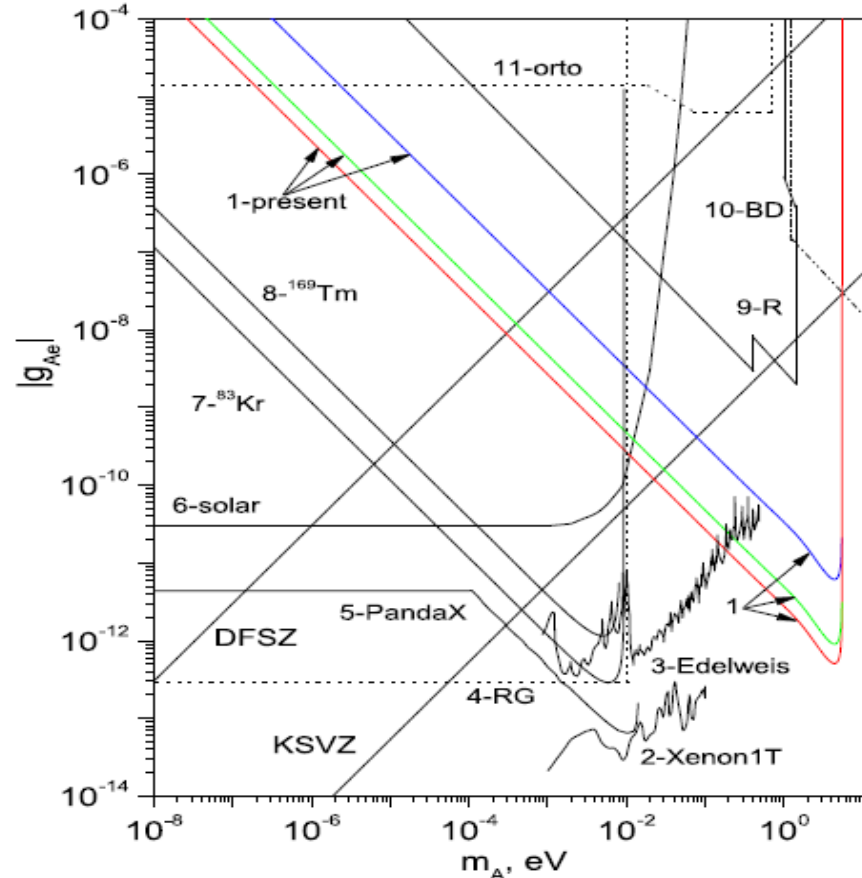
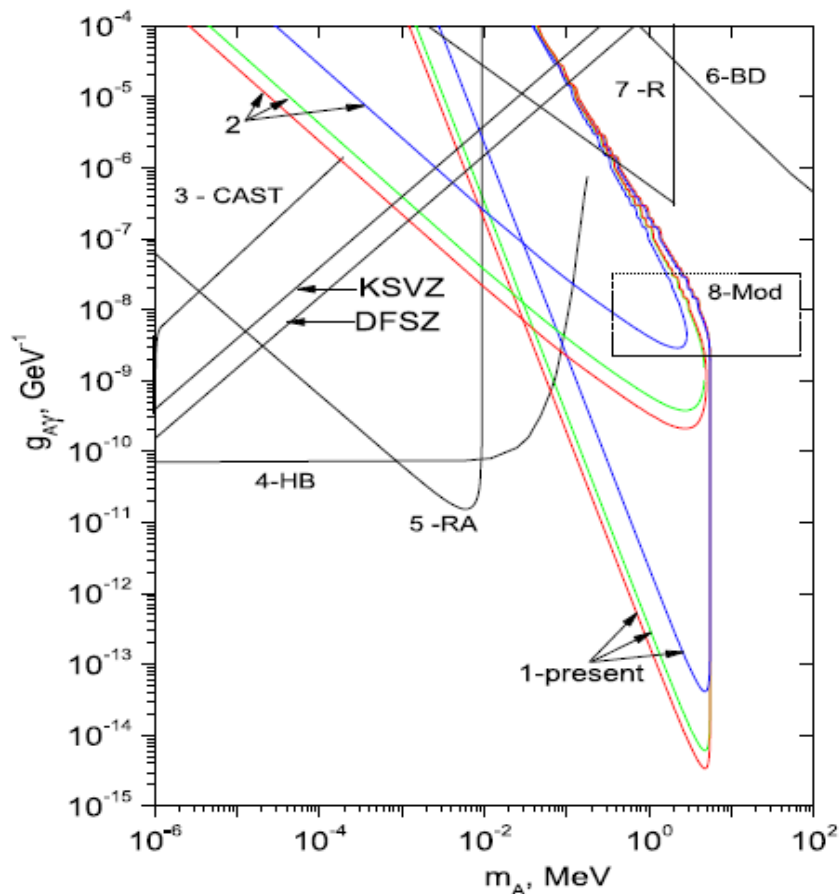
<sup>a</sup> e-mail: [derbin\\_av@npni.nrcki.ru](mailto:derbin_av@npni.nrcki.ru) (corresponding author)

1.  $A \rightarrow 2\gamma$
2.  $A + Z \rightarrow \gamma + Z$ ,  $g_{A\gamma}$
3.  $A + e \rightarrow e + \gamma$
4.  $A + e + Z \rightarrow e + Z$ ,  $g_{Ae}$



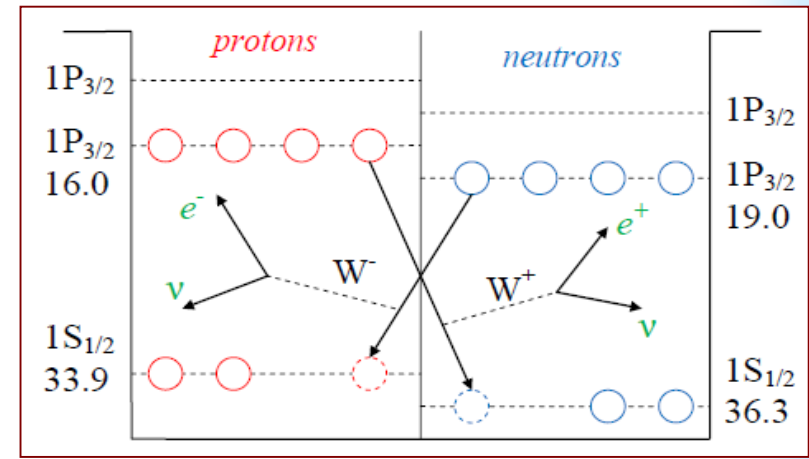
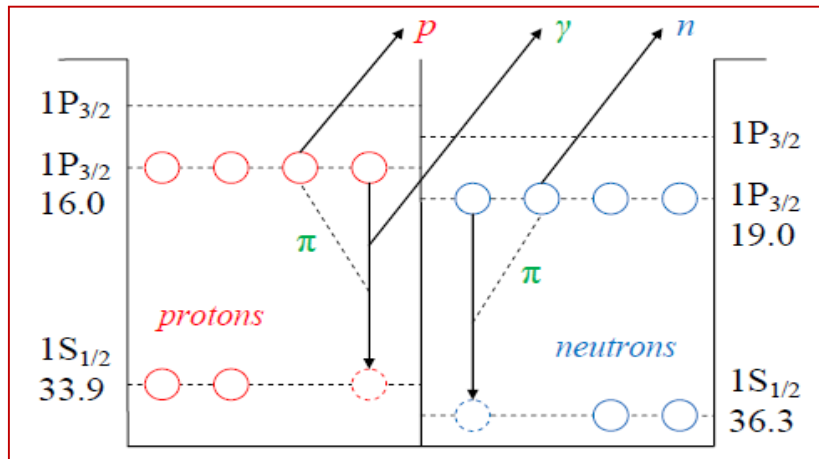
Проведен поиск сигналов реакций с участием аксиона на основе данных детектора Borexino. В результате анализа получены новые ограничения на константы связи аксиона с электроном и нуклонами и константы связи аксиона с фотонами и нуклонами:  $|g_{Ae}g_{AN}^3| < 1.9 \times 10^{-13}$  и  $|g_{A\gamma}g_{AN}^3| < 2.3 \times 10^{-11} \text{ GeV}^{-1}$ , все для 90% у.д..

# Ограничения на константы связи аксиона $g_{A\gamma}$ и $g_{Ae}$ и $m_A$



Поиск аксионов и ALPs, образующихся в реакции  $p+d \rightarrow 3\text{He}+A$  (5,5 МэВ), был проведен с использованием полного набора данных детектора *Wogehino* (3995 дней измерений). Были рассмотрены следующие процессы взаимодействия: распад аксиона на два фотона ( $A \rightarrow 2\gamma$ ), обратная конверсия Примакова ( $A+Z \rightarrow \gamma+Z$ ), комптоновская конверсия аксионов ( $A+e \rightarrow e+\gamma$ ) и аксиоэлектрический эффект ( $A+e+Z \rightarrow e+Z$ ). Получены модельно-независимые ограничения на произведения констант связи  $g_{A\gamma}$ ,  $g_{Ae}$  и  $g_{AN}^3$ :  $|g_{A\gamma} \times g_{AN}^3| \leq 2,3 \times 10^{-11} \text{ ГэВ}^{-1}$  и  $|g_{Ae} \times g_{AN}^3| \leq 1,9 \times 10^{-13}$  при  $m_A < 1 \text{ МэВ}$  (90% у.д.), которые приводят к ограничениям на произведения  $|g_{A\gamma} \times m_A|$  и  $|g_{Ae} \times m_A|$  для KSVZ- и DFSZ- моделей аксиона. Исключены новые большие области констант связи  $g_{A\gamma}$  и  $g_{Ae}$  и масс аксионов  $m_A$ .

# Поиск переходов с нарушением принципа Паули в $^{12}\text{C}$



Письма в ЖТФ, 2026, том 52, вып. 4

26 февраля

02

## Новые ограничения на время жизни $^{12}\text{C}$ по отношению к ядерным переходам с нарушением принципа Паули на основе данных детектора Борексино

© А.В. Дербин, И.С. Драчнев, И.С. Ломская, В.Н. Муратова, Н.В. Ниязова, Д.А. Семенов, Е.В. Унжаков

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова НИЦ „Курчатовский институт“,  
Гатчина, Ленинградская обл., Россия  
E-mail: drachnev\_is@npi.nrcki.ru

$$^{12}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}^* + \gamma (16.4 \text{ MeV}) : \tau \geq 9.7 \cdot 10^{31} \text{ years,}$$

# Наши планы в коллаб. Борексино и новые задачи

1. Получение заключительных данных по солнечным нейтрино и гео-нейтрино (14.5 лет)

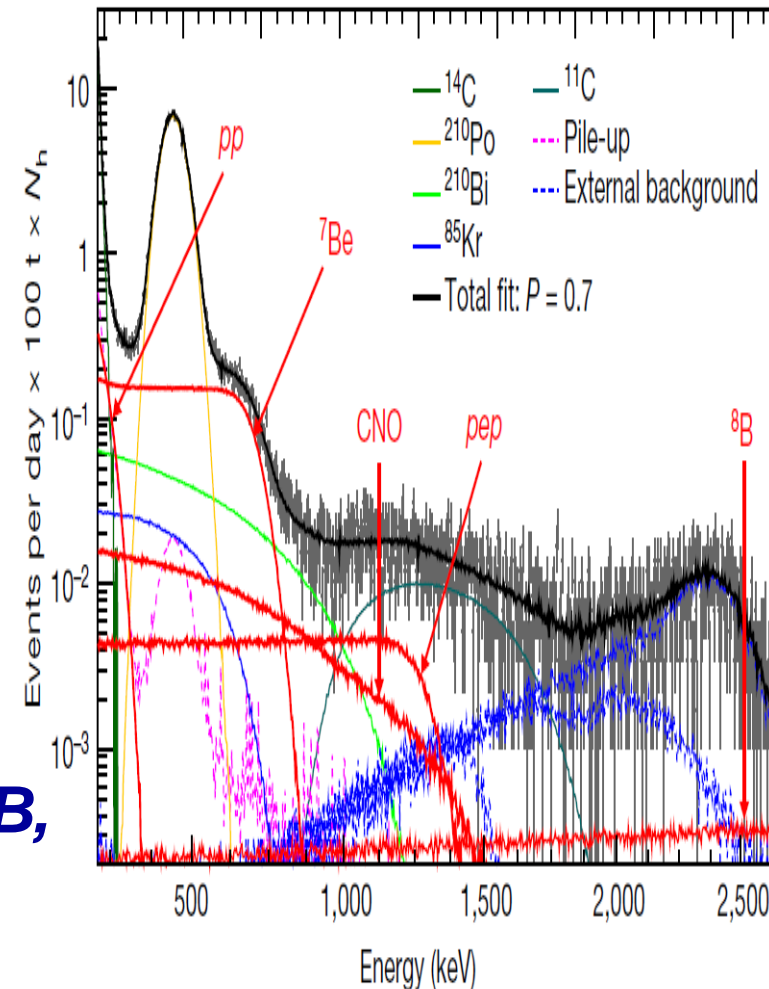
2. Поиск редких процессов, магнитный момент нейтрино, NSI, нарушение ПП, аксионы, тяжелое стерильное нейтрино, распады с  $\Delta B = \pm 1, 2, 3$

3. Корреляции с  $\gamma$ -всплесками, солнечными вспышками, GW, FRB, сигналами IceCube и Baikal-GVD

4. Бустерная темная материя

5. Поиск двойного бета-распада (LEGEND  $^{76}\text{Ge}$ )

