Отдел полупроводниковых ядерных детекторов

Лаб. низкофоновых измерений

А.В. Дербин внс, дфмн,
 В.Н. Муратова, нс, кфмн
 С.В. Бахланов вед. инж.

4) Д.А. Семенов, мнс. кфмн

5) И.М. Котина, снс, кфмн

- 6) Н.В. Базлов, нс
- 7) Е.В. Унжаков, мнс.
- 8) А.С. Каюнов, мнс
- 9) Г.В. Пацекина, нс
- 10) Л.М.Тухконен нс
- 11) И.С. Драчнев 6 курс->асп.
- 12) П. Шакина, лаборант
- 13) Н. Пилипенко, 4 курс СПбГУ

В отделе 33 (26) чел. внс – 3; снс – 2; нс – 4; мнс – 3; асп. -2; вед.инж.-12; инж. тех.-4; рег. ап. -1; сл.мех.-1; студ.совм. – 1; Гр. физики и технологии ППД 1) А.Х. Хусаинов внс, кфмн 2) А.К. Пустовойт снс кфмн 3) А.А. Афанасьев вед. инж.-эл 4) М.П. Жуков вед. инж.-эл 5) Н.Т. Кислицкий инж.-эл 6) Л.В. Силантьева инж.-эл 6) Л.В. Силантьева инж.-эл 7) П.И. Трофимов инж.-эл 8) Г.Э. Иващенко инж.-тех. 9) Л.И. Пащук инж.-тех. 10) Е.В. Федоров инж.-тех. 11) Т.А. Филиппова инж. 12) Е.А. Чмель инж.-тех.

Гр. радиохимии 1) А.И. Егоров внс, кфмн 2) Р.И. Крутова вед. инж. 3) В.М. Тюнис вед. инж.

Конст. – технологический уч.

- 1) Г.Е.Жихаревич инж.-технолог
- 2) А.Д. Майанцев инж.
- 3) А.П.Михайлов сл.мех.с
- 4) В.А.Радаев сл.мех.сб.р.
- 5) А.И.Терентьева вед. инж

Отдел полупроводниковых ядерных детекторов Лаборатория низкофоновых измерений



Состав (13 (9) чел.):

- А.В. Дербин внс, дфмн,
- С.В. Бахланов вед. инж.
- В.Н. Муратова, нс, кфмн
- Д.А. Семенов, мнс, кфмн
- И.М. Котина снс, кфмн
- Н.В. Базлов, нс
- Л.М. Тукхонен, нс
- Е.В. Унжаков, мнс
- А.С. Каюнов, мнс
- И.С. Драчнев, аспирант
- Г.В. Пацекина, нс
- П. Шакина, лаборант
- Н. Пилипенко, 4 курс СПбГУ
- 1ст+1лаб+1асп+3мнс+4нс+1снс+1внс





Лаборатория в 2014 году

Работы проводились по 3 основным направлениям: 1) Нейтрино, (эксперимент Borexino-солнечные и геонейтрино, **SOX**-стерильное нейтрино) 2) Темная материя (эксперименты по поиску аксионов (ПИЯФ, ІАХО, Гран Сассо) и эксперимент по поиску WIMPs (DarkSide) 3) Аморфно-кристаллические (aSi:H/cSi) структуры на кремнии (рук. И.М. Котина доклад А.Х. Хусаинова 29.01.15)

Содержание доклада (30 мин.)

- 1) Наукометрические показатели лаборатории
- 2) Нейтрино в 2011- 2014 г.г.
- 3) Эксперимент Борексино в 2014 году. Новые результаты.
- 4) Регистрация рр-нейтрино от основополагающей ядерной реакции на Солнце
- 5) Стерильные нейтрино в Борексино проект SOX + GEO-v
- 6) Поиск частиц темной материи в эксперименте DarkSide в Гран Сассо (доклад Е. Унжакова).
- 7) Поиск солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ с помощью сцинтилляционного BGO болометра (доклад А. Каюнова).
- 8) Работы по созданию Тт-содержащего детектора для регистрации резонансного поглощения солнечных аксионов с непрерывным спектром
- 9) Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядром 83Kr в Баксанской нейтринной обсерватории

10) Планы на 2015 год.

