

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) М.В. Трушин, кфмн, снс->внс
- 8) А.С. Бондаренко, снс, кфмн
- 9) Н.В. Базлов, нс
- 10) Е.В. Унжаков, снс.
- 11) Н.В. Ниязова, аспирант лаб.-иссл.
- 12) И.С. Ломская, аспирант лаб.-иссл.
- 13) М.С. Микулич, лаб.-иссл.
- 14) Д. Иванов, 5 курс СПбГТУ-ТИ
- 15) Е. Бубнов, 5 курс СПбГТУ-ТИ

В отделе – 26 чел.

1 дфмн; 7 кфмн; 1 ктн, внс – 1; снс – 8; нс – 1; мнс – 0; асп. – 2; студ. – 2; вед.инж.-7; инж.-2; рег. ап. -1; сл. мех.-1; ($\Sigma 13$ нс) + 13 ИТР +ОИЯИ (3)

Группа физики и технологии п/п детекторов

- 0) М.В. Трушин, кфмн, снс
- 1) А.А. Афанасьев вед. инж.-эл
- 2) Л.В. Силантьева вед. инж.-эл.
- 3) П.И. Трофимов вед. инж.-эл
- 4) Г.Э. Иващенко вед. инж.-тех.
- 5) Е.В. Федоров вед. инж.-тех.
- 6) Т.А. Филиппова инж.
- 7) Е.А. Чмель вед. инж.-тех.

Группа Радиохимии

- 1) С.И. Лашаев, ктн, вед. инж.
- 2) В.М. Тюнис ->

Конструкторский технологический участок

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

Отдел полупроводниковых ядерных детекторов Лаборатория низкофоновых измерений

Состав (15 (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

Н.В. Базлов, нс

Е.В. Унжаков, снс

Н. Ниязова, аспирант ПИЯФ

И.С. Ломская, аспирант ПИЯФ

М.С. Микулич, лаб.-иссл.

Д. Иванов 5 курс СПбГТУ-ТИ

Е. Бубнов 5 курс СПбГТУ-ТИ

2ст+2 асп+0мнс+1нс+8снс+1внс

1 д.ф.м.н. и 7 к.ф.м.н.



Отдел в 2023 году

Работы проводились по 4 основным направлениям:

1) Нейтрино,

1) **CNO-нейтрино Вх, И. Драчнев**

2) измерения β -спектров ^{144}Ce - ^{144}Pr , **Н. Ниязова, Е. Унжаков**

3) корреляции с **GW Вх, И. Ломская**

2) Темная материя

эксперименты по поиску **аксионов** (ПИЯФ, БНО ИЯИ, Н.Новгород) —

4) 8.4 кэВ аксионы с болометром **$\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$** ,

5) **DS-50** аксиоэлектрический эффект на **Ar** и

и по поиску **WIMPs** (**DarkSide20k** 6) **n+Si**, **DEAP-7**) 5.5 МэВ axion)

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**-мультidetектора для измерения β -спектров осколков деления для восстановления спектра реакторных антинейтрино)

(рук. **И.М. Котина, М.В. Трушин**)

Публикации в 2023 г. (14 + 15)

14 публикаций в индексируемых журналах (WoS & Scopus)

1. S.V. Bakhlanov, A.V. Derbin, I.S. Drachnev, I.S. Lomskaya, I.M. Kotina, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, M.V. Trushin, and E.A. Chmel', Precision Measurement of ^{144}Ce – ^{144}Pr Beta Spectrum by Means of Semiconductor Spectrometer, *Physics of Atomic Nuclei*, 2022, Vol. 85, No. 6, pp. 936–941.
2. N.V. Bazlov, E.F. Bubnov, A.V. Derbin, I.S. Drachnev, D.V. Ivanov, O.I. Konkov, I.M. Kotina, M.S. Mikulich, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, and E.A. Chmel, Compact Calibration Source of Neutrons on the Basis of the ^{252}Cf Radionuclide and a Silicon Semiconductor Detector, *Physics of Atomic Nuclei*, 2022, Vol. 85, No. 6, p. 931
3. I.E. Alekseev, S.V. Bakhlanov, N.V. Bazlov, E.A. Chmel, A.V. Derbin, I.S. Drachnev, I.M. Kotina, M.S. Mikulich, V.N. Muratova, N.V. Niyazova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, 4 π spectrometer of β -decay electrons with Si(Li)-detectors, *Nuclear Instruments and Methods A* 1051 (2023) 168242
4. P.Agnes et al., (DarkSide Coll.), Search for Dark Matter Particle Interactions with Electron Final States with DarkSide-50, *Physical Review Letters* 130 (2023) 10, 101002
5. P.Agnes et al., (DarkSide Coll.), Search for Dark-Matter–Nucleon Interactions via Migdal Effect with DarkSide-50, *Physical Review Letters* 130 (2023) 10, 101001
6. P.Agnes et al., (DarkSide Coll.), Search for low-mass dark matter WIMPs with 12 ton-day exposure of DarkSide-50, *Physical Review D* 107 (2023) 6, 063001
7. P. Agnes et al., (DarkSide-50 coll.), Search for low mass dark matter in DarkSide-50: the bayesian network approach, *European Physical Journal C* (2023) 83:322
8. E. Aaron et al., (DarkSide-20k coll.), Measurement of isotopic separation of argon with the prototype of the cryogenic distillation plant Aria for dark matter searches, *European Physical Journal C* (2023) 83:453
9. D. Basilico et al., (Borexino coll.), Borexino's search for low-energy neutrinos associated with gravitational wave events from GWTC-3 database, *European Physical Journal C* (2023) 83:538
10. А.В.Дербин, И.С.Драчнев, В.Н.Муратова, Д.А.Семенов, М.В.Трушин, Е.В.Унжаков, Поиск солнечных аксионов с энергией 8.4 кэВ, излучаемых в М1-переходе ядер ^{169}Tm , *Письма в ЖЭТФ*, том 118, вып. 3, с. 154 – 158
11. M. Agostini et al., (Borexino coll.), Methodology Used in Borexino for the Identification of Cosmogenic Long-Time Decay Background, *AIP Conf. Proc.* 2908 (2023) 1, 090002
12. D. Basilico et al., (Borexino coll.), Recent results from Borexino on solar neutrinos, *EPJ Web of Conferences*, 290, 04001 (2023)
13. А.В. Дербин, И.С. Драчнев, И.М. Котина, В.Н. Муратова, Н.В. Ниязова, Д.А. Семенов, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков, Измерение спектра электронных антинейтрино ядра ^{144}Ce – ^{144}Pr при помощи полупроводниковых спектрометров, *Письма в ЖТФ*, 2023, том 49, вып. 24, стр.3-5
14. D. Basilico et al., (Borexino coll.), Final results of Borexino on CNO solar neutrinos, *Physical Review D* 108 (2023) 10, 102005

Публикации 2023 г. (14 + 15)

15 публикаций в arXive и в Proceedings

1. P. Agnes et al., (DarkSide-50 coll.), Search for low mass dark matter in DarkSide-50: the bayesian network approach, [arXiv: 2302.01830](#)
2. E. Aaron et al., (DarkSide-20k coll.), Study on cosmogenic activation above ground for the DarkSide-20k project, [arXiv: 2301.12970](#)
3. E. Aaron et al., (DarkSide-20k coll.), Measurement of isotopic separation of argon with the prototype of the cryogenic distillation plant Aria for dark matter searches, [arXiv: 2301.09639](#)
4. N.V. Bazlov, A.V. Derbin, I.S. Drachnev, I. M. Kotina, O. I. Konkov, I. S. Lomskaya, M.S. Mikulich, V.N. Muratova, D.A. Semenov, M.V. Trushin, E.V. Unzhakov, Investigation of radiation hardness of silicon semiconductor detectors under irradiation with fission products of ^{252}Cf nuclide, [arXiv:2301.05533v1](#)
5. M. Pallavicini et al., (Borexino coll.), Electron neutrino survival probability in the energy range 200 keV–15 MeV, [The Sixteenth Marcel Grossmann Meeting](#), pp. 2804-2814 (2023), DOI: [10.1142/9789811269776_0225](#)
6. A. Caminata et al., (Borexino coll.), Borexino detector performances, [The Sixteenth Marcel Grossmann Meeting](#), pp. 2765-2773 (2023), DOI: [10.1142/9789811269776_0222](#)
7. D. Guffanti et al., (Borexino coll.), Unveiling the engine of the Sun: Measurements of the pp-chain solar neutrinos with Borexino, [16th Marcel Grossmann Meeting](#), pp. 2785-2803 (2023) DOI:[10.1142/9789811269776_0224](#)
8. B. Caccianiga et al., (Borexino coll.), Experimental detection of the CNO cycle, [16th Marcel Grossmann Meeting](#), pp. 2753-2764 (2023), DOI: [10.1142/9789811269776_0221](#)
9. S. Zavatarelli et al., (Borexino coll.), Study of antineutrinos from the Earth and the Cosmos with the Borexino detector, [16th Marcel Grossmann Meeting](#), pp. 2774-2784 (2023), DOI:[10.1142/9789811269776_0223](#)
10. N. Rossi et al., (Borexino coll.), Update of the results on solar neutrino physics exploiting the most recent Borexino data, [PoS NOW-2022 \(2023\) 009](#), DOI: [10.22323/1.421.0009](#)
10. D. Basilico et al., (Borexino coll.) Borexino's search for low-energy neutrinos associated with gravitational wave events from GWTC-3 database, [arXiv: 2303.13876](#)
11. P. Agnes et al., (DarkSide-20k Coll.), Directionality of nuclear recoils in a liquid argon time projection chamber, [arXiv:2307.15454v1](#)
12. D. Basilico et al., (Borexino coll.) Final results of Borexino on CNO solar neutrinos, [arXiv: 2307.14636](#)
13. P. Agnes et al., (DarkSide-50 coll.), Search for dark matter annual modulation with DarkSide-50, [arXiv: 2307.07249](#)
14. D. Basilico et al., (Borexino coll.), Novel techniques for alpha/beta pulse shape discrimination in Borexino, [arXiv:2310.11826](#)
15. P. Agnes et al., (DarkSide-50 Coll.), Long-term temporal stability of the DarkSide-50 dark matter detector, [arXiv: 2311.18647](#)

Доклады на конференциях и семинарах в 2023 г.

13 докладов и выступлений на конференциях и семинарах

1. **А.В. Дербин**, Отчет о работе Отдела п/п ядерных детекторов в 2022 г., Научная сессия ОНИ ПИЯФ НИЦ КИ, у
2. **М.В. Трушин**, Отчет о работе группы физики и технологии п/п детекторов в 2022 г., Науч. сессия ОНИ ПИЯФ, у
3. **А.В. Дербин**, Регистрация солнечных CNO нейтрино в эксперименте Borexino, Семинар ОФВЭ ПИЯФ НИЦ КИ, у
4. **И.С. Драчнев**, Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядрами ^{83}Kr , 17-е рабочее совещания Лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники и Центра квантовых технологий Нижегородского ГТУ, у
5. **Е.В. Унжаков**, Поиск солнечных аксионов с болометром на основе $\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ -кристалла, 17-е рабочее совещания Лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники и Центра квантовых технологий Нижегородского ГТУ, у
6. **И.С. Драчнев**, The latest Borexino results on the CNO neutrino studies, 21-я Международная Ломоносовская конференция по физике элементарных частиц, Москва, 20-25 Август, 2023
7. **В.Н. Муратова**, Searches for the resonant absorption of solar axions by atomic nuclei. Конференция по ядерной физике «ЯДРО-2023: Фундаментальные вопросы и приложения», 9 - 13 октября 2023 года, Саров
8. **А.В. Дербин**, Регистрация солнечных CNO нейтрино в эксперименте Borexino, Конференция по ядерной физике «ЯДРО-2023: Фундаментальные вопросы и приложения», 9 - 13 октября 2023 года, Саров
9. **Н.В. Ниязова**, Измерение спектра электронных антинейтрино ^{144}Ce - ^{144}Pr при помощи полупроводниковых спектрометров, международная конференция PhysicA.SPb/2023, С. Петербург, 23-25 октября 2023
10. **Д.В. Иванов**, "Поиск проявления космологических реликтовых нейтрино в бета-спектре ^{210}Bi ", X Всероссийский с международным участием Молодёжный научный форум «Open Science», г. Гатчина, 15-17 ноября 2023;
11. **Д.В. Иванов**, "Поиск проявления космологических реликтовых нейтрино в бета-спектре ^{210}Bi ", Всероссийская студенческая конференция с международным участием «Science and Practice», г. Санкт-Петербург, 22-24 ноября 2023.
12. **Е.Ф. Бубнов**, " Прецизионные измерения электронных спектров в присутствии интенсивного γ -фона ", X Всероссийский с международным участием Молодёжный научный форум «Open Science», г. Гатчина, 15-17 ноября 2023;
13. **Е.Ф. Бубнов**, " Разработка β - спектрометра для измерения электронных спектров в присутствии интенсивного γ - фона ", Всероссийская студенческая конференция с международным участием «Science and Practice», г. Санкт-Петербург, 22-24 ноября 2023.