6. DARWIN -DARk matter WImp search with liquid xenon



# Спектр нейтрино из $\beta$ -спектра $^{144}\text{Pr}$

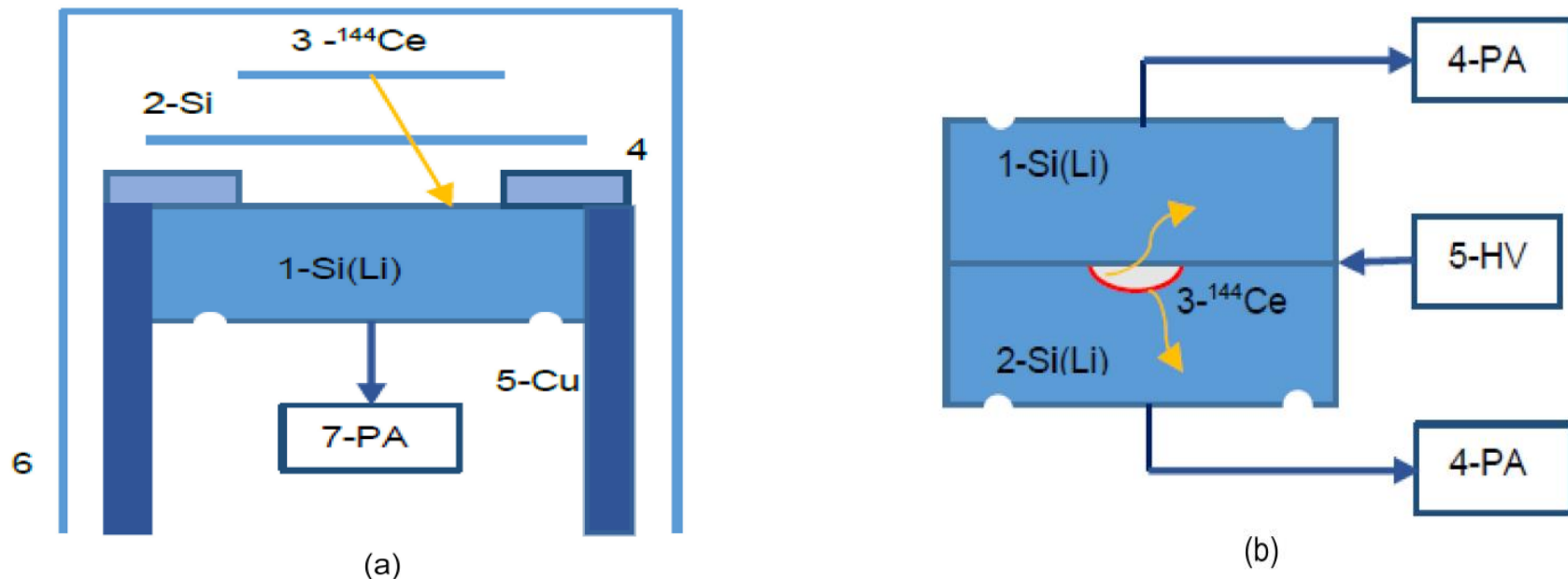
PHYSICAL REVIEW D **112**, 112008 (2025)

Наиболее перспективный искусственный источник нейтрино для ОБР (Borexino\_SOX)

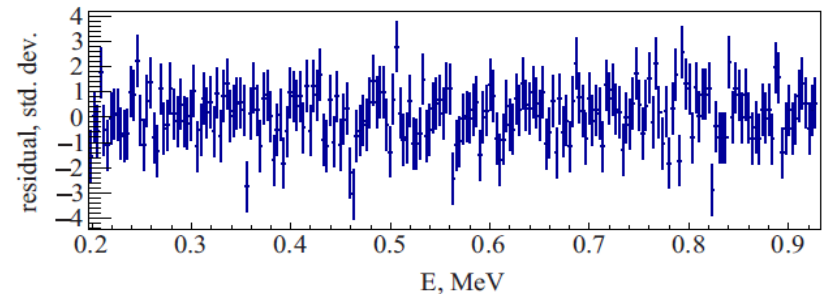
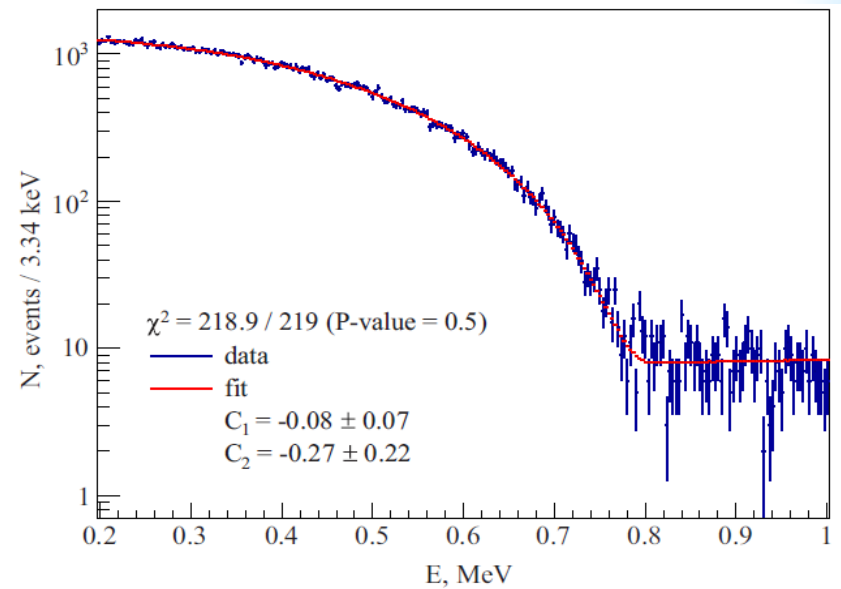
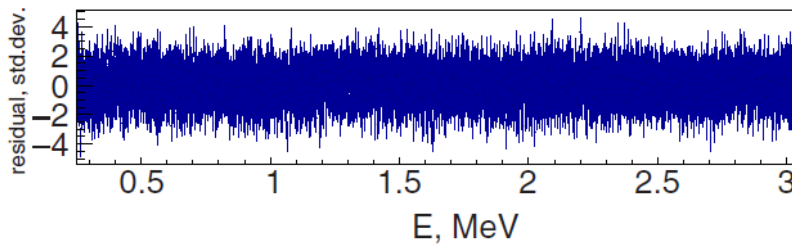
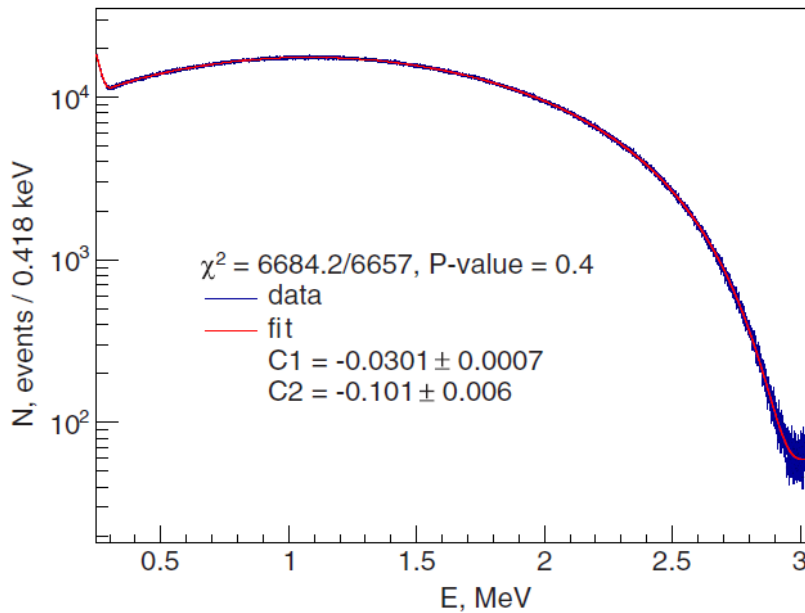
## Electron-antineutrino spectrum from precision measurements of $^{144}\text{Pr}$ -decay

A. V. Derbin<sup>1</sup>, I. S. Drachnev<sup>1</sup>, D. V. Ivanov<sup>1</sup>, I. M. Kotina<sup>1</sup>, V. N. Muratova<sup>1</sup>, N. V. Niyazova<sup>1</sup>, D. A. Semenov<sup>1</sup>, M. V. Trushin<sup>1</sup>, and E. V. Unzhakov<sup>1</sup>

*St. Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute, 188350 Gatchina, Russia*



# $\beta$ -спектры источника $^{144}\text{Ce} - ^{144}\text{Pr}$

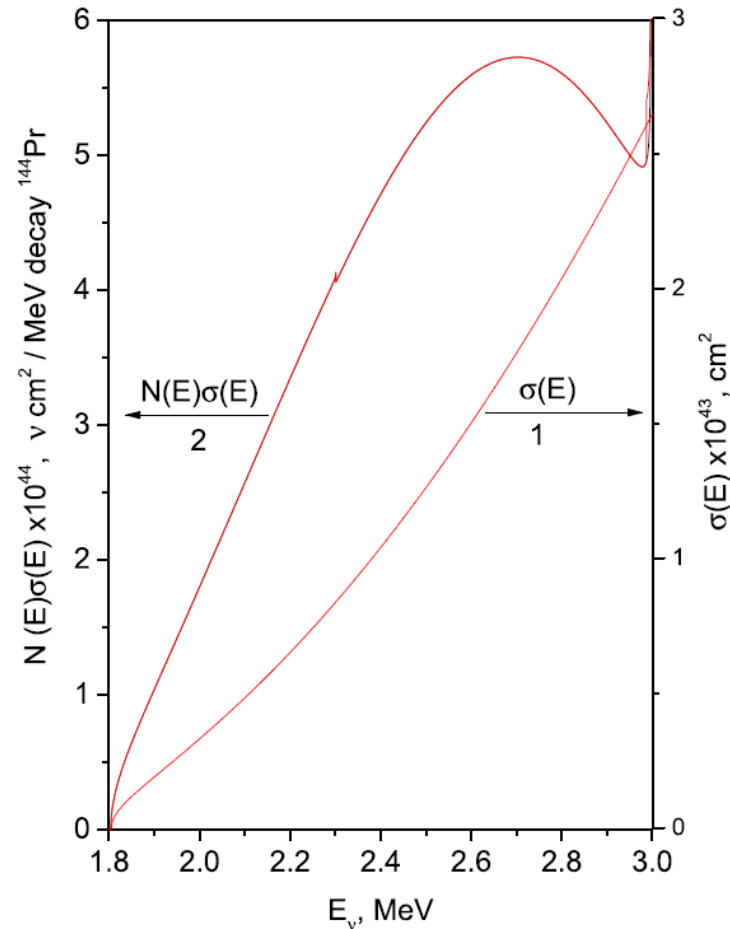
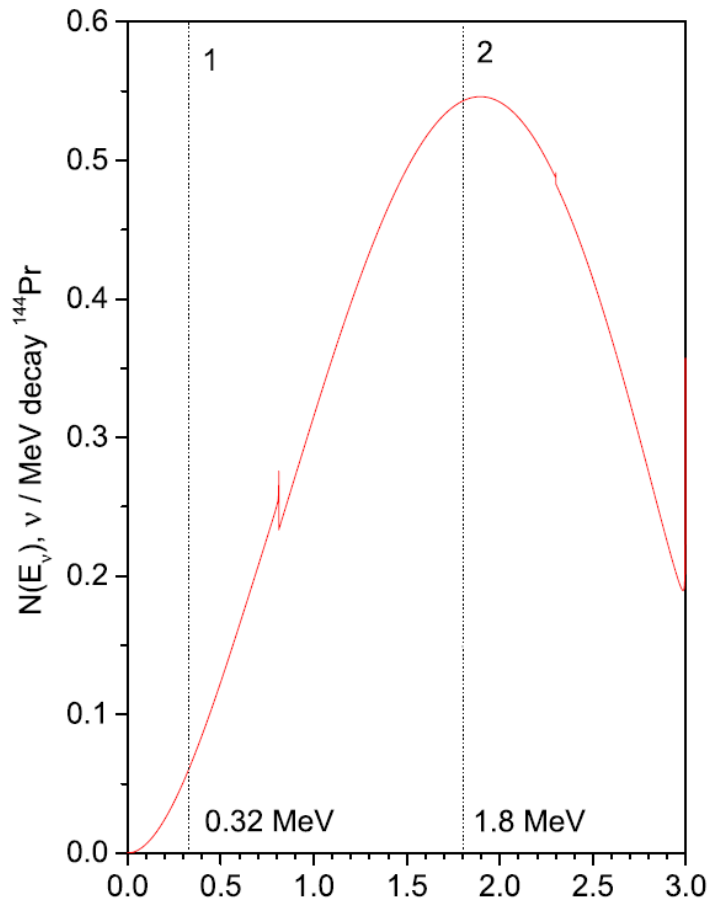


$$S(W)dW = KpW(W - W_0)^2F(Z, W) \cdot$$

$$\cdot L_0(Z, W)S(Z, W)G_\beta(Z, W)C(Z, W)dW$$

$$C(W) = 1 + (-0.0301 \pm 0.0007)W + (-0.101 \pm 0.006)W^{-1}$$

# Спектр нейтрино $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$ и сечение ОБР



$$\sigma_{144Pr} = \int_{E_{thr}}^{E_0} \sigma(E_\nu) N(E_\nu) dE_\nu$$

$$(4.7344 \pm 0.0006_{\text{stat}} \pm 0.013_{\text{syst}}) \times 10^{-44} \text{ cm}^2 \text{ decay}^{-1}$$

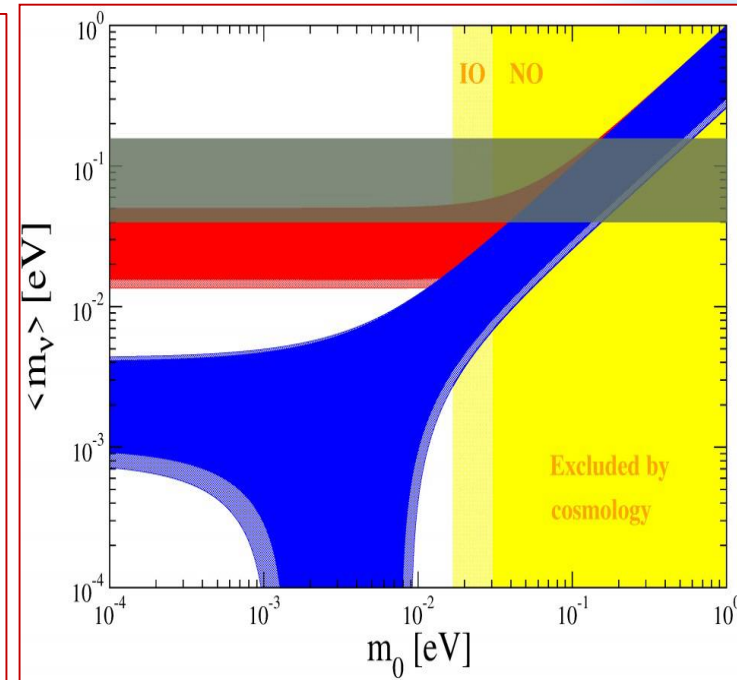
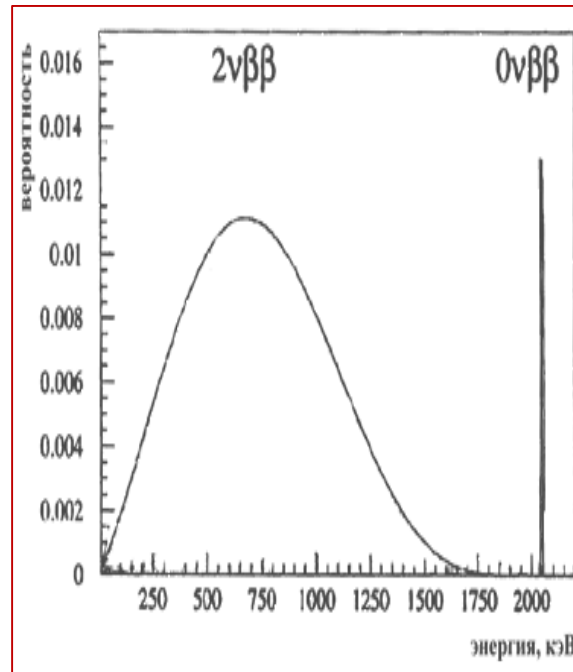
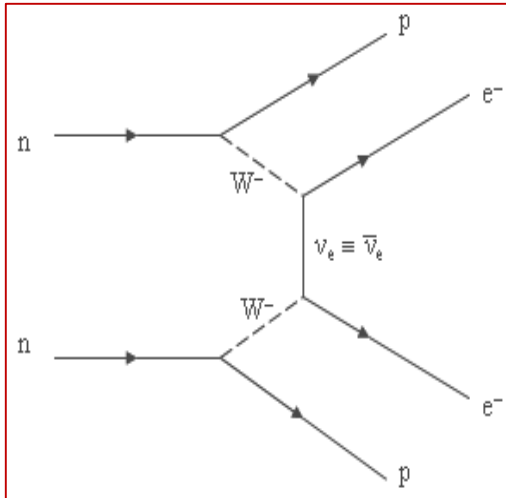
# Двойной безнейтринный $\beta$ -распад ( $2\beta 0\nu$ )

CMB+DESI  $\Sigma m\nu < 64$  мэВ

Katrin  $< 450$  мэВ

Осцил. NO  $0, 8$  мэВ,  $50$  мэВ

$2\beta 0\nu < 28 - 122$  мэВ

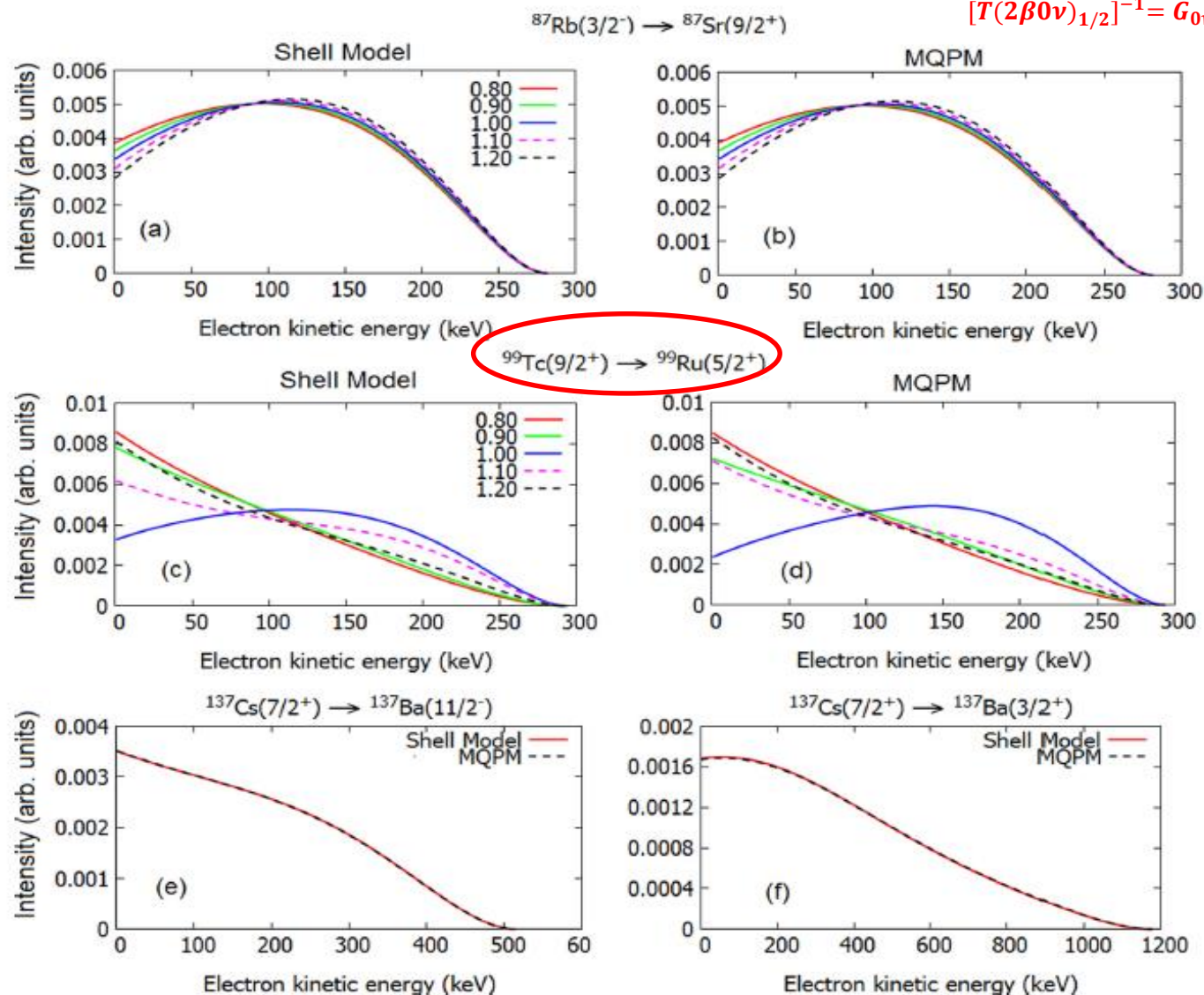


$$[T(2\beta 0\nu)_{1/2}]^{-1} = G_{0\nu} (g_A^{eff})^4 |M_{0\nu}|^2 \left( \frac{m_\nu^{eff}}{m_e} \right)^2$$

$G_{0\nu}$  – фазовый объем,  $g_A^{eff}$  – эффективная аксиально-векторная константа связи,  $M_{0\nu}$  – ядерный матричный элемент,  $m_\nu^{eff}$  – эффективная майорановская масса нейтрино.

1. Природа нейтрино.
2. Массы нейтрино, их иерархия, углы смешивания
3. CP – несохранение,
4. Магнитный момент, заряд
5. Стерильные состояния

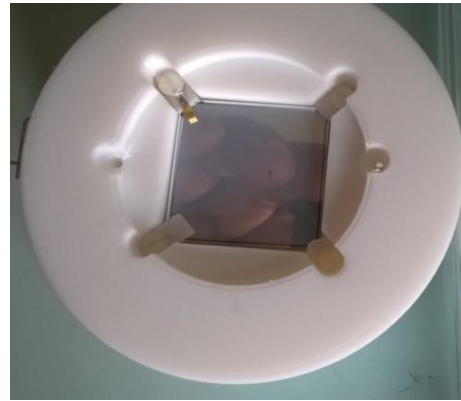
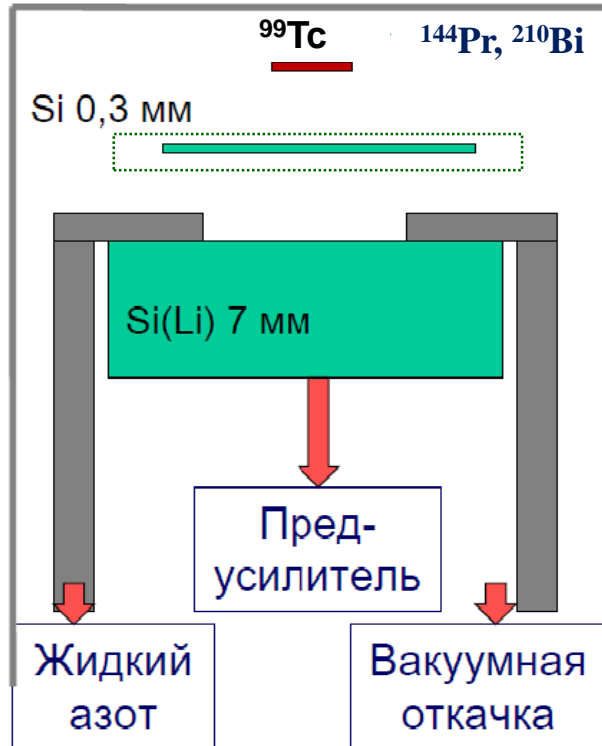
# Измерение $\beta$ -спектра $^{99}\text{Tc}$ для $2\beta 0\nu$ -распада



$$[T(2\beta 0\nu)_{1/2}]^{-1} = G_{0\nu} (g_A^{eff})^4 |M_{0\nu}|^2 \left( \frac{m_\nu^{eff}}{m_e} \right)^2$$

$G_{0\nu}$  – фазовый объем,  
 $g_A^{eff}$  – эффективная аксиально-векторная константа связи,  
 $M_{0\nu}$  – ядерный матричный элемент,  
 $m_\nu^{eff}$  – эффективная майорановская масса нейтрино.

# Бета-спектрометр «мишень-детектор»



Продолжены работы по созданию **бета-спектрометра**, состоящего из массива  $\text{Si(Li)}$ -детектора полного поглощения с тонкими двухсторонними окнами и пролетных  $\text{Si}$ -детектора, который позволяет эффективно разделять  $\beta$ -излучение ядер от сопутствующего рентгеновского и  $\gamma$ -излучения. Спектрометр может использоваться для прецизионного измерения формы  $\beta$ -спектров различных радиоактивных ядер, в частности для измерения  $\beta$ -спектров осколков деления для определения спектра реакторных нейтрино.

# Поиск частиц темной материи в 2025 г.

1. Подготовка эксперимента по рассеянию **WIMPs (N1)** на ядрах **Ar** и **электронах** в экспериментах **DARKSIDE** (входим в группы *Materials, Analysis, Calibration*) и [DEAP (3600 кг LAr детектор в SNO, ПИЯФ – 5.5 МэВ аксионы)]

1.1 Поиск возбуждения ядерного уровня  $^{83}\text{Kr}$  частицами темной материи (Письма ЖТФ).

2. Поиск солнечных и реликтовых **аксионов (N2)**

2.1 На полном наборе данных детектора *Borexino* проведен поиск 5.5 МэВ аксионов. (*Eur. Phys. J. C 2025*). Получены новые данные о константах связи аксиона с фотонами, электронами и нуклонами и массе аксиона.

2.2 Совместно с сотрудниками ряда российских институтов (НГТУ, ИФМ, ИТМО, НЦФМ, ИЯИ, МГУ, МФТИ, ИПФ, РФЯЦ-ИЭФ) предложен проект (**CASH**) по поиску реликтовых аксионов с использованием детектора, регистрирующего отдельные фотоны. (*Phys. Rev. D 2025*).

2.3 Продолжены совместные работы с НГТУ (Н. Новгород) по созданию болометров на основе тулий содержащего граната  $\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  для регистрации резонансного поглощения солнечных аксионов с непрерывным спектром.

2.4 Участие в коллаборации **IA XO** – International Axion Observatory. Этап **baby-IA XO**. Заморожено с 2025. С MPI (Мюнхен) по  $\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$  с 2023.