Диссертации, аспирантура, магистратура

Аспирантура ПИЯФ -> к.ф.м.н.

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

(Н. Ниязова, с 2017 г., рук. 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)

Курсовая – > диплом СПбГТУ (ТИ) (2021-24)

Е.Ф. Бубнов «Спектрометр на основе полупроводниковых кремниевых детекторов для измерения бета-спектров в присутствии γ -фона»

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

Д.В. Иванов «Поиск проявления космологических реликтовых нейтрино в β -спектре ^{210}Bi »

(2023, рук. Е.В. Унжаков / А.В. Дербин)

2 гранта РФФИ в 2023 г., 2 заявки на 2024 г.

Гранты РФФИ

1. Грант РФФИ 21-12-00063

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

руководитель *Дербин Александр Владимирович* НИЦ КИ ПИЯФ

2. Грант РФФИ 22-22-00017

Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов атомными ядрами ^{169}Tm

руководитель *Муратова Валентина Николаевна* НИЦ КИ ПИЯФ

Заявки на грант РФФИ

«Исследования астрофизических объектов и явлений, и редких физических процессов на основе данных 15-тилетнего периода измерений с детектором Борексино»

руководитель *Дербин Александр Владимирович* НИЦ КИ ПИЯФ

«Разработка и создание компактного калибровочного источника нейтронов на основе радионуклида ^{252}Cf и радиационно-стойкого кремниевого п/п детектора для задач нейтринной физики и экспериментов по поиску частиц темной материи»

руководитель *Трушин Максим Валерьевич* НИЦ КИ ПИЯФ

Премии и награды в 2023 г.

Третья премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ

«Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядрами ^{83}Kr »

7 статей, совместно с ИЯИ РАН

А.В. Дербин, И.С. Драчнев, М.С. Микулич, В.Н. Муратова, Е.В. Унжаков, З.А. Ахматов, С.С. Березин, Ю.М. Гаерилюк, А.Н. Гангапшеев, В.В. Казалов, В.В. Кузьминов, Д.А. Текуева, С. П. Якименко

Третья премия на конкурсе лучших работ ПИЯФ

«Компактный нейтронный источник на базе радионуклида ^{252}Cf и кремниевого полупроводникового детектора предназначенный для проведения калибровки детекторов темной материи и нейтринных детекторов: часть первая - исследования радиационной стойкости Si(Li)- и Si-ПБ детекторов»

7 статей, совместно с ФТИ и СПбГУ

Н.В. Базлов, Е.Ф. Бубнов, А.В. Дербин, И.С. Драчнев, Д.В. Иванов, О.И. Коньков, И.М. Котина, И.С. Ломская, В.Н. Муратова, Н.В. Ниязова, Д.А. Семенов, М.В. Трушин, Е.В. Унжаков, Е. А. Чмель, Д.В. Данилов, И.Д. Чернобровкин

Д.В. Иванов, "Поиск проявления космологических реликтовых нейтрино в бета-спектре ^{210}Bi ", Всероссийская студенческая конференция с международным участием «Science and Practice», г. Санкт-Петербург, 22-24 ноября 2023.

Новые результаты Борексино (2023)

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

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

2020 год: CNO-нейтрино; (PNPI β -спектр ^{210}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: $\nu\nu$ -нейтрино.

2012 – год $A_{\text{сол}}^{\text{аксион}}$ 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}C с нарушением ПП

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

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

2017 год Корреляции грав. волн и сигналов Борексино
Временные вариации ^7Be -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 $\nu\nu$ -нейтрино, магнитного момента, ..

2011 – год ^7Be , $\nu\nu$, CNO- ν

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

3 статьи по β - и ν -спектрам источника ^{144}Ce - ^{144}Pr в 2023

ISSN 1063-7788, Physics of Atomic Nuclei, 2022, Vol. 85, No. 6, pp. 936–941. © Pleiades Publishing, Ltd., 2022.

ELEMENTARY PARTICLES AND FIELDS Experiment

Precision Measurement of ^{144}Ce – ^{144}Pr Beta Spectrum by Means of Semiconductor Spectrometer

S. V. Bakhlanov¹⁾, A. V. Derbin¹⁾, I. S. Drachnev¹⁾*, I. S. Lomsкая¹⁾, I. M. Kotina¹⁾,
V. N. Muratova¹⁾, N. V. Niyazova¹⁾, M. V. Trushin¹⁾, and E. A. Chmel¹⁾

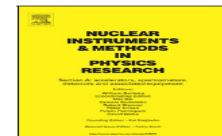
Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 1051 (2023) 168242



Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima



Full Length Article

4π spectrometer of β -decay electrons with Si(Li)-detectors

I.E. Alekseev^b, S.V. Bakhlanov^a, N.V. Bazlov^{a,c}, E.A. Chmel^a, A.V. Derbin^{a,*}, I.S. Drachnev^a,
I.M. Kotina^a, M.S. Mikulich^a, V.N. Muratova^a, N.V. Niyazova^a, D.A. Semonov^a, M.V. Trushin^a,
E.V. Unzhakov^a



^a St. Petersburg Nuclear Physics Institute, National Research Center “Kurchatov Institute”, Gatchina 188300, Russia

^b V. G. Khlopin Radium Institute, St. Petersburg 194021, Russia

^c St. Petersburg State University, St Petersburg 199034, Russia

Письма в ЖТФ, 2023, том 49, вып. 24

26 декабря

Международная конференция Физика А.СПб
23–27 октября 2023 г., Санкт-Петербург

Измерение спектра электронных антинейтрино ядра ^{144}Ce – ^{144}Pr
при помощи полупроводниковых спектрометров

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

Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константина, Национальный исследовательский центр
„Курчатовский институт“, Гатчина, Ленинградская обл., Россия

Поиски сигналов в Borexino от гравитационных событий (GWEs).

Eur. Phys. J. C (2023) 83:538
https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-023-11688-4

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL C



Regular Article - Experimental Physics

ПИЯФ - авторы
по переписке

Borexino's search for low-energy neutrinos associated with gravitational wave events from GWTC-3 database

Borexino Collaboration

D. Basilico¹, G. Bellini¹, J. Benziger², R. Biondi^{3,25}, B. Caccianiga¹, F. Calaprice⁴, A. Caminata⁵, A. Chepurinov⁶, D. D'Angelo¹, A. Derbin^{7,8,a}, A. Di Giacinto³, V. Di Marcello³, X. F. Ding^{4,26}, A. Di Ludovico^{4,27}, L. Di Noto⁵, I. Drachnev⁷, D. Franco⁹, C. Galbiati^{4,10}, C. Ghiano³, M. Giammarchi¹, A. Goretti^{4,27}, M. Gromov^{6,11}, D. Guffanti^{12,28}, Aldo Ianni³, Andrea Ianni⁴, A. Jany¹³, V. Kobychiev¹⁴, G. Korga^{15,16}, S. Kumaran^{17,18,29}, M. Laubenstein³, E. Litvinovich^{8,19}, P. Lombardi¹, I. Lomsakaya⁷, L. Ludhova^{17,18}, I. Machulin^{8,19}, J. Martyn¹², E. Meroni¹, L. Miramonti¹, M. Misiaszek¹³, V. Muratova⁷, R. Nugmanov^{8,19}, L. Oberauer²⁰, V. Orekhov¹², F. Ortica²¹, M. Pallavicini⁵, L. Pelicci^{17,18}, Ö. Penek^{17,30}, L. Pietrofaccia^{4,27}, N. Pilipenko⁷, A. Pocar²², G. Raikov⁸, M. T. Ranalli³, G. Ranucci^{1,b}, A. Re¹, N. Rossi³, S. Schönert²⁰, D. Semenov⁷, G. Settanta^{17,31}, M. Skorokhvatov^{8,19}, A. Singhal^{17,18}, O. Smirnov¹¹, A. Sotnikov¹¹, R. Tartaglia³, G. Testera⁵, E. Unzhakov⁷, A. Vishneva¹¹, R. B. Vogelaar²³, F. von Feilitzsch²⁰, M. Wojcik¹³, M. Wurm¹², S. Zavatarelli⁵, K. Zuber²⁴, G. Zuzel¹³

¹ Dipartimento di Fisica, Università degli Studi e INFN, 20133 Milan, Italy

² Chemical Engineering Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

³ INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67010 Assergi (AQ), Italy

⁴ Physics Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA

⁵ Dipartimento di Fisica, Università degli Studi e INFN, 16146 Genoa, Italy

⁶ Lomonosov Moscow State University Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow 119234, Russia

⁷ St. Petersburg Nuclear Physics Institute NRC Kurchatov Institute, Gatchina 188350, Russia

⁸ National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow 123182, Russia

⁹ APC, Université de Paris, CNRS, Astroparticule et Cosmologie, 75013 Paris, France

¹⁰ Gran Sasso Science Institute, 67100 L'Aquila, Italy

¹¹ Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia

¹² Institute of Physics and Excellence Cluster PRISMA+, Johannes Gutenberg-Universität Mainz, 55099 Mainz, Germany

¹³ M. Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, 30348 Kraków, Poland

¹⁴ Institute for Nuclear Research of NAS Ukraine, 03028 Kyiv, Ukraine

¹⁵ Department of Physics, Royal Holloway, University of London, Egham, Surrey TW20 OEX, UK

¹⁶ Institute of Nuclear Research (Atomki), Debrecen, Hungary

¹⁷ Institut für Kernphysik, Forschungszentrum Jülich, 52425 Jülich, Germany

¹⁸ RWTH Aachen University, 52062 Aachen, Germany

¹⁹ National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow 115409, Russia

²⁰ Physik-Department, Technische Universität München, 85748 Garching, Germany

²¹ Dipartimento di Chimica, Biologia e Biotecnologie, Università degli Studi e INFN, 06123 Perugia, Italy

²² Amherst Center for Fundamental Interactions and Physics Department, UMass, Amherst, MA 01003, USA

²³ Physics Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA

²⁴ Department of Physics, Technische Universität Dresden, 01062 Dresden, Germany

Проведен поиск нейтринных событий в корреляции с GWEs для 3 серий (O1, O2 и O3) с 09.2015 по 03.2020. Всего наблюдалось 93(74) GWEs, из них 87(70) BNBH, 4(2) BNNS и 2(2) NSNS. Мы искали сигналы (ν, e)-рассеяния и IBD в окне ± 1000 с с порога 0,25, 0,8 и 3,0 МэВ. Рассмотрены два типа спектров нейтрино: моноэнергетическая линия и SN спектр.