# Возбуждение ядерного уровня $^{83}\text{Kr}$ частицами ТМ

Письма в ЖТФ, 2025, том 51, вып. 24

26 декабря

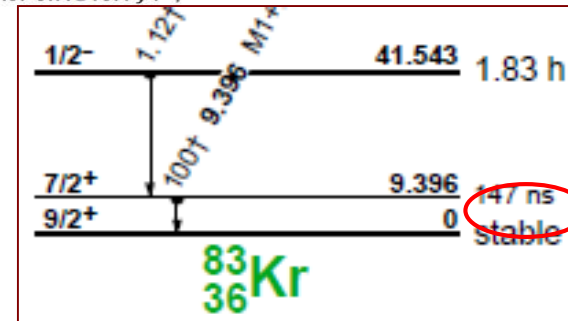
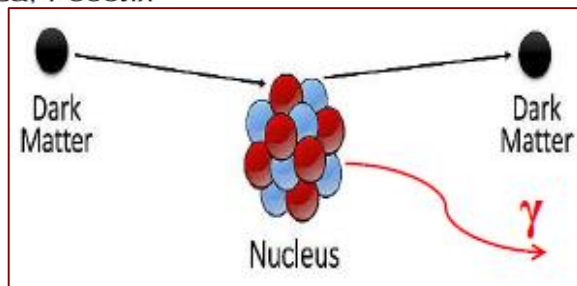
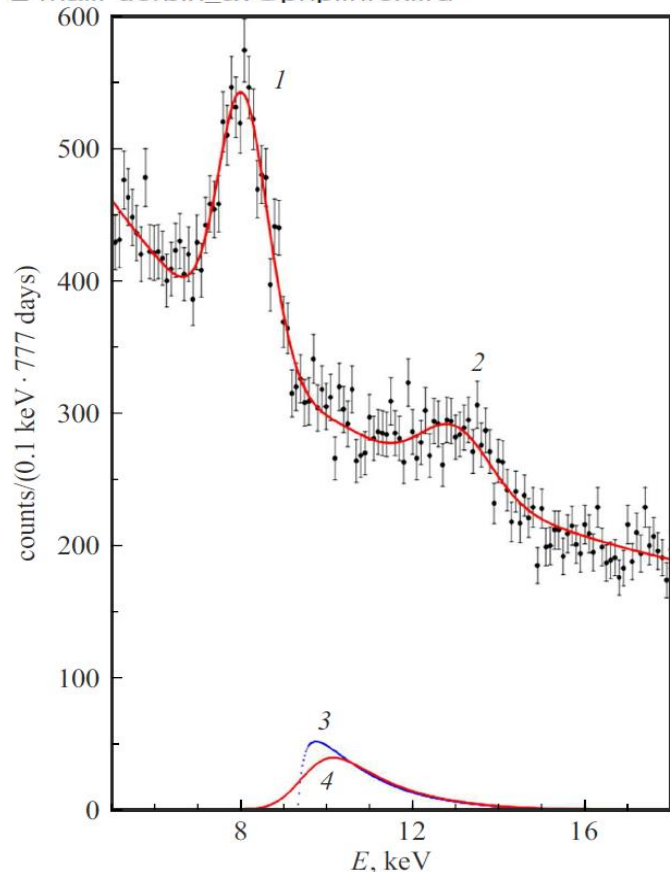
## Поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах $^{83}\text{Kr}$ с возбуждением низколежащего ядерного уровня

© А.В. Дербин<sup>1</sup>, И.С. Драчнев<sup>1</sup>, Ю.М. Гаврилюк<sup>2</sup>, А.М. Гангапшев<sup>2</sup>, В.В. Казалов<sup>2</sup>, В.В. Кузьминов<sup>2</sup>, В.Н. Муратова<sup>1</sup>, Д.А. Семенов<sup>1</sup>, Д.А. Текуева<sup>2</sup>, М.В. Трушин<sup>1</sup>, Е.В. Унжаков<sup>1</sup>, С.П. Якименко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина НИЦ „Курчатовский институт“, Гатчина, Ленинградская обл., Россия

<sup>2</sup> Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

E-mail: derbin\_av@pnpi.nrcki.ru

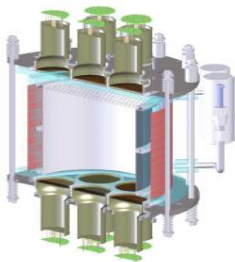


$$S(E_i) = \frac{\rho_W}{m_W} \sum_{k_{\min}}^{k_{\max}} \sigma_{ex}(E_i, v_k) f(v_k) v_k \Delta v_k,$$

Большинство экспериментов, таких как XENON, LZ, PandaX, CDMS, DarkSide и др., направлено на поиски упругого когерентного спин-независимого рассеяния WIMPs на ядрах. В то же время существуют возможности неупругого спин-зависимого рассеяния WIMPs с возбуждением низколежащих ядерных уровней. Несмотря на ожидаемое более низкое сечение такой реакции, очевидным преимуществом является возможность регистрации рентгеновских и  $\gamma$ -квантов, конверсионных и оже-электронов, возникающих при разрядке ядерного уровня с характерным спектром и задержанных относительно сигнала от ядра отдачи на время жизни уровня. установлен новый верхний предел на сечение возбуждения ядерного уровня, который для частиц массой  $20\text{GeV}$  составляет  $\sigma_{SD} \leq 3.4 \times 10^{-35} \text{cm}^2$  для 90% у.д.

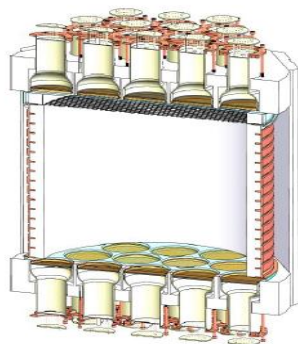
# Двухфазный детектор DarkSide -10-50-20K

2012



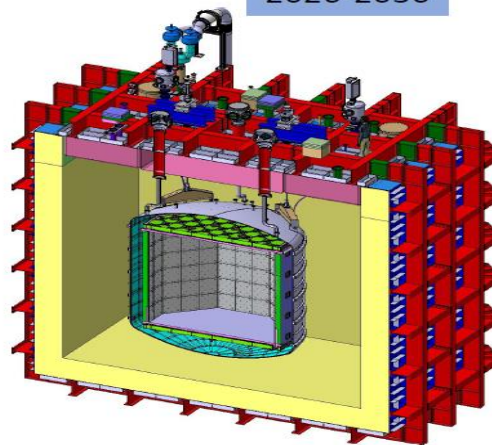
DarkSide-10

2013-2018



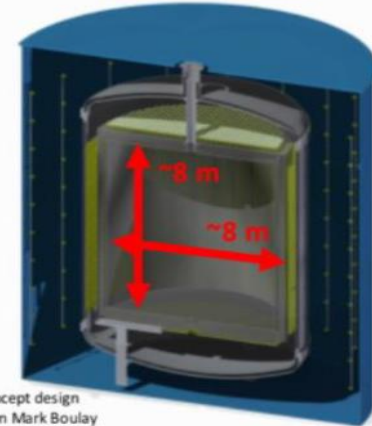
DarkSide-50

2026-2036



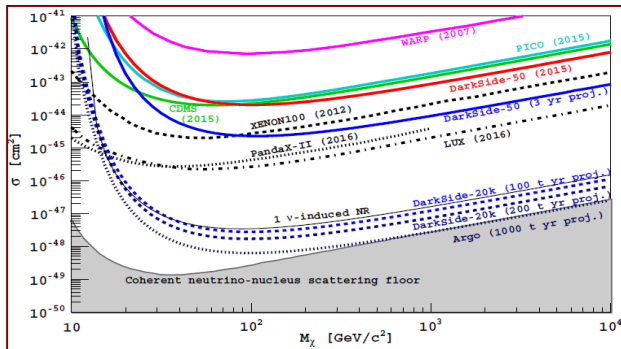
DarkSide-20k @LNGS

2030s-...



Concept design from Mark Boulay

Argo@SNOLAB



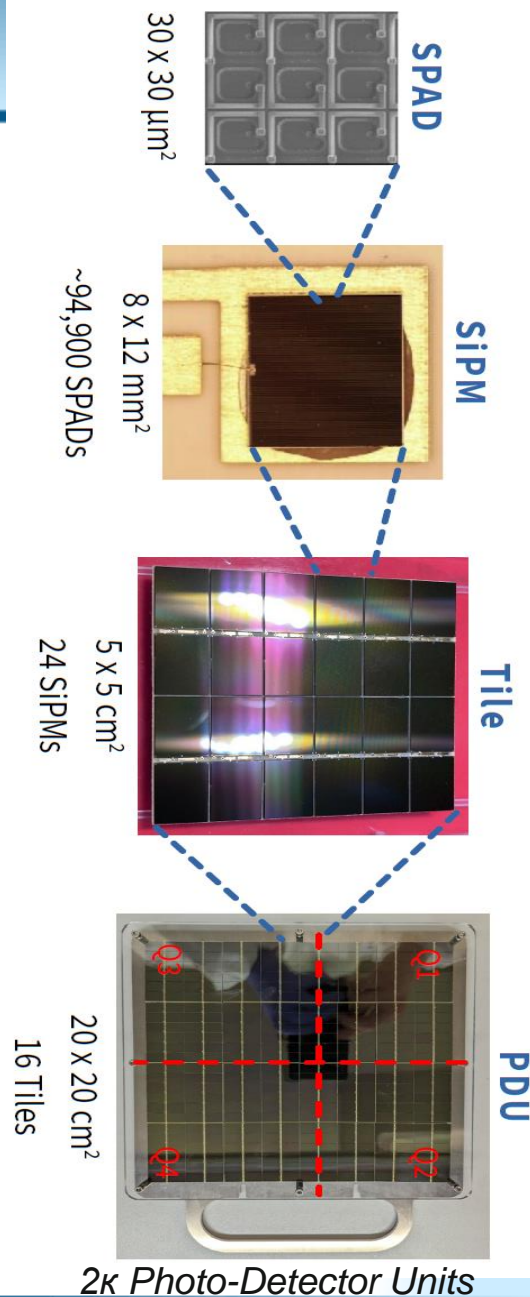
ПИАФ участвует в коллаборации DS с момента образования. DarkSide 20K состоит из акриловой полости, заполненной 50 т низко-радиоактивного аргона (без  $^{39}\text{Ar}$ ). Сигнал считывается  $10.5 \text{ m}^2 + 10.5 \text{ m}^2$  массивом SiPM. Внешнее активное veto на основе атмосферного аргона (300 т) имеет слой акрила допированного Gd. Установка монтируется в зале С лаборатории Гран Сассо. Сборка началась в 2022 г, начало измерений 2026 г. ARGO будет содержать 360 т UAr и располагаться в SNOLab. Входим в группы Materials (ICP MS), Analysis (A.E.E), Calibration ( $^{252}\text{Cf} + \text{Si}(\text{Li})$ ). ArDM, DarkSide-50, DEAP-3600 и MiniCLEAN  $\Rightarrow$  Global Argon Dark Matter collaboration начиная с DS-20k. Проблема  $^{39}\text{Ar}$  (269 лет) решается Urania (330 кг/сут, США) и Aria (1 т/сут, Сардиния).



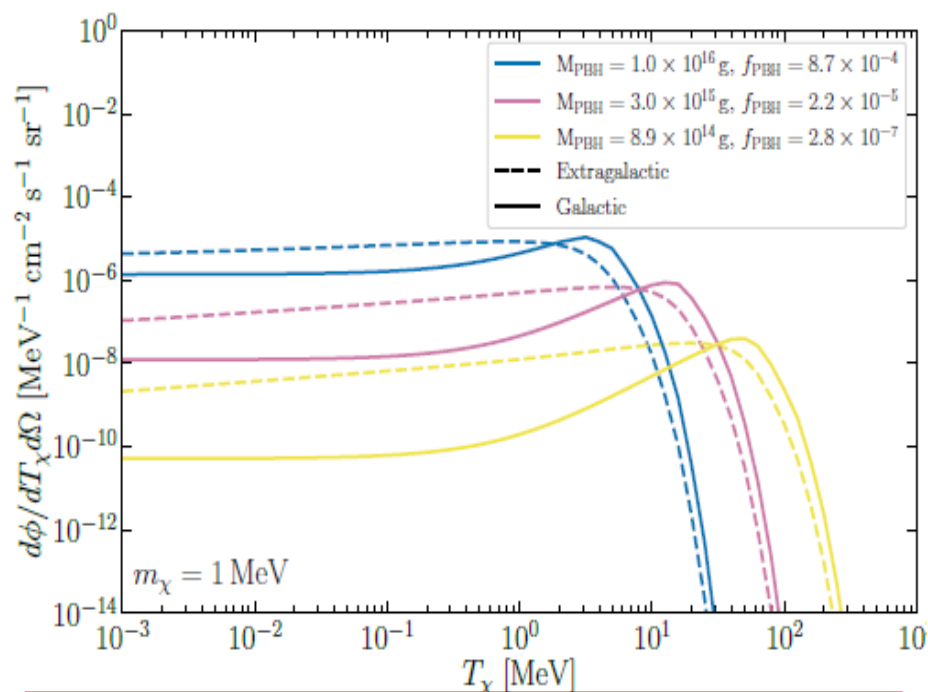
## Production, quality assurance and quality control of the SiPM Tiles for the DarkSide-20k Time Projection Chamber

DarkSide-20k Collaboration\*

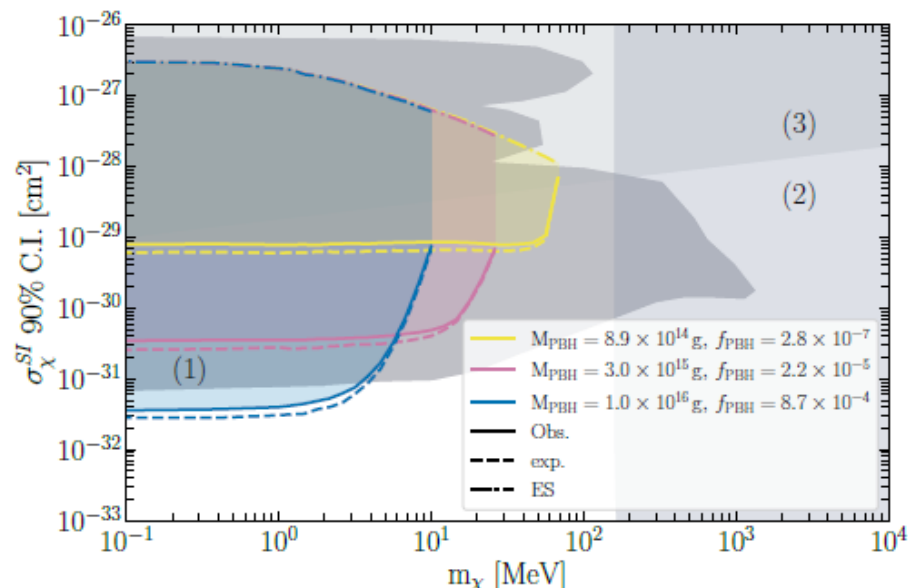
F. Acerbi<sup>1</sup>, P. Adhikari<sup>2</sup>, P. Agnes<sup>3,4</sup>, I. Ahmad<sup>5</sup>, S. Albergo<sup>6,7</sup>, I. F. Albuquerque<sup>8</sup>, T. Alexander<sup>9</sup>, A. K. Alton<sup>10</sup>, P. Amaudruz<sup>11</sup>, M. Angiolilli<sup>3,4</sup>, E. Aprile<sup>12</sup>, M. Atzori Corona<sup>13,14</sup>, D. J. Auty<sup>15</sup>, M. Ave<sup>3</sup>, I. C. Avetisov<sup>16</sup>, O. Azzolini<sup>17</sup>, H. O. Back<sup>9</sup>, Z. Balmforth<sup>75</sup>, A. Barrado Olmedo<sup>20</sup>, P. Barrillon<sup>21</sup>, G. Battignani<sup>22,23</sup>, P. Bhowmick<sup>24</sup>, M. Bloem<sup>88</sup>, S. Blua<sup>25,26</sup>, V. Bocci<sup>27</sup>, W. Bonivento<sup>13</sup>, B. Bottino<sup>28,29</sup>, M. G. Boulay<sup>2</sup>, T. Braun<sup>24</sup>, A. Buchowicz<sup>32</sup>, S. Bussino<sup>33,89</sup>, J. Busto<sup>21</sup>, M. Cadeddu<sup>13</sup>, M. Cadoni<sup>13,14</sup>, R. Calabrese<sup>34,30</sup>, V. Camillo<sup>35</sup>, A. Caminata<sup>29</sup>, N. Canci<sup>34</sup>, M. Caravati<sup>3,4</sup>, M. Cárdenas-Montes<sup>20</sup>, N. Cargioli<sup>13,14</sup>, M. Carlini<sup>4</sup>, A. Castellani<sup>30,31</sup>, P. Cavalcante<sup>4</sup>, S. Cebrian<sup>37</sup>, S. Chashin<sup>38</sup>, A. Chepurinov<sup>38</sup>, S. Choudhary<sup>5</sup>, L. Cifarelli<sup>39,40</sup>, B. Cleveland<sup>41,42</sup>, Y. Coadou<sup>21</sup>, V. Cocco<sup>13</sup>, D. Colaiuda<sup>4,43</sup>, E. Conde Vilda<sup>20</sup>, L. Consiglio<sup>4</sup>, A. F. V. Cortez<sup>5</sup>, B. S. Costa<sup>8</sup>, M. Czubak<sup>44</sup>, M. D'Aniello<sup>34,45</sup>, S. D'Auria<sup>31,46</sup>, M. D. Da Rocha Rolo<sup>25</sup>, A. Dainty<sup>86</sup>, G. Darbo<sup>29</sup>, S. Davini<sup>29</sup>, R. de Asmundis<sup>34</sup>, S. De Cecco<sup>27,47</sup>, G. Dellacasa<sup>25</sup>, A. V. Derbin<sup>49</sup>, A. Devoto<sup>13,14</sup>, L. Di Noto<sup>28,29</sup>, P. Di Stefano<sup>51</sup>, L. K. Dias<sup>8</sup>, D. Dfaz Mairena<sup>20</sup>, C. Dionisi<sup>27,47</sup>, G. Dolganov<sup>53,73</sup>, F. Dordei<sup>13</sup>, V. Dronik<sup>54</sup>, F. Dylon<sup>55</sup>, A. Elersich<sup>55</sup>, E. Ellingwood<sup>51</sup>, T. Erjavec<sup>55</sup>, N. Fearon<sup>24</sup>, M. Fernandez Diaz<sup>20</sup>, L. Ferro<sup>13,14</sup>, A. Ficorella<sup>1</sup>, G. Fiorillo<sup>34,50</sup>, D. Fleming<sup>55</sup>, P. Franchini<sup>24</sup>, D. Franco<sup>57</sup>, H. Frandini Gatti<sup>58</sup>, E. Frolov<sup>59</sup>, F. Gabriele<sup>13</sup>, D. Gahan<sup>13,14</sup>, C. Galbiati<sup>52</sup>, G. Galiński<sup>32</sup>, G. Gallina<sup>52</sup>, M. Garbini<sup>39,60</sup>, P. Garcia Abia<sup>20</sup>, A. Gawdzik<sup>61</sup>, A. Gendotti<sup>62</sup>, G. K. Giovanetti<sup>63</sup>, V. Goicoechea Casanueva<sup>64</sup>, A. Gola<sup>1</sup>, L. Grandi<sup>65</sup>, G. Grauso<sup>34</sup>, G. Grilli di Cortona<sup>4</sup>, A. Grobov<sup>53</sup>, M. Gromov<sup>38</sup>, M. Gulino<sup>66,87</sup>, B. R. Hackett<sup>9</sup>, A. L. Hallin<sup>15</sup>, A. Hamez<sup>68</sup>, M. Haranczyk<sup>44</sup>, B. Harrop<sup>52</sup>, T. Hessel<sup>57</sup>, C. Hidalgo<sup>3</sup>, J. Hollingham<sup>86</sup>, S. Horikawa<sup>4,43</sup>, J. Hu<sup>15</sup>, F. Hubaut<sup>21</sup>, D. Huff<sup>69</sup>, T. Hugues<sup>51</sup>, E. V. Hungerford<sup>69</sup>, A. Ianni<sup>52</sup>, A. Ianni<sup>4</sup>, V. Ippolito<sup>27</sup>, A. Jamil<sup>52</sup>, C. Jillings<sup>41,42</sup>, R. Keloth<sup>35</sup>, N. Kemmerich<sup>8</sup>, A. Kemp<sup>88</sup>, M. Kimura<sup>5</sup>, A. Klenin<sup>54</sup>, K. Kondo<sup>4,43</sup>, G. Korga<sup>19</sup>, L. Kotsiopoulos<sup>68</sup>, S. Koulosousas<sup>19</sup>, A. Kubankin<sup>54</sup>, P. Kunze<sup>3,4</sup>, M. Kuss<sup>22</sup>, M. Kuźniak<sup>5</sup>, M. Kuzwa<sup>5</sup>, M. La Commara<sup>34,70</sup>, M. Lai<sup>71</sup>, E. Le Guirriec<sup>21</sup>, E. Leason<sup>24</sup>, A. Leoni<sup>4,43</sup>, L. Lidey<sup>9</sup>, J. Lipp<sup>86</sup>, M. Lissia<sup>13</sup>, L. Luzzi<sup>55</sup>, O. Lychagina<sup>72</sup>, O. Macfadyen<sup>19</sup>, I. Machts<sup>57</sup>, I. N. Machulin<sup>53,73</sup>, S. Manecki<sup>41,42</sup>, I. Manthos<sup>75</sup>, L. Mapelli<sup>52</sup>, A. Marasciulli<sup>4</sup>, S. M. Mari<sup>33,89</sup>, C. Mariani<sup>35</sup>, J. Maricic<sup>64</sup>, M. Martinez<sup>37</sup>, C. J. Martoff<sup>9,76</sup>, G. Matteucci<sup>34,50</sup>, K. Mavrokoridis<sup>58</sup>, A. B. McDonald<sup>51</sup>, S. Merzi<sup>1</sup>, A. Messina<sup>27,47</sup>, R. Milincic<sup>64</sup>, S. Minutoli<sup>29</sup>, A. Mitra<sup>77</sup>, J. Monroe<sup>24</sup>, E. Moretti<sup>1</sup>, M. Morrocchi<sup>22,23</sup>, A. Morsy<sup>79</sup>, T. Mroz<sup>44</sup>, V. N. Muratova<sup>49</sup>, M. Murra<sup>12</sup>, P. Musico<sup>29</sup>, R. Nania<sup>39</sup>, M. Nessi<sup>78</sup>, G. Nieradka<sup>5</sup>, K. Nikolopoulos<sup>75</sup>, E. Nikoloudaki<sup>57</sup>, I. Nikulin<sup>54</sup>, J. Nowak<sup>56</sup>, K. Olchanski<sup>11</sup>, A. Oleinik<sup>54</sup>, V. Oleynikov<sup>59</sup>, P. Organtini<sup>4,52</sup>, A. Ortiz de Solórzano<sup>37</sup>, A. Padmanabhan<sup>51</sup>, M. Pallavicini<sup>28,29</sup>, L. Pandola<sup>66</sup>, E. Pantic<sup>55</sup>, E. Paoloni<sup>22,23</sup>, D. Papi<sup>15</sup>, B. Park<sup>15</sup>, G. Pastuszak<sup>32</sup>, G. Paternoster<sup>1</sup>, R. Pavarani<sup>13,14</sup>, A. Peck<sup>71</sup>, K. Pelczar<sup>44</sup>, R. Perez<sup>8</sup>, V. Pesudo<sup>20</sup>, S. Piacentini<sup>3,4</sup>, N. Pino<sup>66</sup>, G. Plante<sup>12</sup>, A. Pocar<sup>79</sup>, S. Pordes<sup>35</sup>, P. Pralavorio<sup>21</sup>, E. Preosti<sup>52</sup>, D. Price<sup>61</sup>, M. Pronesti<sup>21</sup>, S. Puglia<sup>6,7</sup>, M. Queiroga Bazetto<sup>58</sup>, F. Raffaelli<sup>22</sup>, F. Ragusa<sup>31,46</sup>, Y. Ramachers<sup>77</sup>, A. Ramirez<sup>69</sup>, S. Ravinthiran<sup>58</sup>, M. Razeti<sup>13</sup>, A. L. Renshaw<sup>69</sup>, A. Repond<sup>71</sup>, M. Rescigno<sup>27</sup>, S. Resconi<sup>31</sup>, F. Retiere<sup>11</sup>, L. P. Rignanese<sup>39</sup>, A. Ritchie-Yates<sup>61</sup>, A. Rivetti<sup>25</sup>, A. Roberts<sup>58</sup>, C. Roberts<sup>61</sup>, G. Rogers<sup>74</sup>, L. Romero<sup>20</sup>, M. Rossi<sup>29</sup>, A. Rubbia<sup>62</sup>, D. Rudik<sup>34,50,73</sup>, J. Runge<sup>79</sup>, M. A. Sabia<sup>5,27,47</sup>, P. Salomone<sup>4,5</sup>, O. Samoylov<sup>72</sup>, S. Sanfilippo<sup>66</sup>, D. Santone<sup>24</sup>, R. Santorelli<sup>20</sup>, E. M. Santos<sup>8</sup>, I. Sargeant<sup>88</sup>, C. Savarese<sup>90</sup>, E. Scapparone<sup>39</sup>, F. G. Schuckman<sup>51</sup>, G. Scioli<sup>39,40</sup>, D. A. Semenov<sup>49</sup>, M. Sestu<sup>13,14</sup>, V. Shalamova<sup>71</sup>, S. Sharma Poudel<sup>69</sup>, A. Sheshukov<sup>72</sup>, M. Simeone<sup>34,80</sup>, P. Skensved<sup>51</sup>, M. D. Skorokhvatov<sup>53,73</sup>, O. Smirnov<sup>72</sup>, T. Smirnova<sup>71</sup>, B. Smith<sup>11</sup>, F. Spadoni<sup>9</sup>, M. Spangenberg<sup>77</sup>, A. Steri<sup>13,81</sup>, V. Stornelli<sup>4,43</sup>, S. Stracka<sup>22</sup>, A. Sung<sup>52</sup>, C. Sunny<sup>5</sup>, Y. Suvorov<sup>34,50,53</sup>, A. M. Szek<sup>68</sup>, O. Taborda<sup>3,4</sup>, R. Tartaglia<sup>4</sup>, A. Taylor<sup>58</sup>, J. Taylor<sup>58</sup>, G. Testera<sup>29</sup>, K. Thiemie<sup>64</sup>, A. Thompson<sup>19</sup>, S. Torres-Lara<sup>69</sup>, A. Tricomi<sup>6,7</sup>, S. Tullio<sup>13,14</sup>, E. V. Unzhakov<sup>49</sup>, M. Van Uffelen<sup>24</sup>, P. Ventura<sup>8</sup>, T. Viant<sup>62</sup>, S. Viel<sup>2</sup>, A. Vishneva<sup>72</sup>, R. B. M. Vogelaar<sup>35</sup>, J. Vosseveld<sup>58</sup>, B. Vyas<sup>2</sup>, M. Wada<sup>5</sup>, M. Walczak<sup>3,4</sup>, Y. Wang<sup>67,82</sup>, S. Westerdale<sup>71</sup>, L. Williams<sup>84</sup>, M. M. Wojcik<sup>85</sup>, M. Wojcik<sup>85</sup>, C. Yang<sup>67,82</sup>, J. Yin<sup>67,82</sup>, A. Zabihis<sup>5</sup>, P. Zakhary<sup>6,7</sup>, A. Zani<sup>31</sup>, Y. Zhang<sup>67</sup>, T. Zhu<sup>55</sup>, A. Zichichi<sup>39,40</sup>, G. Zuzel<sup>44</sup>, M. P. Zykova<sup>16</sup>