Наши планы в коллаб. Борексино и новые задачи

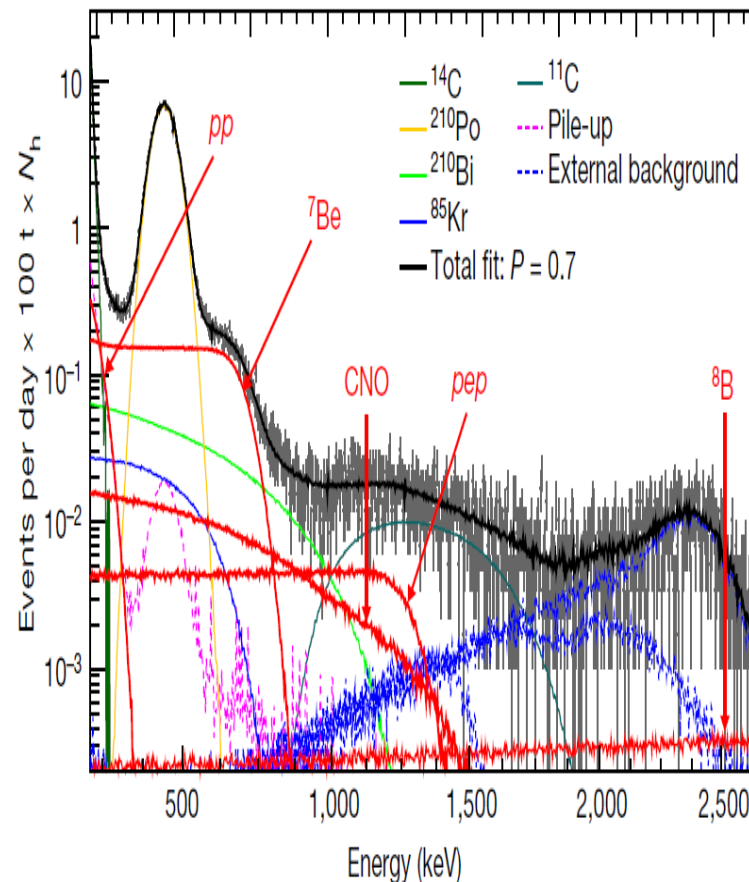
1. Получение заключительных данных по солнечным нейтрино и гео-нейтрино (14.5 лет)

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

3. Корреляции с γ -всплесками, солнечными вспышками, сигналами IceCube и Baikal-GVD

4. Поиск двойного бета-распада с Борексино (LEGEND ^{76}Ge)

5. DARWIN -DARk matter WImp search with liquid xenON



Поиск частиц темной материи в 2023 г.

1. Поиск рассеяния 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)

2. Поиск солнечных и реликтовых аксионов (N2)

2.1 С детектором DS-50 получены рекордные верхние пределы на константу связи g_{Ae} для реликтовых аксионов $T\bar{M}$ с массой 30-200 эВ (*Phys. Rev. Lett. 2023*).

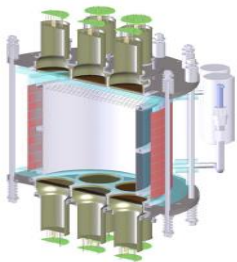
2.2 Впервые проведен поиск аксионов с энергией 8.4 кэВ с помощью низкотемпературного болометра $Tm_3Al_5O_{12}$. Получены новые данные по константе связи аксиона с нуклонами и массе аксиона (*Письма ЖЭТФ, 2023*).

2.3 Продолжены совместные работы с НГТУ им. Алексеева (Н. Новгород) по созданию болометров на основе тулий содержащего граната $Tm_3Al_5O_{12}$ для регистрации резонансного поглощения солнечных аксионов с непрерывным спектром.

2.4 Участие в коллаборации **IAХО** – International Axion Observatory. Этап **baby-IAХО**. Пока заморожено. С MPI (Мюнхен) по $Tm_3Al_5O_{12}$ также.

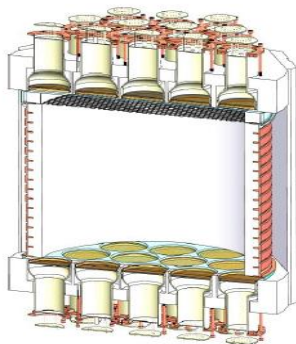
Двухфазный детектор DarkSide -10-50-20K

2012



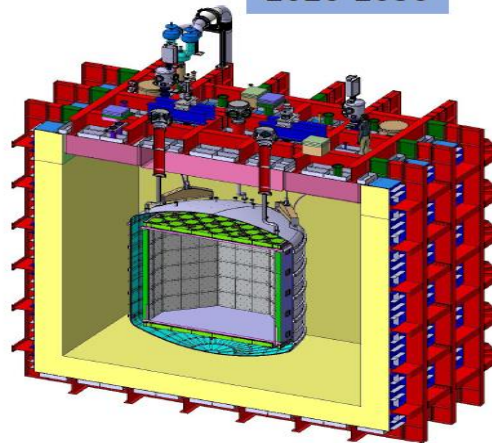
DarkSide-10

2013-2018



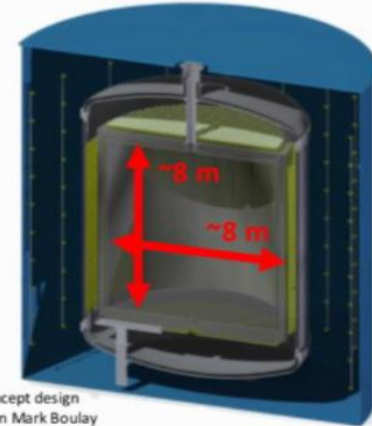
DarkSide-50

2026-2036



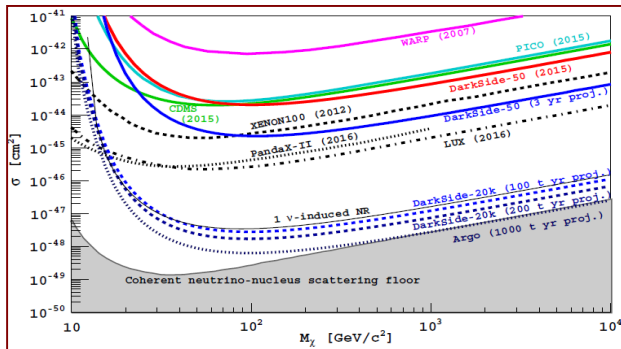
DarkSide-20k @LNGS

2030s-...



Concept design from Mark Boulay

Argo@SNOLAB



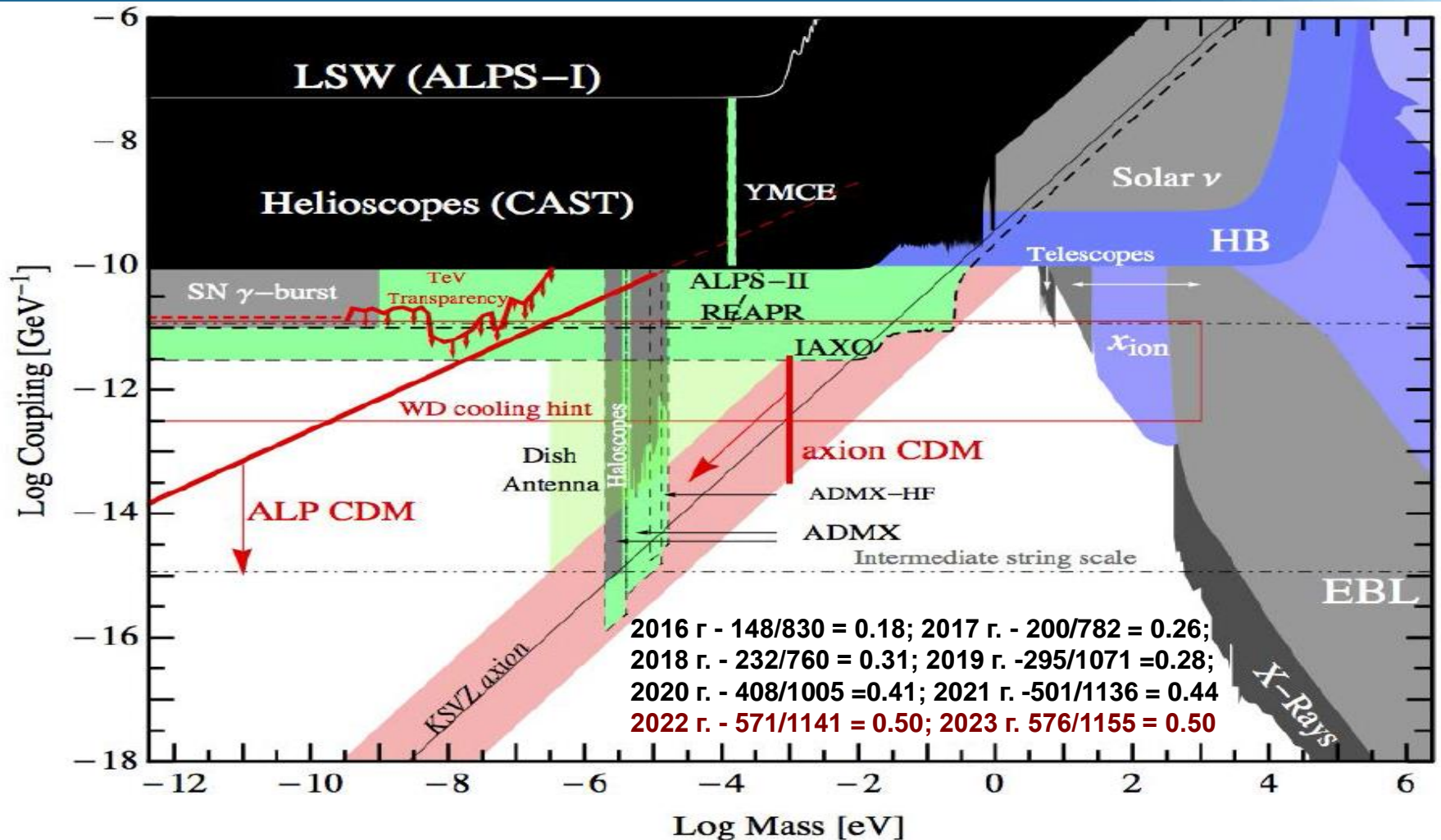
ПИАФ участвует в коллаборации DS с момента образования. DarkSide 20K состоит из акриловой полости, заполненной 51 т низко-радиоактивного аргона (без ^{39}Ar). Сигнал считывается 14 m^2 + 14 m^2 массивом SiPM. Внешнее активное veto на основе атмосферного аргона (300 т) имеет слой акрила допированного 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 => Global Argon Dark Matter collaboration начиная с DS-20k. Проблема ^{39}Ar (269 лет) решается Urania (330 кг/сут, США) и Aria (1 т/сут, Сардиния).

***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 α -частиц и осколков деления. Создана установка тройных ff-n- γ 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 *arXiv* в 2022-23 г, встречается всего в 2.0 раза реже чем слово **neutrino**



Classification of experiments

Detection

Creation

	$g_{A\gamma}$	g_{AN}	g_{Ae}
$g_{A\gamma}$	Axion-photon conversion in magnetic field IAXO, CAST, Tokyo Helioscope,	Resonant absorption by nuclei $^{169}\text{Tm}, ^{83}\text{Kr}$ PNPI, BAKSAN, LNGS	Axioelectric effect in Si-, Ge-, Xe-atoms PNPI(SAXS), CUORE, EDELWEISS, XMASS, XENON100
g_{AN}	Primakoff conversion 7Li-axions, 3He-axions BOREXINO	Resonant absorption by nuclei $^{57}\text{Fe}, ^6\text{Li}, ^{83}\text{Kr}$ Krcmar et al, PNPI, BAKSAN	Axioelectric effect in Si-, Ge-, Xe Bi-atoms BOREXINO, CUORE, LUCIFER
g_{Ae}	Axion-photon conversion in magnetic field IAXO, CAST, Tokyo Helioscope,	Resonant absorption by nuclei $^{169}\text{Tm}, ^{83}\text{Kr}$ PNPI, BAKSAN, LNGS	Axioelectric effect in Si-, Ge-, Xe-atoms PNPI(SAXS), CUORE, EDELWEISS, XMASS, XENON100

Axioelectric effect in atoms and resonant absorption by nuclei

Two special reactions with high cross sections:

The axioelectric absorption of axions by atoms is an analog of the photoelectric effect. **The** reaction cross section is proportional to g_{Ae}^2 and σ_{pe} :

$$\sigma_{\text{abs}}(E_A) = \sigma_{pe}(E_A) \frac{g_{Ae}^2}{\beta} \frac{3E_A^2}{4\pi\alpha} \left(1 - \frac{\beta}{3}\right)$$

Photo effect crosssections are $4 \times 10^{-23} \text{ cm}^2$ (C) - $4 \times 10^{-20} \text{ cm}^2$ (Pb) at 10 keV

The cross section of the resonant absorption of the axions is given by an expression similar to the one for the γ -ray absorption and corrected by the ω_A/ω_γ ratio

$$\sigma(E_A) = 2\sqrt{\pi}\sigma_{0\gamma} \exp\left[-\frac{4(E_A - E_M)^2}{\Gamma^2}\right] \left(\frac{\omega_A}{\omega_\gamma}\right)$$

where $\sigma_{0\gamma}$ is the maximum cross section of the γ -ray resonant absorption and $\Gamma = 1/\tau$. The experimentally obtained value of $\sigma_{0\gamma}$ for the ^{57}Fe nucleus is equal to **$2.56 \times 10^{-18} \text{ cm}^2$** . Due to huge c.s.