# DS50 - поиск частиц ТМ из первичных черных дыр



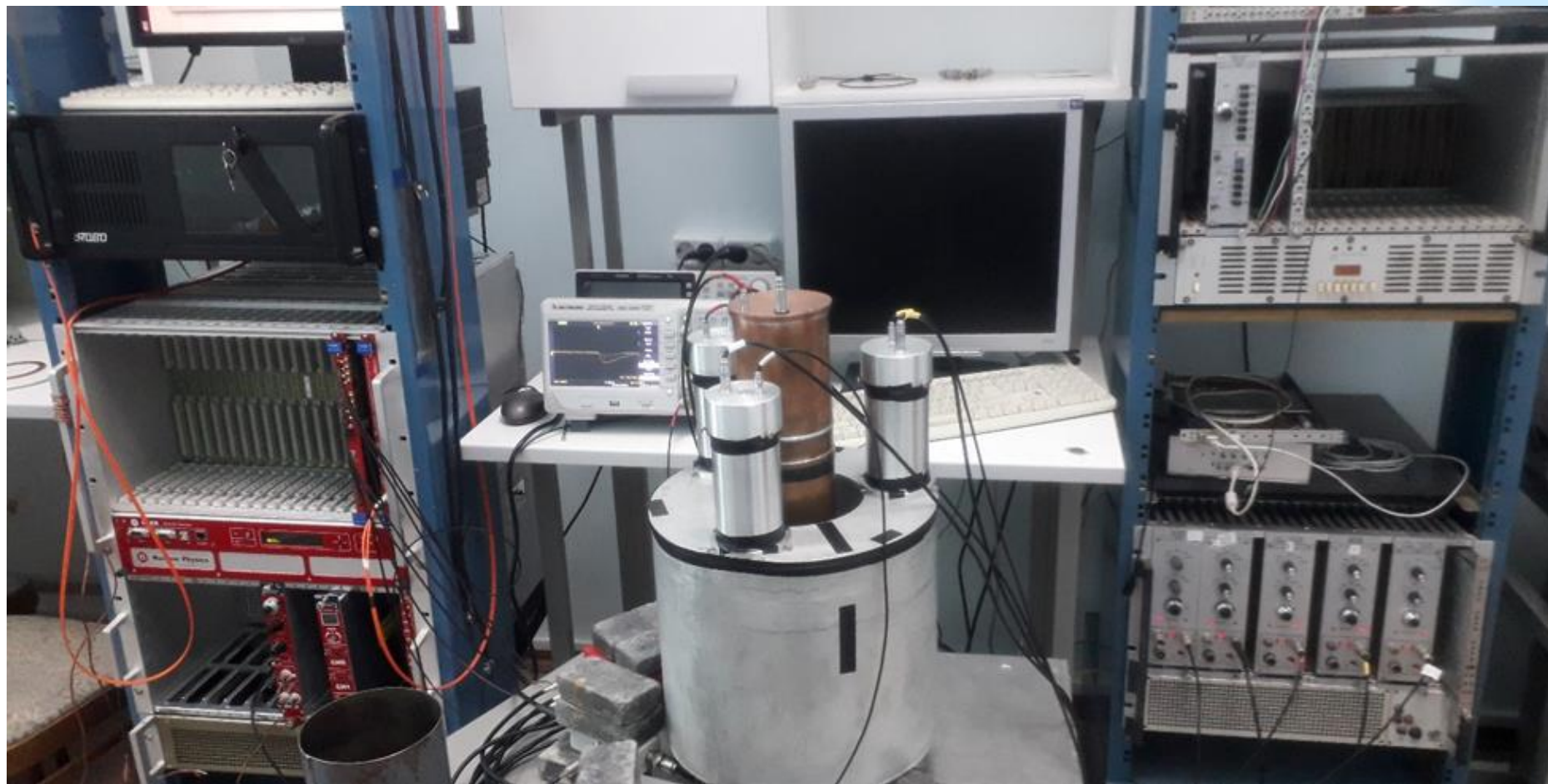
Диффузный дифференциальный поток темной материи от испаряющихся первичных черных дыр в зависимости от ее кинетической энергии. Сплошные линии показывают галактические компоненты, а пунктирные — внегалактические. Разными цветами обозначены различные массы и распространенность первичных черных дыр.



Исключенные области наблюдаемого (сплошные) и ожидаемого (пунктирные) на сечения темной материи  $\sigma_{\chi}^{SI}$  как функции массы темной материи для трех значений массы для DS-50. Для сравнения приведены ограничения на темную материю, полученные из (1) частиц темной материи, ускоренных космическими лучами, (2) из эксперимента CRESST и (3) из космологии.

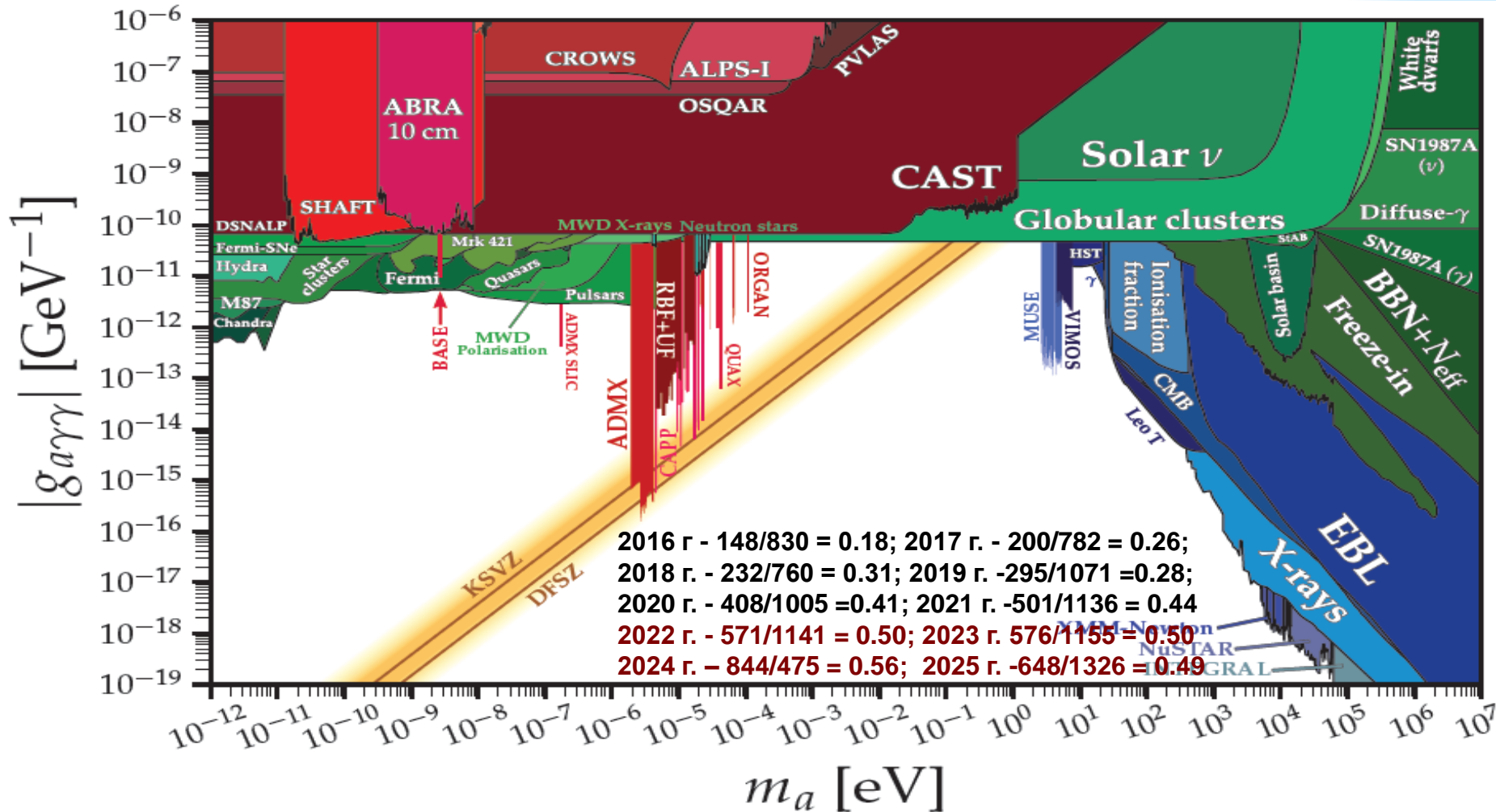
Гипотетические чёрные дыры, которая образовывалась не за счёт гравитационного коллапса крупной звезды, а в сверхплотной материи в момент начального расширения Вселенной.

## ***n-источник + Si-детектор для DS-20k и iDREAM (КАЭ)***



*Продолжены работы по подготовке Si-детекторов калибровочного источника нейтронов для **DarkSide-20k** и **iDREAM** (КИ, Калининская АЭС). Проводилось изучение рад. стойкости Si(Li)- и SiSB-детекторов при регистрации  $\alpha$ -частиц и осколков деления. Создана установка тройных ff-n- $\gamma$  совпадений.*

# Аксионы + аксионоподобные частицы ALPs
























**Аксионы:** CP-проблема + темная материя. **ALPs** – Axion like particles: Аномальная прозрачность + динамика звезд различных типов. Слово *axion* в названии статей, выложенных в *arXive* с 2022 г, встречается всего в 2.0 раза реже чем слово *neutrino*

# CASH -Cosmological Axion Sarov Haloscope

PHYSICAL REVIEW D 112, 035003 (2025)

## Search for dark-matter axions beyond the quantum limit: The cosmological axion Sarov haloscope proposal

Andrey L. Pankratov <sup>1,2,\*</sup> Pavel A. Belov <sup>3</sup> Eduard E. Boos <sup>4</sup> Alexander S. Chepurnov <sup>4</sup> Alexander V. Chiginev <sup>1,2</sup>  
Alexander V. Derbin <sup>5,6</sup> Ilya S. Drachnev <sup>5</sup> Lev V. Dudko <sup>4</sup> Dmitry S. Gorbunov <sup>7,8</sup> Maxim A. Gorlach <sup>3</sup>  
Vadim V. Ivanov<sup>1,2</sup> Leonid V. Kravchuk<sup>7</sup> Maxim V. Libanov <sup>7,8</sup> Michael M. Merkin <sup>4</sup> Valentina N. Muratova <sup>5</sup>  
Alexander E. Pukhov <sup>4</sup> Dmitry V. Salnikov <sup>7,9</sup> Petr S. Satunin <sup>7</sup> Dmitrii A. Semenov <sup>5</sup> Alexander M. Sergeev<sup>10,11</sup>  
Maksim I. Starostin <sup>9,12</sup> Igor I. Tkachev<sup>7</sup> Sergey V. Troitsky <sup>7,9</sup> Maxim V. Trushin <sup>5</sup> Evgenii V. Unzhakov<sup>5</sup>  
Maxim M. Vyalkov <sup>9,12,11,13</sup> and Arkady A. Yukhimchuk<sup>13</sup>

<sup>1</sup>*Nizhny Novgorod State Technical University n. a. R. E. Alekseev, Nizhny Novgorod 603155, Russia*

<sup>2</sup>*Institute for Physics of Microstructures of RAS, Nizhny Novgorod 603950, Russia*

<sup>3</sup>*School of Physics and Engineering, ITMO University, Saint Petersburg 197101, Russia*

<sup>4</sup>*D.V. Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia*

<sup>5</sup>*Petersburg Nuclear Physics Institute NRC KI, Gatchina 188300, Russia*

<sup>6</sup>*National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow 123182, Russia*

<sup>7</sup>*Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, 60th October Anniversary Prospect 7a, Moscow 117312, Russia*

<sup>8</sup>*Moscow Institute of Physics and Technology, 141700 Dolgoprudny, Russia*

<sup>9</sup>*Lomonosov Moscow State University, 1-2 Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia*

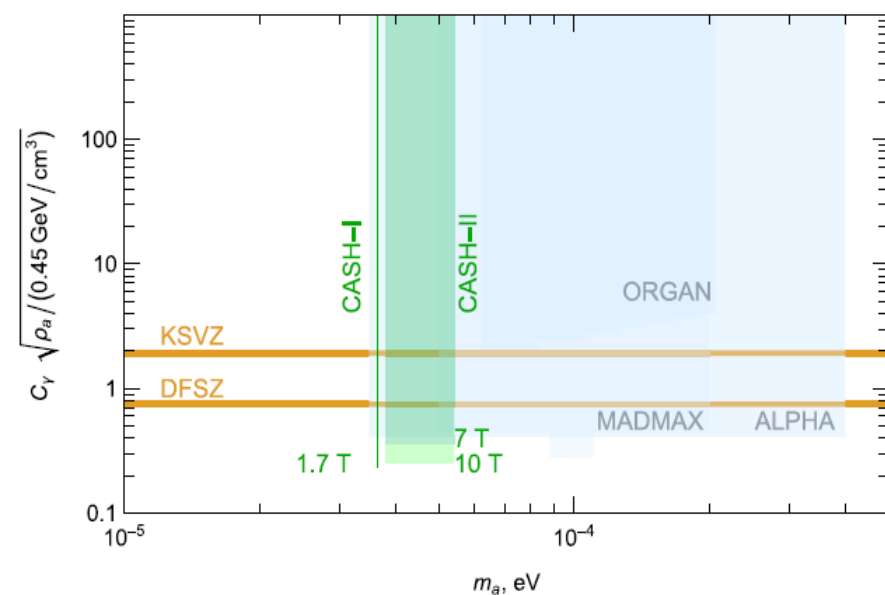
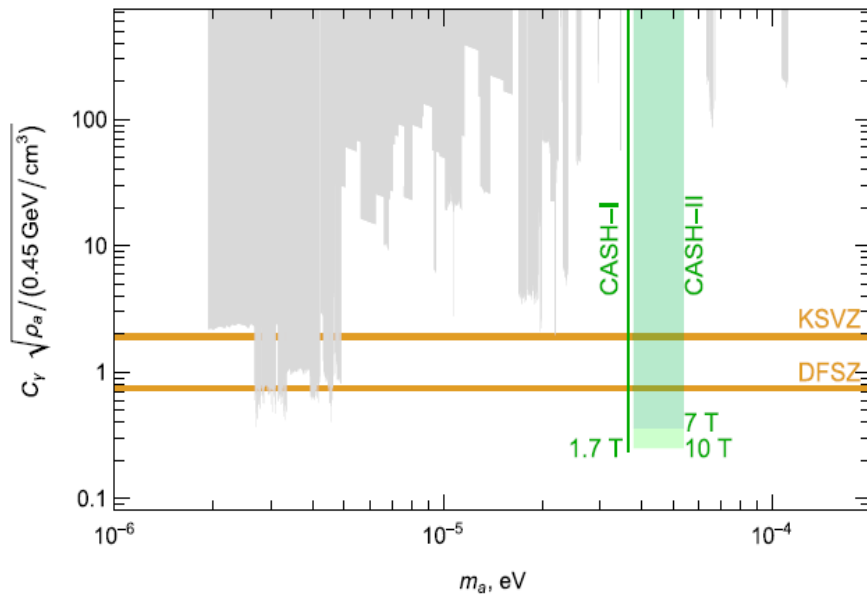
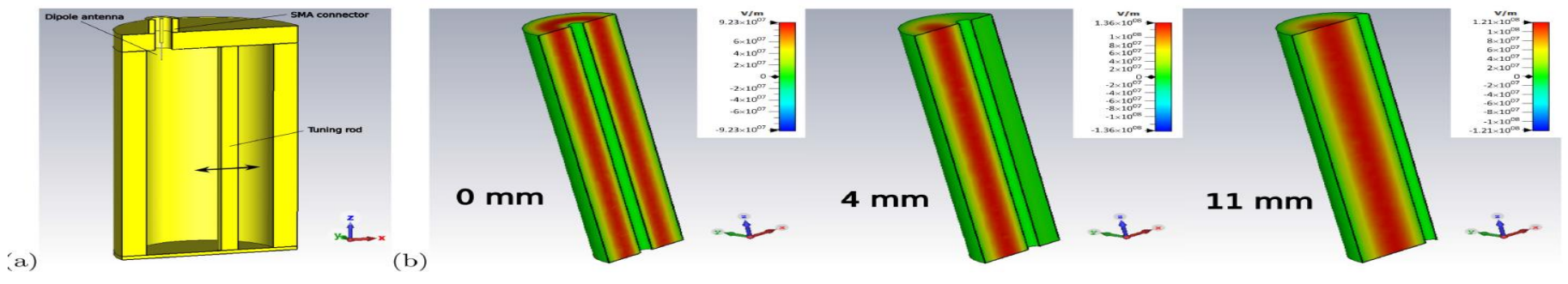
<sup>10</sup>*Gaponov-Grekhov Institute of Applied Physics of the Russian Academy of Sciences, Nizhny Novgorod 603950, Russia*

<sup>11</sup>*National Center for Physics and Mathematics, Building. 3, Parkovaya 1, Sarov 607182, Russia*

<sup>12</sup>*Branch of Lomonosov Moscow State University in Sarov, Sarov 607328, Russia*

<sup>13</sup>*Russian Federal Nuclear Center-All-Russian Scientific Research Institute of Experimental Physics, Sarov 607188, Russia*

# CASH -Cosmological Axion Sarov Haloscope



Планируемая чувствительность CASH-I, не перестраиваемый,  $10^6$  с измерений, 1,7 Тл) и CASH-II, перестраиваемый, 1 год, магнитное поле 7 или 10 Тл, предлагаемого эксперимента для константы связи аксион-фотон  $g_{A\gamma}$ , в сравнении с существующими и планируемыми результатами.

# Основные результаты работы в 2025 г.

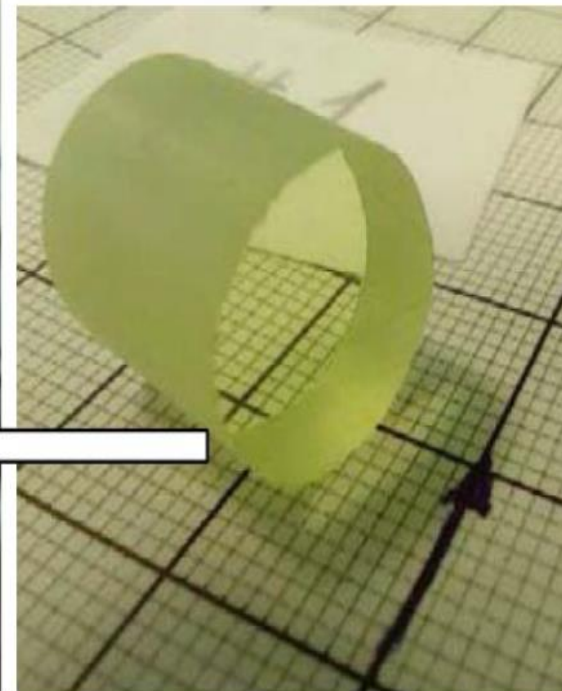
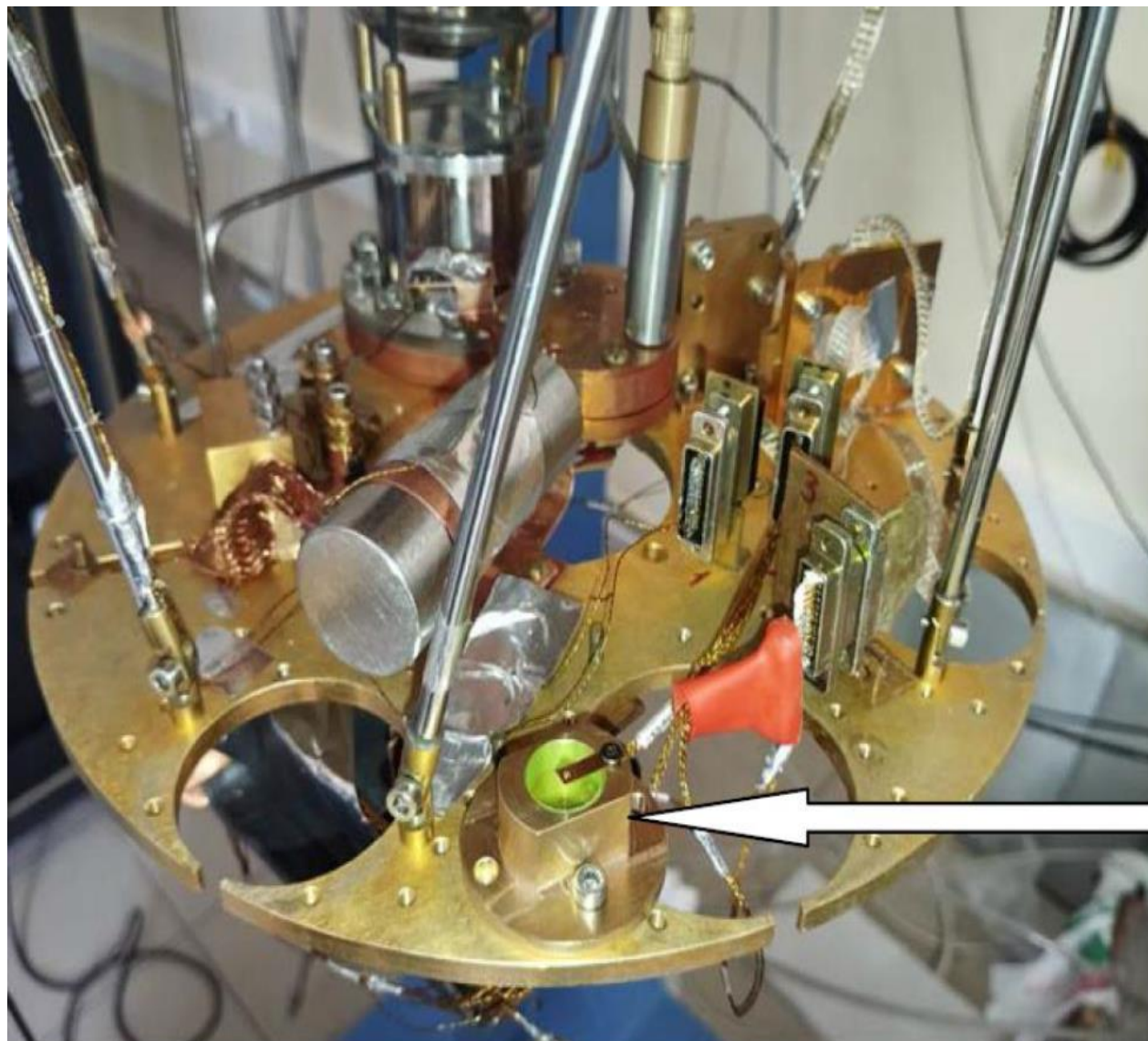
1. Совместно с участниками международной коллаборации **Борексико** получены новые результаты по константам связи и массам солнечных аксионов из реакции  $p+d \rightarrow 3\text{He} + A$ . Результаты опубликованы в журнале **“European Physical J. C, 2025”**. (Q1) **аксион 5.5 МэВ**
2. Проведен поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах  $^{83}\text{Kr}$  с возбуждением ядерного уровня 9.4 кэВ с помощью газового счетчика. Получены новые данные по потокам и сечениям рассеяния для частиц массой 20 ГэВ. Результаты опубликованы в **(Письма ЖТФ, 2025)** **WIMPs  $^{83}\text{Kr}$**
3. Опубликованы первые результаты измерения времени жизни ядра  $^{71}\text{Ge}$  с целью проверки возможного объяснения нейтринной «галлиевой аномалии» в журнале **«Ядерная физика»**.  **$^{71}\text{Ge}$  “GA”**
4. Совместно с участниками ряда российских институтов предложен проект по поиску реликтовых аксионов с массой около 50 мкэВ с использованием детектора отдельных фотонов на уровне чувствительности, предсказываемой KSVZ- и DFSZ- моделями аксиона. Результаты опубликованы в журнале **“Phys. Rev. D, 2025”**. **CASH**
5. Продолжены работы по подготовке болометрических детекторов совместно с НГТУ им. Р.Е.Алексеева для поиска солнечных аксионов с использованием кристалла  $\text{Tm}_3\text{Al}_2\text{O}_{15}$  внутри низкотемпературного криостата лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники.  **$\text{Tm}_3\text{Al}_2\text{O}_{15}$**
6. Определен спектр электронных антинейтрино, возникающих при распаде ядра  $^{144}\text{Pr}$ . Для этого проведены прецизионные измерения и анализ бета-спектров источника  $^{144}\text{Ce}$ - $^{144}\text{Pr}$ , который является наиболее подходящим для поиска осцилляций нейтрино в стерильное состояние с массой  $\sim 1$  эВ. Результаты опубликованы в **Phys. Rev. D, 2025**. **нейтрино  $^{144}\text{Pr}$**
7. Продолжена разработка калибровочного источника нейтронов на основе  $^{252}\text{Cf}$ , совмещенного с **Si(Li)**- и **SiSB** детекторами для нейтринных экспериментов. Проводилось изучение радиационной стойкости **Si**-детекторов при регистрации альфа-частиц и осколков деления.  **$^{252}\text{Cf}$  SiC**
8. Проводились изучения п/п и МДП структур с целью создания толстых, до 10 мм, **Si(Li)**-детекторов с двухсторонними тонкими окнами для секционированного мультidetектора для измерения электронов с энергией до 8 МэВ. **Si(Li)**
9. Начаты измерения  $\beta$ -спектра  $^{99}\text{Tc}$  с целью определения эффективной аксиально-векторной константы.  **$^{99}\text{Tc}$**

# Список заявленных тем от ОПЯД ОНИ для сборника «Основные результаты научной деятельности 2025»

№	Название работы	Авторы из ПИЯФ	Публикации Обязательно за 2025 год, если цикл то и др. года	Примечания
1	Спектр электронных антинейтрино из прецизионного измерения распада ядра $^{144}\text{Pr}$ .	A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, I.M. Kotina, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov	Electron-antineutrino spectrum from precision measurements of $^{144}\text{Pr}$ -decay, <b>PHYSICAL REVIEW D</b> 112, 112008 (2025)	
2	Новое прецизионное измерение времени жизни ядра $^{71}\text{Ge}$ .	A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, V.N. Muratova, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, A.S. Vorobyev,	A New Precision Measurements of $^{71}\text{Ge}$ Lifetime, <b>Physics of Atomic Nuclei</b> , 2025, Vol. 88, No. 1, pp. 52–56.	
3	Поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах $^{83}\text{Kr}$ с возбуждением низколежащего ядерного уровня	A.B. Дербин, И.С. Драчнев, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков	Поиск неупругого рассеяния частиц темной материи на ядрах $^{83}\text{Kr}$ с возбуждением низколежащего ядерного уровня, <b>Письма в ЖТФ</b> , 2025, т. 51, в. 24, с. 4	
4	Поиск высокоэнергетических солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ на полном наборе данных детектора Borexino	A.V. Derbin, I.S. Drachnev, I.S. Lomskaya, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, E.V. Unzhakov	D. Basilico, et al., (Borexino Coll.), Search for high energy 5.5 MeV solar axions with the complete Borexino dataset, <b>European Physical J. C</b> 85, 1182 (2025)	