High sensitivity for g_{Ae} and g_{AN} can be reached with a relatively small detector

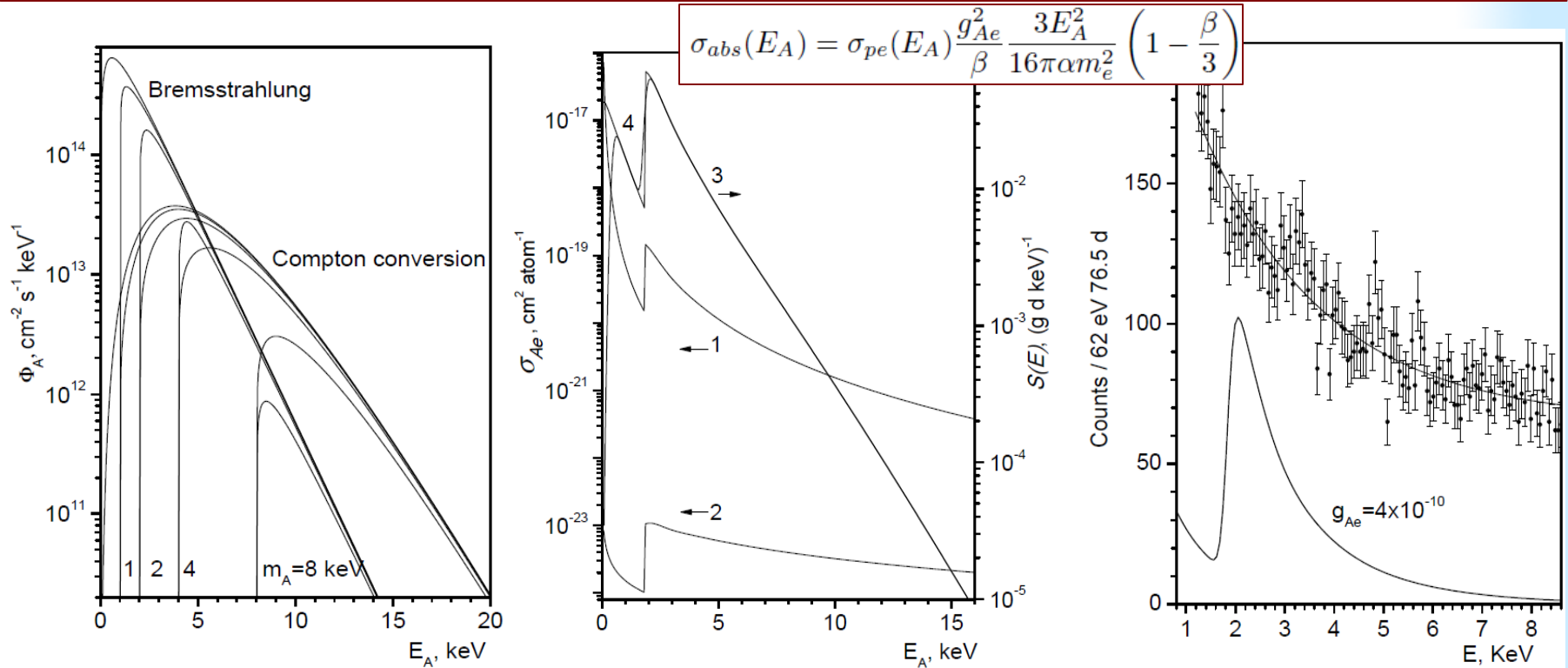
Аксиоэлектрический эффект в атомах

Письма в ЖЭТФ, том 95, вып. 7, с. 379–384

© 2012 г. 10 апреля

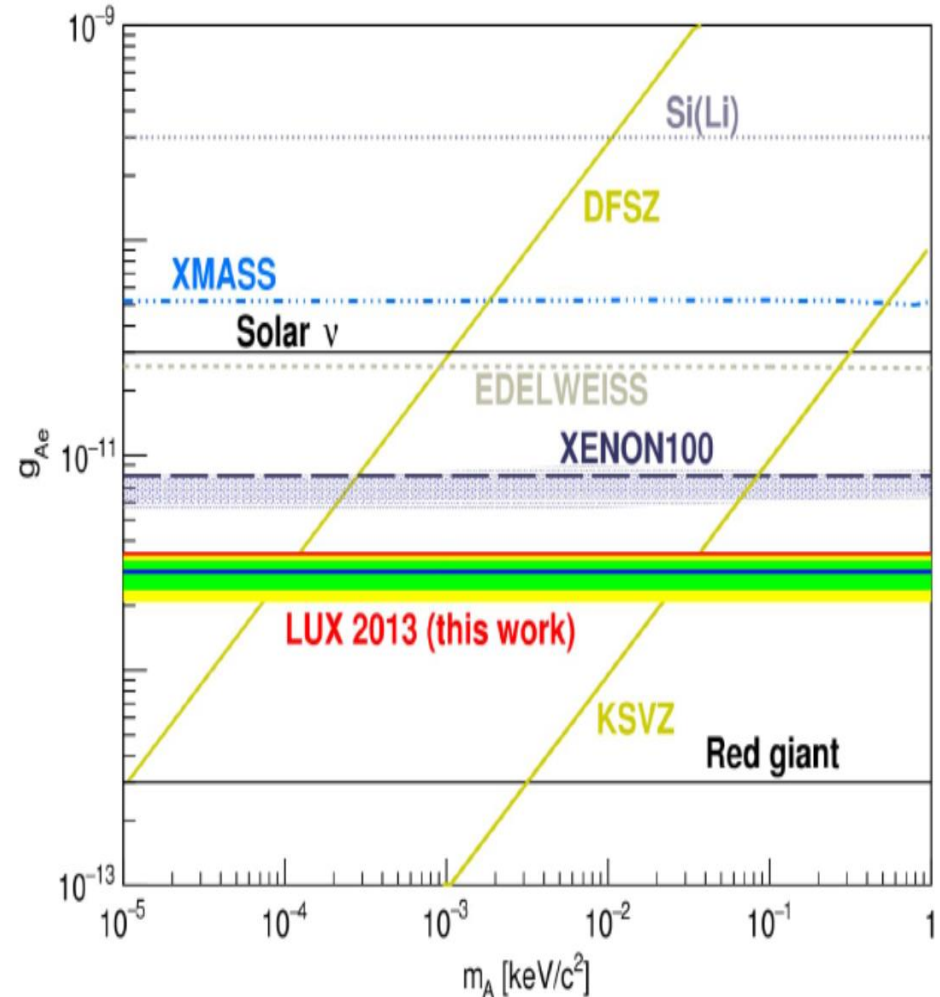
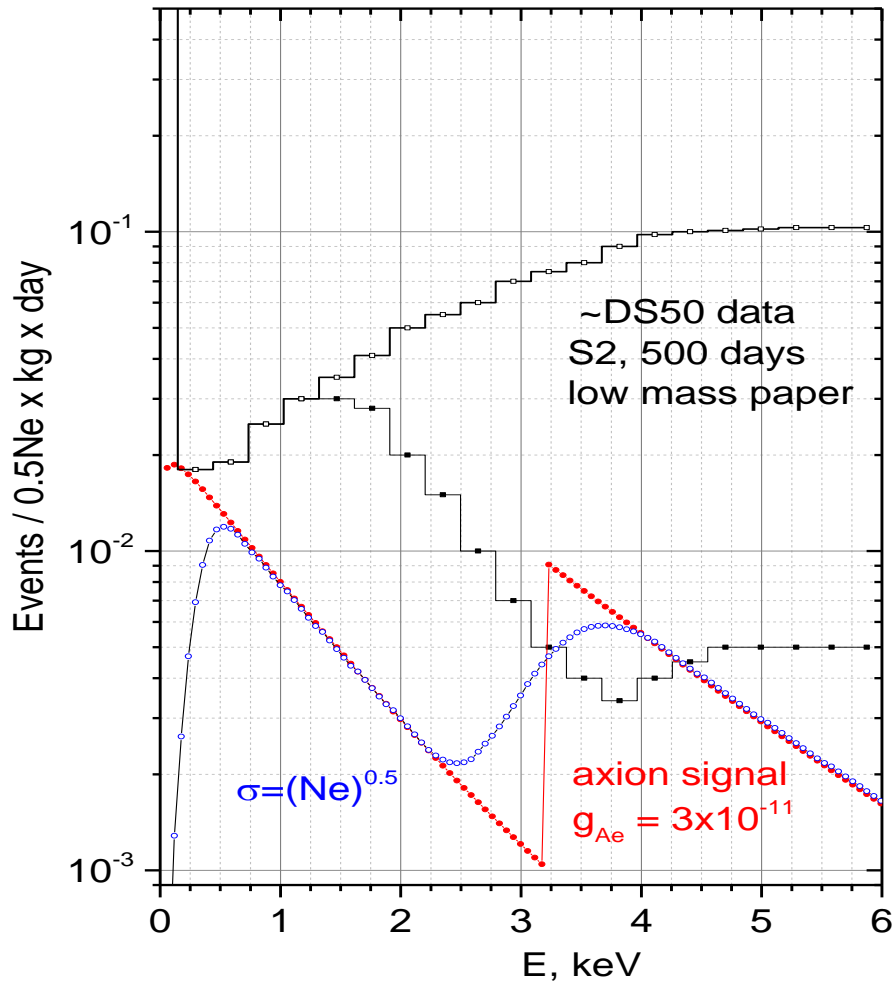
Ограничения на константу связи аксиона с электроном для солнечных аксионов, возникающих в результате тормозного излучения и комптоновского процесса

А. В. Дербин¹⁾, И. С. Драчнев, А. С. Каюнов, В. Н. Муратова



Аксиоэлектрический эффект это аналог фотоэффекта в котором аксион исчезает, а образующийся электрон, рентгеновские кванты и Ожэ-электроны могут быть зарегистрированы. Сечение АЭ прямо пропорционально сечению фотоэффекта.

Axioelectric effect for Ar atoms – DS50 results



Sensitivity to g_{Ae} at the level 10^{-11} can be achieved with 500 days data.

Поиск реликтовых аксионов с DarkSide-50 (2023)