***Спасибо за внимание!***

# Кристалл $Tm_3Al_5O_{12}$ в криогенной установке НГТУ (2023)



# IAXO: International AXion Observatory



PUBLISHED FOR SISSA BY SPRINGER

RECEIVED: November 22, 2024

ACCEPTED: January 6, 2025

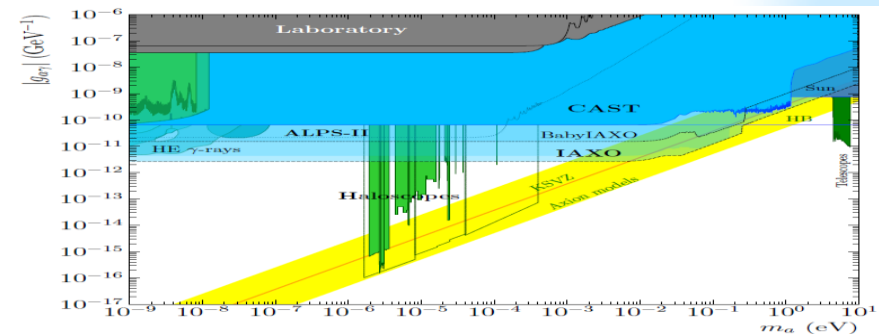
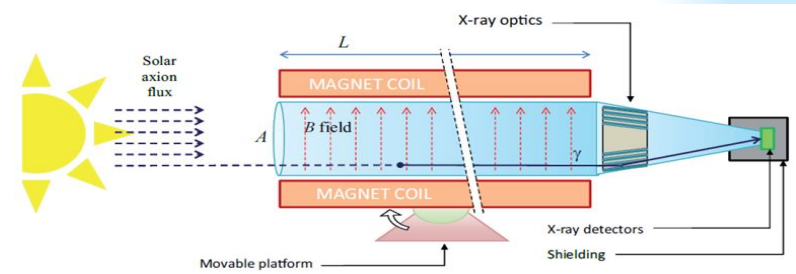
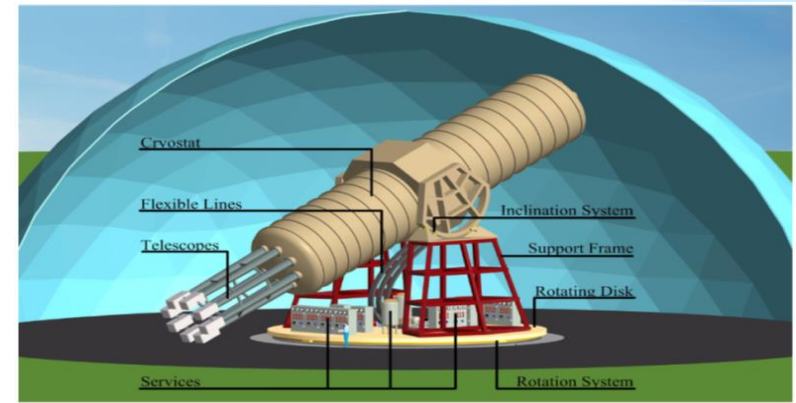
PUBLISHED: February 25, 2025

## An accurate solar axions ray-tracing response of BabyIAXO



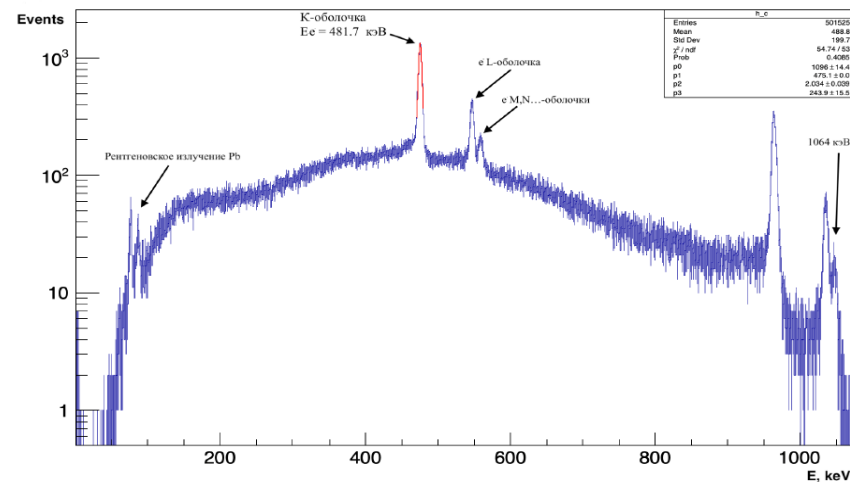
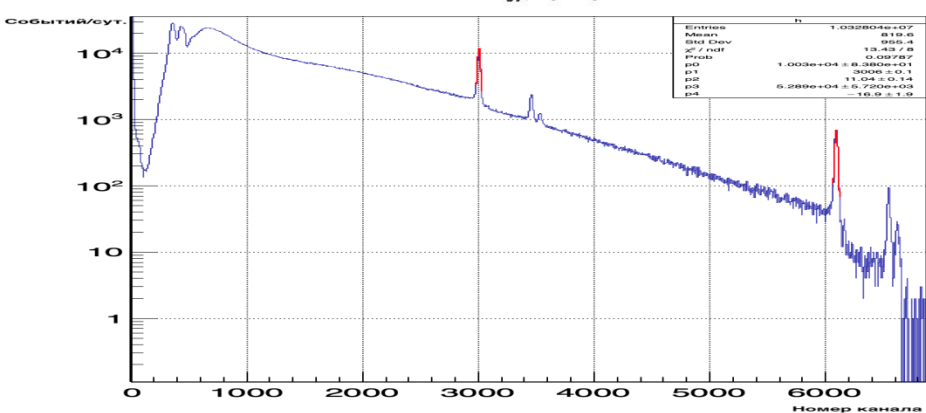
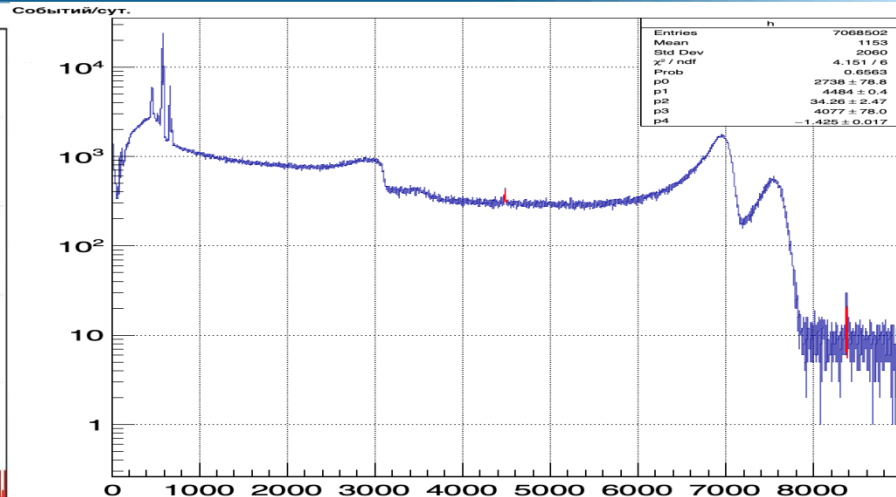
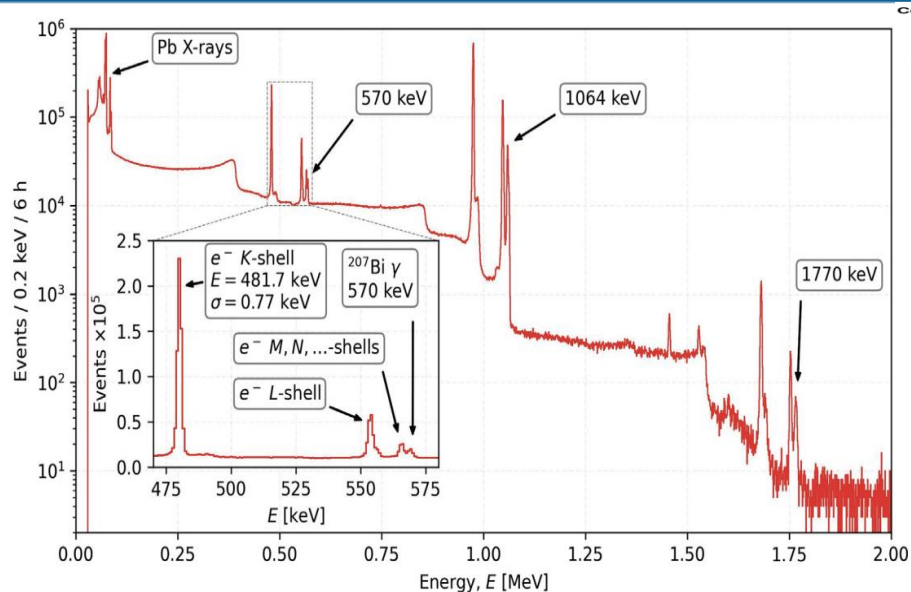
J. of High Energy Physics 02(2025)159

S. Ahyoune<sup>1</sup>, K. Altenmüller<sup>2</sup>, I. Antolín<sup>2,3</sup>, S. Basso<sup>4</sup>, P. Brun<sup>5</sup>, F.R. Candon<sup>2</sup>, J.F. Castel<sup>2</sup>, S. Cebrián<sup>2</sup>, D. Chouhan<sup>6</sup>, R. Della Ceca<sup>4</sup>, M. Cervera-Cortés<sup>7</sup>, V. Chernov<sup>8,9</sup>, M.M. Civitani<sup>4</sup>, C. Cogollos<sup>10</sup>, E. Costa<sup>11</sup>, V. Cotroneo<sup>4</sup>, T. Dafni<sup>2</sup>, A. Derbin<sup>12</sup>, K. Desch<sup>6</sup>, M.C. Díaz-Martín<sup>7</sup>, A. Díaz-Morcillo<sup>13</sup>, D. Díez-Ibáñez<sup>2</sup>, C. Díez Pardos<sup>14</sup>, M. Dinter<sup>15</sup>, B. Döbrich<sup>10</sup>, I. Drachnev<sup>12</sup>, A. Dudarev<sup>16</sup>, A. Ezquerro<sup>2</sup>, S. Fabiani<sup>11</sup>, E. Ferrer-Ribas<sup>5</sup>, F. Finelli<sup>17,18</sup>, I. Fleck<sup>14</sup>, J. Galán<sup>2,\*,</sup>, G. Galanti<sup>19</sup>, M. Galaverni<sup>17,18,20</sup>, J.A. García<sup>2</sup>, J.M. García-Barceló<sup>10</sup>, L. Gastaldo<sup>21</sup>, M. Giannotti<sup>2,22</sup>, A. Giganon<sup>5</sup>, C. Goblin<sup>5</sup>, N. Goyal<sup>23</sup>, Y. Gu<sup>2</sup>, L. Hage<sup>15</sup>, L. Helary<sup>15</sup>, D. Hengstler<sup>21</sup>, D. Heuchel<sup>15</sup>, S. Hoof<sup>24,25</sup>, R. Iglesias-Marzoa<sup>7</sup>, F.J. Iguaz<sup>23</sup>, C. Iñiguez<sup>7</sup>, I.G. Irastorza<sup>2,a</sup>, K. Jakovčić<sup>26</sup>, D. Käfer<sup>15</sup>, J. Kaminski<sup>6</sup>, S. Karstensen<sup>15</sup>, M. Law<sup>27</sup>, A. Lindner<sup>15</sup>, M. Loidl<sup>28</sup>, C. Loiseau<sup>6</sup>, G. López-Alegre<sup>7</sup>, A. Lozano-Guerrero<sup>13</sup>, B. Lubasandorzhiev<sup>9</sup>, G. Luzón<sup>2</sup>, I. Mantos<sup>3</sup>, C. Margalejo<sup>2</sup>, A. Marín-Franch<sup>7</sup>, J. Marqués<sup>2</sup>, F. Marutzky<sup>15</sup>, C. Meneglier<sup>23</sup>, M. Mentink<sup>16</sup>, S. Mertens<sup>29,30</sup>, J. Miralda-Escudé<sup>1,31</sup>, H. Mirallas<sup>2</sup>, F. Muleri<sup>11</sup>, V. Muratova<sup>12</sup>, J.R. Navarro-Madrid<sup>13</sup>, X.F. Navick<sup>5</sup>, K. Nikolopoulos<sup>3,32</sup>, A. Notari<sup>1,33</sup>, A. Nozik<sup>8,9</sup>, L. Obis<sup>2</sup>, A. Ortiz-de-Solórzano<sup>2</sup>, T. O'Shea<sup>2</sup>, J. von Oy<sup>6</sup>, G. Pareschi<sup>4</sup>, T. Papaevangelou<sup>5</sup>, G. Pareschi<sup>4</sup>, K. Perez<sup>27</sup>, O. Pérez<sup>2</sup>, E. Picatoste<sup>1</sup>, M.J. Pivovarov<sup>34</sup>, J. Porrón<sup>2</sup>, M.J. Puyuelo<sup>2</sup>, A. Quintana<sup>2,5</sup>, J. Redondo<sup>2</sup>, D. Reuther<sup>15</sup>, A. Ringwald<sup>15</sup>, M. Rodrigues<sup>28</sup>, A. Rubini<sup>11</sup>, S. Rueda-Teruel<sup>7</sup>, F. Rueda-Teruel<sup>7</sup>, E. Ruiz-Chóliz<sup>35</sup>, J. Ruz<sup>2,36</sup>, J. Schaffran<sup>15</sup>, T. Schiffer<sup>6</sup>, S. Schmidt<sup>6</sup>, U. Schneekloth<sup>15</sup>, L. Schönfeld<sup>29,30</sup>, M. Schott<sup>6</sup>, L. Segui<sup>2</sup>, U.R. Singh<sup>15</sup>, P. Soffitta<sup>11</sup>, D. Spiga<sup>4</sup>, M. Stern<sup>27</sup>, O. Straniero<sup>37,38</sup>, F. Tavecchio<sup>4</sup>, E. Unzhakov<sup>12</sup>, N.A. Ushakov<sup>9</sup>, G. Vecchi<sup>4</sup>, J.K. Vogel<sup>2,36</sup>, D.M. Voronin<sup>9</sup>, R. Ward<sup>3</sup>, A. Weltman<sup>39,40</sup>, C. Wiesinger<sup>29,30</sup>, R. Wolf<sup>15</sup>, A. Yanes-Díaz<sup>7</sup>, Y. Yu<sup>27</sup>



ПЯФ - Отбор материалов ICP MS+HPGe, монитор ВГО, М-К симуляции, gAe

# Бета-спектрометр Si(Li)+Si



$e, 482$ кэВ	Si(Li)	Si	Si(Li)/Si	Si(Li)+Si
$\sigma, \text{кэВ}$	0.77	1.76	13.2	2.03