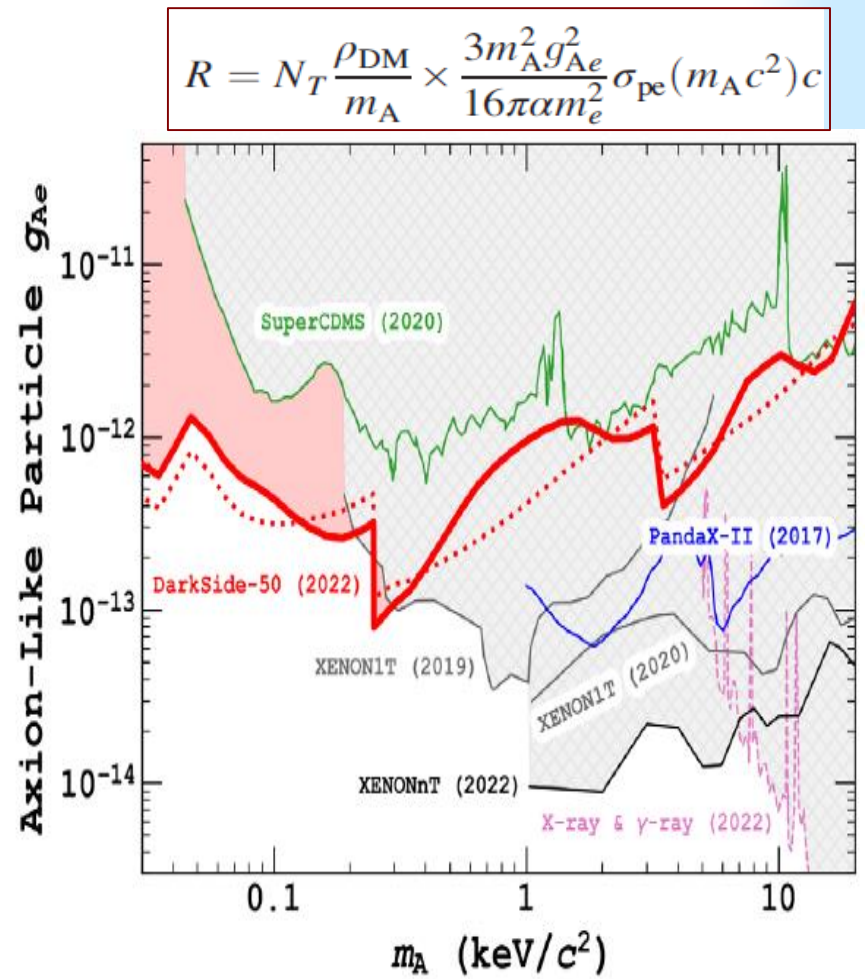
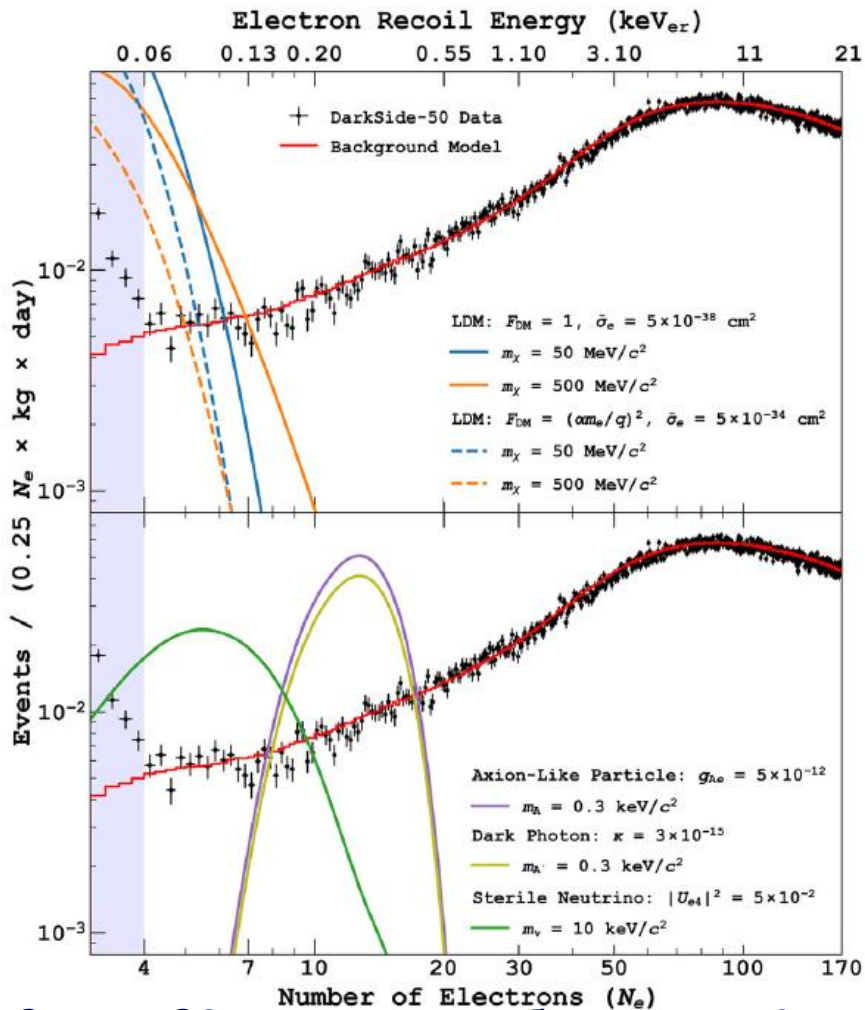
PHYSICAL REVIEW LETTERS 130, 101002 (2023)

Search for Dark Matter Particle Interactions with Electron Final States with DarkSide-50

P. Agnes,¹ I. F. M. Albuquerque,² T. Alexander,³ A. K. Alton,⁴ M. Ave,² H. O. Back,³ G. Batignani,^{5,6} K. Biery,⁷ V. Bocci,⁸ W. M. Bonivento,⁹ B. Bottino,^{10,11} S. Bussino,^{12,13} M. Cadeddu,⁹ M. Cadoni,^{14,9} F. Calaprice,¹⁵ A. Caminata,¹¹ M. D. Campos,¹⁶ N. Canci,¹⁷ M. Caravati,⁹ N. Cargioli,⁹ M. Cariello,¹¹ M. Carlini,^{17,18} V. Cataudella,^{19,20} P. Cavalcante,^{21,17} S. Cavaduoti,^{19,20} S. Chashin,²² A. Chepurinov,²² C. Cicalò,⁹ G. Covone,^{19,20} D. D'Angelo,^{23,24} S. Davini,¹¹ A. De Candia,^{19,20} S. De Cecco,^{8,25} G. De Filippis,^{19,20} G. De Rosa,^{19,20} **A. V. Derbin,²⁶** A. Devoto,^{14,9} M. D'Incecco,¹⁷ C. Dionisi,^{8,25} F. Dordei,⁹ M. Downing,²⁷ D. D'Urso,^{28,29} G. Fiorillo,^{19,20} D. Franco,³⁰ F. Gabriele,⁹ C. Galbiati,^{15,18,17} C. Ghiano,¹⁷ C. Giganti,³¹ G. K. Giovanetti,¹⁵ A. M. Goretti,¹⁷ G. Grilli di Cortona,³² A. Grobov,^{33,34} M. Gromov,^{22,35} M. Guan,³⁶ M. Gulino,^{37,29} B. R. Hackett,³ K. Herner,⁷ T. Hessel,³⁰ B. Hosseini,⁹ F. Hubaut,³⁸ E. V. Hungerford,³⁹ An. Ianni,^{15,17} V. Ippolito,⁸ K. Keeter,⁴⁰ C. L. Kendziora,⁷ M. Kimura,⁴¹ I. Kochanek,¹⁷ D. Korablev,³⁵ G. Korga,^{39,17} A. Kubankin,⁴² M. Kuss,⁵ M. La Commara,^{19,20} M. Lai,^{14,9} X. Li,¹⁵ M. Lissia,⁹ G. Longo,^{19,20} O. Lychagina,^{35,22} I. N. Machulin,^{33,34} L. P. Mapelli,⁴³ S. M. Mari,^{12,13} J. Maricic,⁴⁴ A. Messina,^{8,25} R. Milincic,⁴⁴ J. Monroe,¹ M. Morrocchi,^{5,6} X. Mougeot,⁴⁵ **V. N. Muratova,²⁶** P. Musico,¹¹ A. O. Nozdrina,^{33,34} A. Oleinik,⁴² F. Ortica,^{46,47} L. Pagani,⁴⁸ M. Pallavicini,^{10,11} L. Pandola,²⁹ E. Pantic,⁴⁸ E. Paoloni,^{5,6} K. Pelczar,^{17,49} N. Pelliccia,^{46,47} S. Piacentini,⁸ A. Pocar,²⁷ D. M. Poehlmann,⁴⁸ S. Pordes,⁷ S. S. Poudel,³⁹ P. Pralavorio,³⁸ D. D. Price,⁵⁰ F. Ragusa,^{23,24} M. Razeti,⁹ A. Razeto,¹⁷ A. L. Renshaw,³⁹ M. Rescigno,⁸ J. Rode,^{31,30} A. Romani,^{46,47} D. Sablone,^{15,17} O. Samoylov,³⁵ W. Sands,¹⁵ S. Sanfilippo,^{13,12} E. Sandford,⁵⁰ C. Savarese,¹⁵ B. Schlitzer,⁴⁸ **D. A. Semenov,²⁶** A. Shchagin,⁴² A. Sheshukov,³⁵ M. D. Skorokhvatov,^{33,34} O. Smirnov,³⁵ A. Sotnikov,³⁵ S. Stracka,⁵ Y. Suvorov,^{19,20,33} R. Tartaglia,¹⁷ G. Testera,¹¹ A. Tonazzo,³⁰ **E. V. Unzhakov,²⁶** A. Vishneva,³⁵ R. B. Vogelaar,²¹ M. Wada,^{41,14} H. Wang,⁴³ Y. Wang,^{43,36} S. Westerdale,^{15,9} M. M. Wojcik,⁴⁹ X. Xiao,⁴³ C. Yang,³⁶ and G. Zuzel⁴⁹

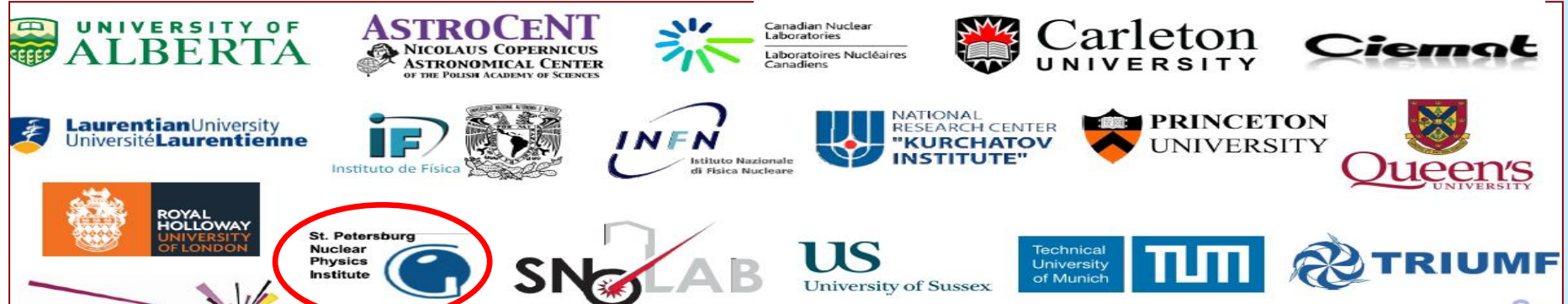
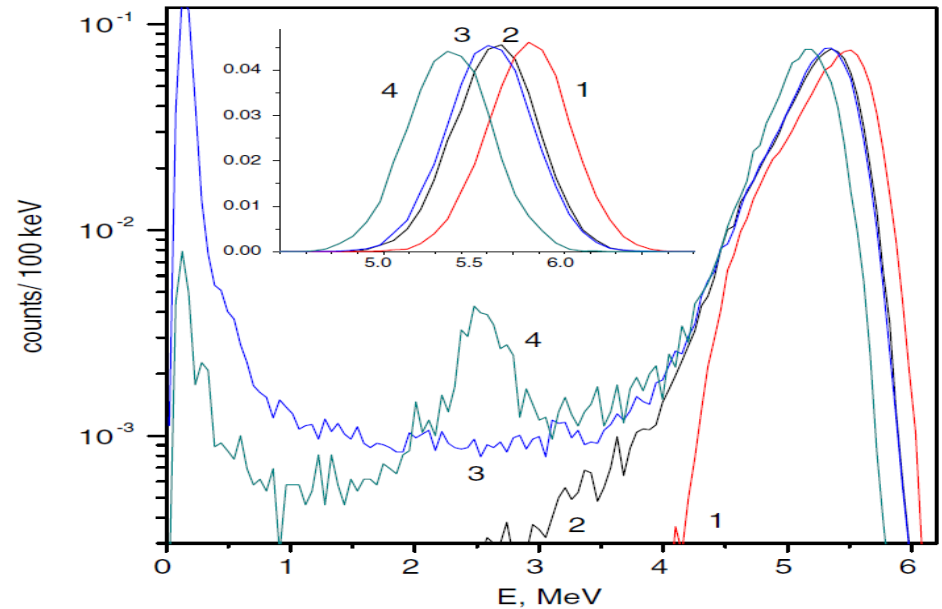
(DarkSide Collaboration)

Поиск реликтовых аксионов с DarkSide-50



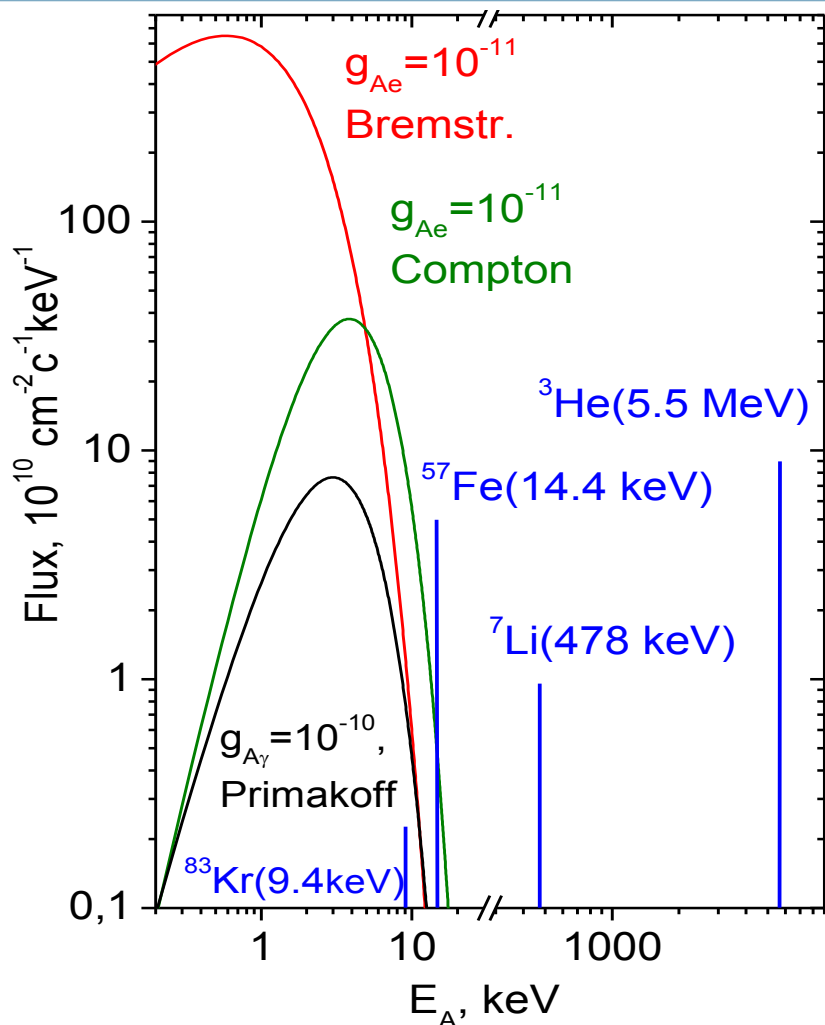
Спектр S2 после всех отборов для 19.4 кг с общей экспозицией 12306 кг сут. Получены новые верхние пределы для сечения взаимодействия частиц темной материи с веществом. Рассмотрено взаимодействие WIMPs с электр., аксионов и темных фотонов.

Поиск $p+d \rightarrow {}^3\text{He}+A$ (5.5 МэВ) аксионов с DEAP (2022)



DEAP (2022) (Dark matter Experiment using Argon Pulse-shape discrimination) однофазный жидкоаргоновый детектор массой 3.6 т в подземной лаборатории Садбери (SNO) использовался для поиска солнечных аксионов из реакции $p+d \rightarrow {}^3\text{He}+A$ (5.5 MeV).

Спектры солнечных аксионов vs $g_{A\gamma}$, g_{Ae} и g_{AN}



The main sources of solar axions:

1. Reactions of main solar chain. The most intensive fluxes are expected from M1-transitions in ^7Li and ^3He nuclei (g_{AN}):



2. Magnetic type transitions in nuclei whose low-lying levels are excited due to high temperature in the Sun ($^{57}\text{Fe}, ^{83}\text{Kr}$) (g_{AN})

3. Primakoff conversion of photons in the electric field of solar plasma ($g_{A\gamma}$).

4. Bremsstrahlung: $e + Z(e) \rightarrow Z + A$. (g_{Ae})

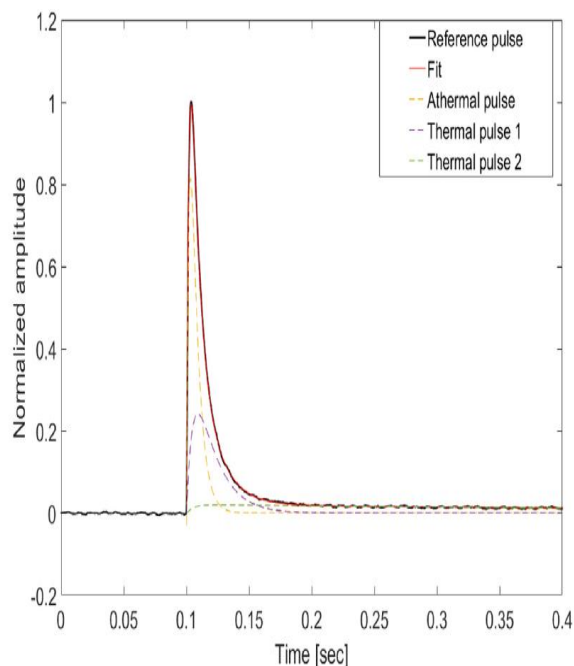
5. Compton process: $\gamma + e \rightarrow e + A$. (g_{Ae})

6. axio-recombination: $e + I \rightarrow I^- + A$ and axio-deexcitation: $I^* \rightarrow I + A$. PRD 83 023505 (2011) CAST 1302.6283, 1310.0823

Searches for solar axions were performed using the *axioelectric effect* in Si-, Ge-, Xe-, Bi-atoms and *resonant absorption* by ^7Li -, ^{57}Fe -, ^{169}Tm - and ^{83}Kr -nuclei.

$Tm_3Al_5O_{12}$ - новый перспективный болометр для солнечных аксионов

$^{169}Tm + A \rightarrow ^{169}Tm^* (8.4 \text{ кэВ})$



Кристалл $Tm_3Al_5O_{12}$ внутри медного держателя. Золотые проволочки обеспечивают электрические контакты.

Тепловой импульс при регистрации энергии **1 МэВ** в кристалле $Tm_3Al_5O_{12}$, охлажденном до $T = 10 \text{ мК}$.

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A 949 (2020) 162924

Contents lists available at ScienceDirect

Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A

ELSEVIER

journal homepage: www.elsevier.com/locate/nima

A test of bolometric properties of Tm-containing crystals as a perspective detector for a solar axion search

E. Bertoldo^a, A.V. Derbin^b, I.S. Drachnev^b, M. Laubenstein^c, D.A. Lis^d, M. Mancuso^a, V.N. Muratova^b, S. Nagorny^e, S. Nisi^f, F. Petricca^a, V.V. Ryabchenkov^f, S.E. Sarkisov^f, D.A. Semenov^g, K.A. Subbotin^h, E.V. Unzhakov^h, E.V. Zharikov^d

^aMax-Planck-Institut für Physik, 80805 München, Germany
^bNRC Kurchatov Institute, Petersburg Nuclear Physics Institute, 188309 Gatchina, Russia
^cINFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67010 Assergi, Italy
^dProkhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia
^eQueen's University, Physics Department, K7L 3N6 Kingston, Canada
^fNRC Kurchatov Institute, 123182 Moscow, Russia

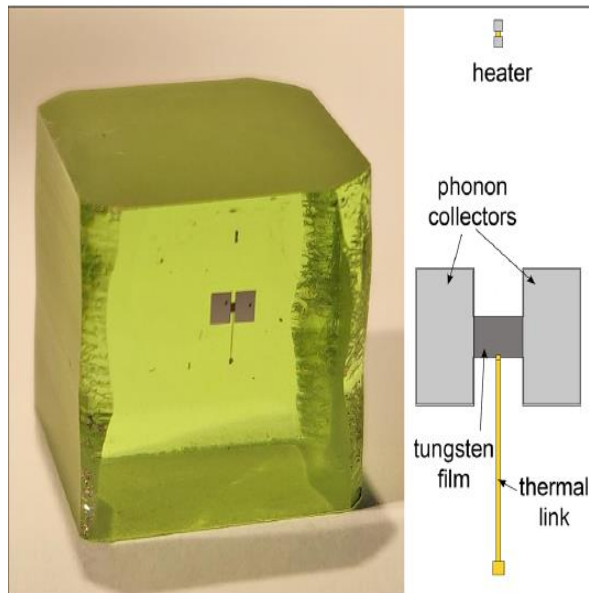
ПИЯФ - авторы по переписке

Сотрудники ОПЯД ОНИ ПИЯФ в сотрудничестве с отечественными и зарубежными институтами провели исследования свойств **тулиевого граната** с целью использовать его для поиска резонансного возбуждения первого ядерного уровня изотопа ^{169}Tm (8.4 кэВ) солнечными аксионами. Исследована радиационная чистота кристалла, его оптические свойства, получен **первый спектр болометрического детектора** с термистором NTD. Результаты опубликованы в журнале **Nuclear Instruments and Methods, A949, 162924 (2020)**

Новый эксперимент по поиску солнечных аксионов с $Tm_3Al_5O_{12}$ криогенным болометром

Сотрудники ОПЯД ОНИ ПИЯФ предложили и, совместно с отечественными и зарубежными институтами, провели поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядрами ^{169}Tm . Новый подход заключается в использовании кристалла $Tm_3Al_5O_{12}$ как **болометрического криогенного детектора**. Измерения, проведенные с 8 г кристаллом в течении 6.6 сут. позволили установить новые ограничения на константы связи аксиона с фотонами $g_{A\gamma}$ и электронами g_{Ae} : $|g_{A\gamma}(g_{0AN} + g_{3AN})| \leq 1.44 \times 10^{-14} \text{ GeV}^{-1}$ и $|g_{Ae}(g_{0AN} + g_{3AN})| \leq 2.81 \times 10^{-16}$.

Результаты опубликованы в журнале **European Physical J. C. (2020) 80:376**



Кристалл $Tm_3Al_5O_{12}$ в с нанесенным термистором TES, схема которого приведена справа.

Eur. Phys. J. C (2020) 80:376

<https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-020-7943-5>

THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL C



Regular Article - Experimental Physics

New limits on the resonant absorption of solar axions obtained with a ^{169}Tm -containing cryogenic detector

A. H. Abdelhameed¹, S. V. Bakhlanov², P. Bauer¹, A. Bento^{1,7}, E. Bertoldo¹, L. Canonica¹, A. V. Derbin², I. S. Drachnev², N. Ferreiro Iachellini¹, D. Fuchs¹, D. Hauff¹, M. Laubenstein³, D. A. Lis⁴, I. S. Lomskaya², M. Mancuso¹, V. N. Muratova², S. Nagorny⁵, S. Nisi³, F. Petricca¹, F. Proebst¹, J. Rothe¹, V. V. Ryabchenkov⁶, S. E. Sarkisov⁶, D. A. Semenov², K. A. Subbotin⁴, M. V. Trushin², E. V. Unzhakov^{2,a}, E. V. Zharikov⁴

¹ Max-Planck-Institut für Physik, 80805 Munich, Germany

² NRC Kurchatov Institute, Petersburg Nuclear Physics Institute, 188309 Gatchina, Russia

³ INFN, Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67010 Assergi, Italy

⁴ Prokhorov General Physics Institute of the Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia

⁵ Physics Department, Queen's University, Kingston, ON K7L 3N6, Canada

⁶ NRC Kurchatov Institute, 123182 Moscow, Russia

⁷ Departamento de Fisica, Universidade de Coimbra, P3004 516 Coimbra, Portugal

ПИЯФ -авторы
по переписке

Поток и CR 8.4 кэВ ^{169}Tm -солнечных аксионов

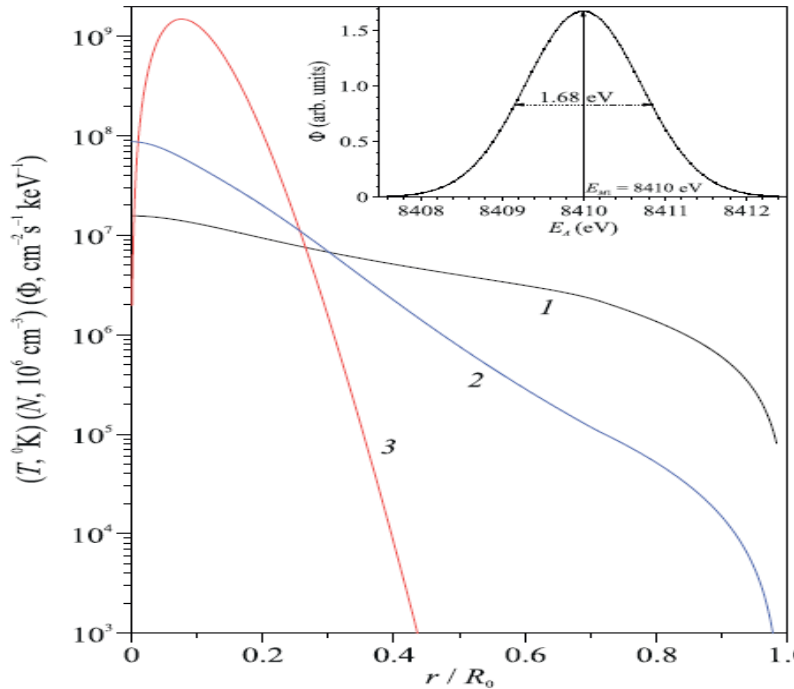
Письма в ЖЭТФ, том 118, вып. 3, с. 154 – 158

© 2023 г. 10 августа

Поиск солнечных аксионов с энергией 8.4 кэВ, излучаемых в M1-переходе ядер ^{169}Tm

А. В. Дербин¹⁾, И. С. Драчнев, В. Н. Муратова, Д. А. Семенов, М. В. Трушин, Е. В. Унжаков

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национальный исследовательский центр "Курчатовский институт", 188300 Гатчина, Россия



Распределение температуры (T , К, кривая 1) и концентрации атомов ^{169}Tm (N , в единицах 10^6 см^{-3} , кривая 2) в зависимости от радиуса r . Поток аксионов из слоя $r^2 dr$ для значения $\omega_A/\omega_\gamma = 4 \times 10^{-14}$ и $dr = 5 \times 10^{-3} R_\odot$ ($\text{см}^{-2} \text{ с}^{-1} \text{ кэВ}^{-1}$, кривая 3). На вставке показан энергетический спектр солнечных аксионов со средней энергией 8.41 кэВ.

$$\Phi_A(r) = \frac{N}{\tau_\gamma} \frac{2 \exp(-E_\gamma/kT)}{(1 + 2 \exp(-E_\gamma/kT))} \frac{\omega_A}{\omega_\gamma}$$

$$\frac{\omega_A}{\omega_\gamma} = \frac{1}{2\pi\alpha(1 + \delta^2)} \left[\frac{g_{AN}^0 \beta^* + g_{AN}^3}{(\mu_0 - 0.5)\beta^* + \mu_3 - \eta} \right]^2 \left(\frac{p_A}{p_\gamma} \right)^3$$

$$\sigma(E_A) = 2\sqrt{\pi}\sigma_{0\gamma} \exp \left[-\frac{4(E_A - E_{M1})^2}{\Gamma^2} \right] \left(\frac{\omega_A}{\omega_\gamma} \right)$$

Впервые проведен поиск 8.4 кэВ солнечных аксионов

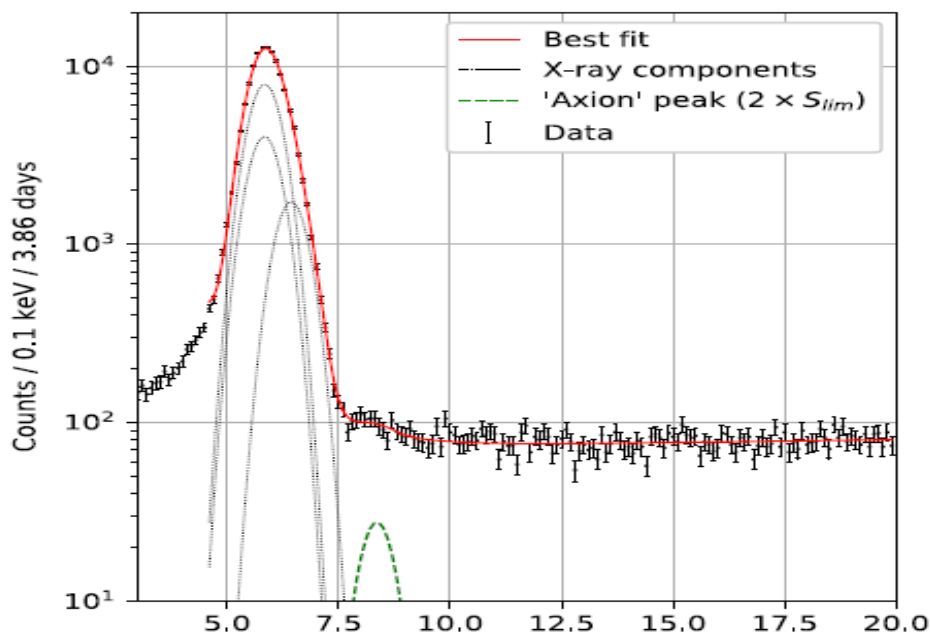
Письма в ЖЭТФ, том 118, вып. 3, с. 154–158

© 2023 г. 10 августа

Поиск солнечных аксионов с энергией 8.4 кэВ, излучаемых в М1-переходе ядер ^{169}Tm

А. В. Дербин¹⁾, И. С. Драчнев, В. Н. Муратова, Д. А. Семенов, М. В. Трушин, Е. В. Унжаков

Петербургский институт ядерной физики им. Б. П. Константинова
Национальный исследовательский центр “Курчатовский институт”, 188300 Гатчина, Россия

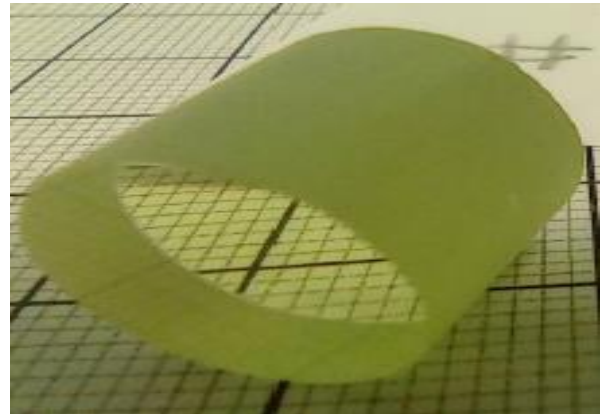
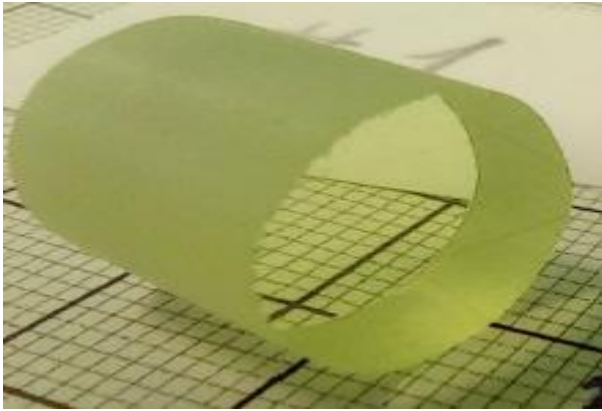


В результате получено новое ограничение на константы связи аксиона с нуклонами $|(g^3_{AN} + g^0_{AN})| \leq 8.89 \times 10^{-6}$ (90% у.д.), которое соответствует новым ограничениям на массу аксиона $m_A \leq 141$ эВ и $m_A \leq 244$ эВ в моделях KSVZ- и DFSZ-аксиона. В предыдущих работах по поиску резонансного поглощения монокроматических аксионов ядрами ^{57}Fe , ^7Li и ^{83}Kr получены верхние пределы на массу для KSVZ-аксиона, которые составляют величины 145 эВ, 13.9 кэВ и 65 эВ, соответственно.

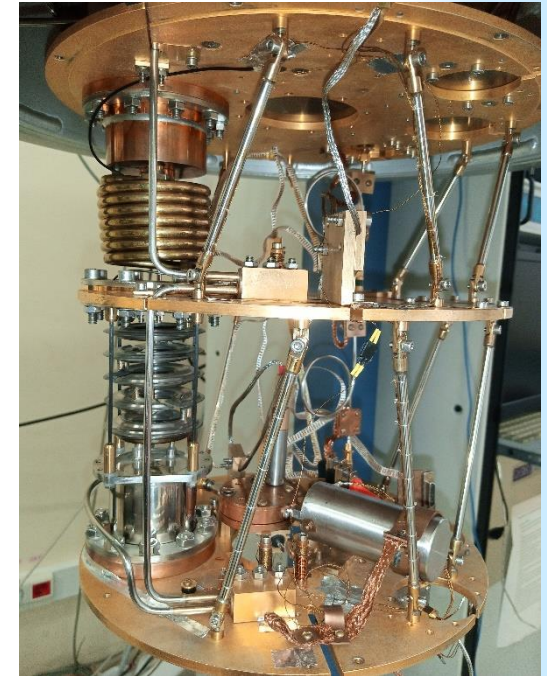
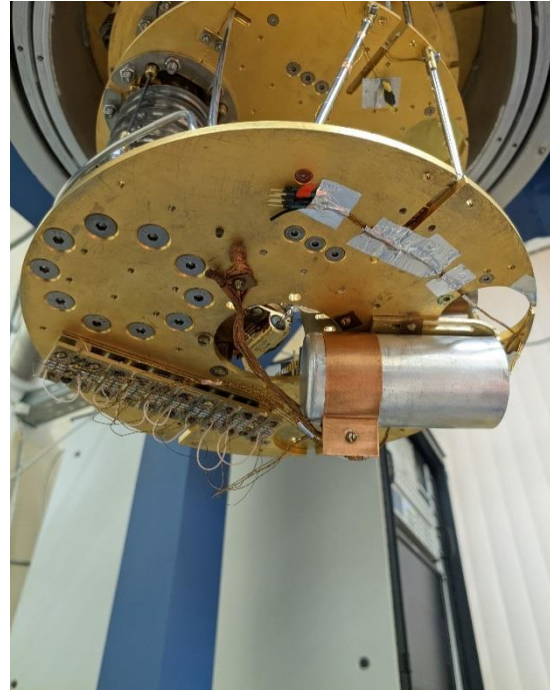
Впервые выполнен поиск резонансного возбуждения 1-го ядерного уровня ^{169}Tm с энергией 8.4 кэВ солнечными аксионами с энергией 8.4 кэВ, потоки которых были вычислены. Для регистрации использовался болометр на основе тулиевого граната. В результате получено новое ограничение на константы связи аксиона с нуклонами $|(g^3_{AN} + g^0_{AN})| \leq 8.89 \times 10^{-6}$ (90% у.д.), которое соответствует новым ограничениям на массу аксиона $m_A \leq 141$ эВ и $m_A \leq 244$ эВ в моделях KSVZ- и DFSZ-аксиона.

Новые кристаллы $Tm_3Al_5O_{12}$ и криогенная установка в НГТУ

Лаборатория сверхпроводниковой наноэлектроники
Нижегородский технический университет им. Р.Е. Алексеева



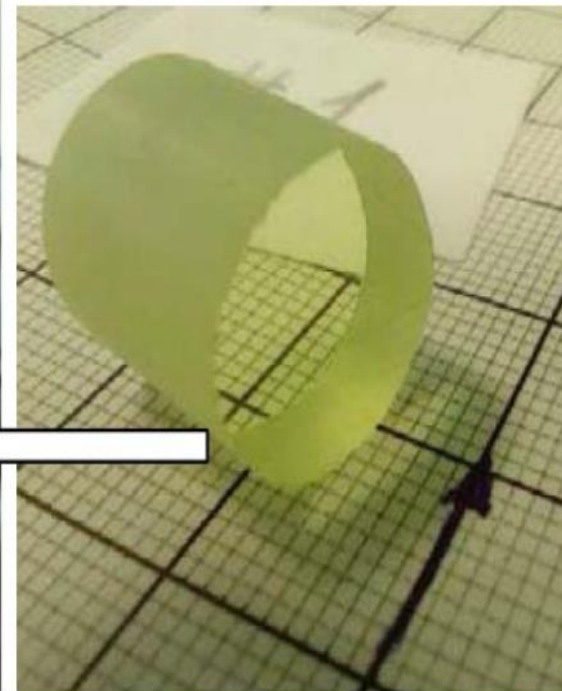
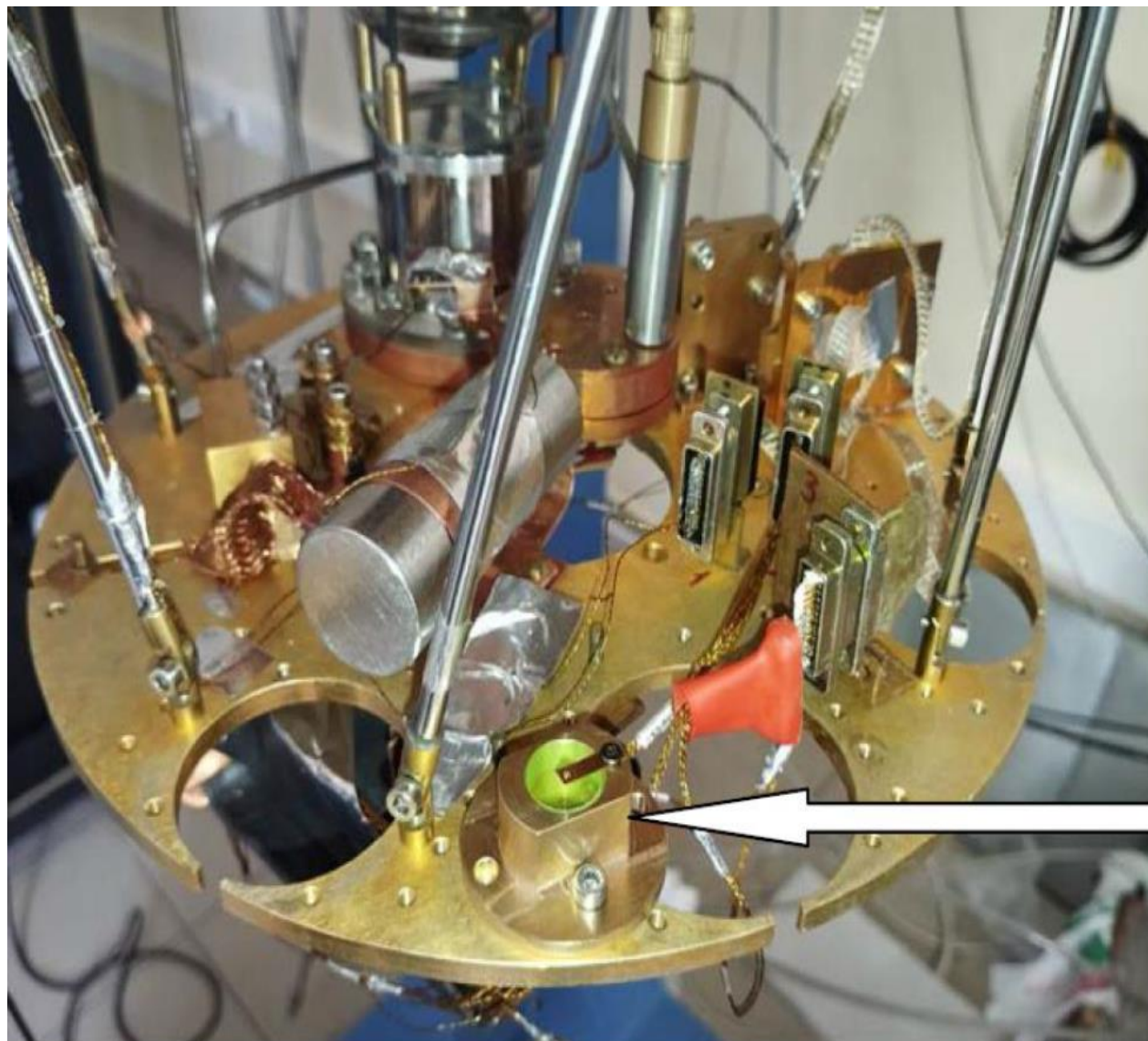
4 кристалла, масса 10 г
диаметр 12 мм, высота 12 мм



Лаборатория сверхпроводниковой наноэлектроники
обладает уникальным оборудованием для проведения
исследований при температурах до 10 мК.

Можно ожидать, что с новыми кристаллами в подземной лаборатории чувствительность к g_{Au} и g_{Ae} будет сравнима с результатами ^{83}Kr -эксперимента. При этом для Tm отсутствует неопределенность в ЯМЭ, которая может привести к существенному уменьшению вероятности регистрации аксиона в Kr -эксперименте.

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



IAXO: International Axion Observatory



PUBLISHED FOR SISSA BY SPRINGER

RECEIVED: October 26, 2020

REVISED: March 5, 2021

ACCEPTED: April 16, 2021

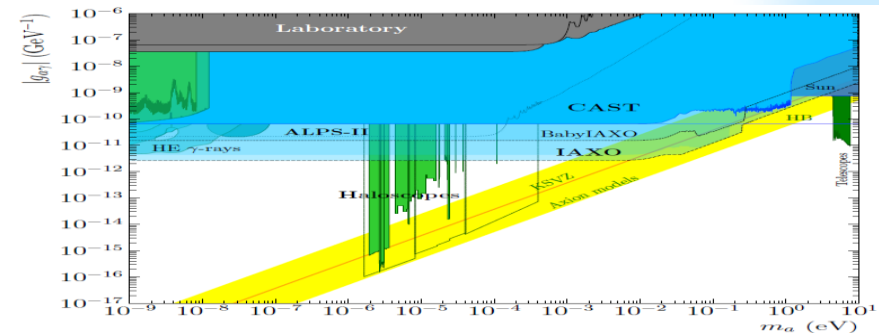
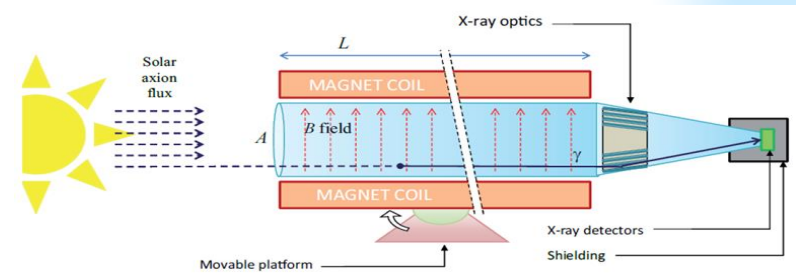
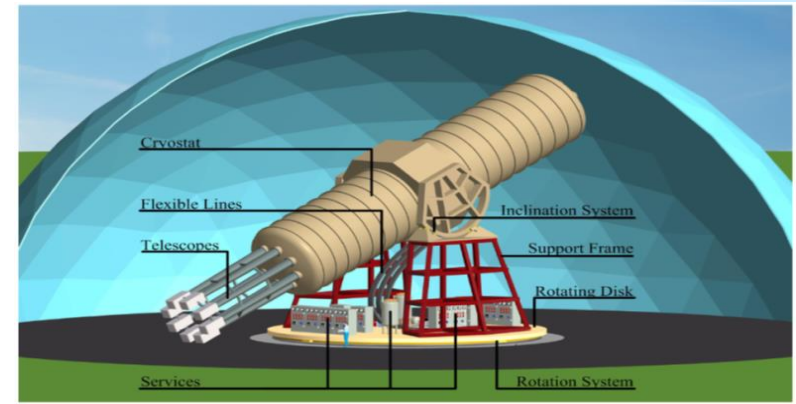
PUBLISHED: May 17, 2021

Conceptual design of **BabyIAXO**, the intermediate stage towards the International Axion Observatory



The IAXO collaboration

A. Abeln¹, K. Altenmüller², S. Arguedas Cuendis³, E. Armengaud⁴, D. Attié⁴, S. Aune⁴, S. Basso⁵, L. Bergé⁶, B. Biasuzzi⁴, P.T.C. Borges De Sousa³, P. Brun⁴, N. Bykovskiy³, D. Calvet⁴, J.M. Carmona², J.F. Castel², S. Cebrián², V. Chernov^{7,8}, F.E. Christensen⁹, M.M. Civitani⁵, C. Cogollos^{10,11}, T. Dafni², A. Derbin¹², K. Desch¹³, D. Díez², M. Dinter²¹, B. Döbrich³, I. Draehnev¹², A. Dudarev³, L. Dumoulin⁶, D.D.M. Ferreira⁹, E. Ferrer-Ribas⁴, I. Fleck¹⁴, J. Galán², D. Gascón^{10,11}, L. Gastaldo¹, M. Giannotti¹⁵, Y. Giomataris⁴, A. Giuliani⁶, S. Gninenko⁸, J. Golm^{3,16}, N. Golubev⁸, L. Hagge²¹, J. Hahn¹⁴, C.J. Hailey¹⁷, D. Hengstler¹, P.L. Henriksen⁹, T. Houdy^{22,23}, R. Iglesias-Marzoa¹⁸, F.J. Iguez¹⁹, I.G. Irastorza^{2,a}, C. Iniguez¹⁸, K. Jakovčić²⁰, J. Kaminski¹³, B. Kanoute¹⁹, S. Karstensen²¹, L. Kravchuk⁸, B. Lakić²⁰, T. Lasserre⁴, P. Laurent⁴, O. Limousin⁴, A. Lindner²¹, M. Loidl²⁴, I. Lomszkaya¹², G. López-Alegre¹⁸, B. Lubasandorzhiev⁸, K. Ludwig²¹, G. Luzón², C. Malbrunot³, C. Margalejo², A. Marin-Franch¹⁸, S. Marnieros⁶, F. Marutzky²¹, J. Mauricio^{10,11}, Y. Menesguen²⁴, M. Mentink³, S. Mertens^{22,23}, F. Mescia^{10,11}, J. Miralda-Escudé^{10,25}, H. Mirallas², J.P. Mols⁴, V. Muratova¹², X.P. Navick⁴, C. Nones⁴, A. Notari^{10,11}, A. Nozik^{7,8}, L. Obis², C. Oriol⁶, F. Orsini¹⁹, A. Ortiz de Solórzano², S. Oster²¹, H.P. Pais Da Silva³, V. Pantuev⁸, T. Papaevangelou⁴, G. Pareschi⁵, K. Perez²⁶, O. Pérez², E. Picatoste^{10,11}, M.J. Pivovarov^{27,28}, D.V. Poda⁶, J. Redondo², A. Ringwald²¹, M. Rodrigues²⁴, F. Rueda-Teruel¹⁸, S. Rueda-Teruel¹⁸, E. Ruiz-Choliz²⁹, J. Ruz²⁷, E.O. Saemann²¹, J. Salvado^{10,11}, T. Schiffer¹³, S. Schmidt¹³, U. Schneekloth²¹, M. Schott²⁹, L. Seguí⁴, F. Tavecchio⁵, H.H.J. ten Kate³, I. Tkachev⁸, S. Troitsky⁸, D. Unger¹, E. Unzhakov¹², N. Ushakov⁸, J.K. Vogel²⁷, D. Voronin⁸, A. Weltman³⁰, U. Werthenbach¹⁴, W. Wuensch³, A. Yanes-Díaz¹⁸



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

Основные результаты работы в 2023 г.

1. Совместно с участниками международной коллаборации **Борексино** получены новые результаты по регистрации нейтрино из **CNO-цикла** на Солнце на всем наборе данных с использованием метода выделения интегрального направления солнечных нейтрино. Скорость счета **CNO-нейтрино** составляет $6.7^{+1.2}_{-0.8}$ отсч. / (100 т сут.), что соответствует потоку $6.7^{+1.2}_{-0.8} \times 10^8 \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, в предположении LMA MSW осцилляционного решения. Результаты опубликованы в журнале “**Phys. Rev.D**”.
2. Опубликованы результаты прецизионных измерений бета-спектров источника ^{144}Ce - ^{144}Pr , который является наиболее подходящим для изучения осцилляций нейтрино в стерильное состояние на коротких расстояниях. Результаты получены с использованием бета-спектрометров двух типов и опубликованы в журналах **Phys. At. Nucl.**, **NIM A** и **Письма ЖТФ (2023)**
3. Группа ПИЯФ подготовила и опубликовала статью от коллаборации Борексино по поиску нейтринного излучения от 74 гравитационных событий, связанных со слиянием черных дыр и нейтронных звезд. Результаты опубликованы в **Europ.Phys.J. C (2023)**.
4. Совместно с участниками международной коллаборации DarkSide получены новые верхние пределы для сечения взаимодействия частиц темной материи с веществом. Рассмотрено взаимодействие WIMPs с электроном, аксионоподобных частиц и темных фотонов, а также реликтовых стерильных нейтрино.
5. Продолжены работы по подготовке болометрических детекторов совместно с НГТУ им. Р.Е. Алексеева. В 2023 году мы установили кристалл тулиевого граната в низкотемпературный криостат лаборатории сверхпроводниковой наноэлектроники. В 2023 году мы продолжили работы по выращиванию кристаллов $\text{Tm}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ в Институте общей физики РАН.
6. Проведен поиск аксионов с энергией 8.4 кэВ. Получены новые ограничения на массу аксиона в KSVZ- и DFSZ-моделях аксиона.
7. Продолжена разработка калибровочного источника нейтронов на основе **^{252}Cf** , совмещенного с **Si(Li)**- и SiSB детекторами для нейтринных экспериментов. Проводилось изучение радиационной стойкости Si-детекторов при регистрации альфа-частиц и осколков деления. Результаты приняты в ИПИ.
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.

Спасибо за внимание!