Список публикаций в 2014 г.(18=12+6)

1. А.В. Дербин, Эксперименты с солнечными нейтрино, УФН 184 (2014) 555

2. G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Neutrinos from the primary proton-proton fusion process in the Sun, Nature 512 (2014) 7515, 383

3. G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Final results of Borexino Phase-I on low-energy solar neutrino spectroscopy, **Phys. Rev. D** 89, 112007 (2014)

4. G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Solar and geoneutrino physics with Borexino, Nucl. Instrum. Meth. A742, 250 (2014)

5. A.V. Derbin, L. Gironi, S.S. Nagorny, L. Pattavina, J.W. Beeman, F. Bellini, M. Biassoni, S. Capelli, M. Clemenza, I.S. Drachnev, E. Ferri, A. Giachero, C. Gotti, A.S. Kayunov, C. Maiano, M. Maino, V.N. Muratova, M. Pavan, S. Pirro, M. Sisti, D.A. Semenov, E.V. Unzhakov Search for axioelectric effect of solar axions using BGO scintillating bolometer, **Eur.Phys.J**. C74 (2014) 3035, arXiv:1405.3782

6. N. Rossi, G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) The Borexino Experiment: Recent results and future plans, Nuovo Cim. C037 (2014) 119

7. G. Ranucci, G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Low energy neutrinos, Int. J. Mod. Phys. Conf. Ser. 31 (2014) 1460285

8. E. Armengaud, .., A.V. Derbin,.. I.S.. Drachnev,.. V.N. Muratova et al., Conceptual Design of the International Axion Observatory (IAXO), JINST 9 (2014) T05002, arXiv:1401.3233

9. Yu.M. Gavrilyuk, A.M. Gangapshev, A.V. Derbin, V.V. Kazalov, H.J. Kim, Y.D. Kim, V.V. Kobychev, V.V. Kuzminov, Luqman Ali, V.N. Muratova, S.I. Panasenko, S.S. Ratkevich, D.A. Semenov, D.A. Tekueva, S.P. Yakimenko, E.V. Unzhakov, First result of the experimental search for the 9.4 keV solar axion reactions with Kr-83 in the copper proportional counter, . arXiv:1405.1271

10. D. D'Angelo, G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Recent Borexino results and prospects for the near future, arXiv:1405.7919

11. G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Borexino: recent solar and terrestrial neutrino results and description of the SOX project, Proceedings European Physical Society Conference on High Energy Physics, PoS EPS-HEP2013 (2014) 529-537

12. O. Smirnov., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (Borexino Coll.) Solar neutrino with Borexino: results and perspectives, arXiv:1410.0779 13. P. Agnes, ..., A.V. Derbin,..., V.N. Muratova, D.A. Semenov, E.V. Unzhakov et al., (DarkSide coll.) First Results from the DarkSide-50 Dark Matter Experiment at Laboratori Nazionali del Gran Sasso, arXiv:1410.0653

14. G. Bellini., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (SOX Coll.) Search for Sterile Neutrinos with the Borexino Detector. Proceeding of Particles and Nuclei International Conference, PANIC 2014

15. M. Agostini,..., A.V. Derbin,... V.N. Muratova et al., (SOX Coll.) SOX : Short Distance Neutrino Oscillations with Borexino, Nucl. Phys. B Proc. Suppl. (2014)

 А.С. Гоголев, Д. Хампай, М.П. Жуков, А.Х. Хусаинов, С.Б. Дабагов, А.П. Потылицын, А.С. Лысаков, Исследование характеристик кремниевого энергодисперсионного детектора с большой площадью чувствительной области, Известия вузов. Физика, п. 11, с. 278 (2014)
 Данишевский А.М., Котина И.М., Коньков О.И., Теруков Е.И., Тухконен Л.М, Фоточувствительность кремниевых аморфнокристаллических структур с инверсионным каналом, Письма ЖТФ т.40 в.9 стр.72 (2014)

18. Котина И.М., Данишевский А.М., Коньков О.И., Теруков Е.И., Тухконен Л.М., Сбор фотоносителей в высокоомных кремниевых аморфно-кристаллических структурах, **ФТП** т.48 в.9 стр.1198 (2014)

Доклады на конф. и семинары в 2014 г.(9=7+2)

1. А.В. Дербин, Поиски частиц темной материи, XLVII Зимняя школа ПИЯФ, март, 2014

2. V. N. Muratova, Search for axioelectric effect of solar axions using BGO- and Si- detectors, The 10th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISP 29 June 4 July 2014, CERN, Geneva, Switzerland

3. **A. V. Derbin**, Search for solar axions using resonant absorption by 7Li-, 57Fe-, 169Tn- and 83Kr-nuclei, The 10th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISP 29 June 4 July 2014, CERN, Geneva, Switzerland

4. **A. V. Derbin, V. N. Muratova**, Searches for solar axions using axioelectric effect in atoms and resonant absorption by nuclei, Seminar LNGS INFN, Gran Sasso, 30 October, 2014

5. **А.В. Дербин**, Поиск солнечных аксионов и использованием реакции аксиоэлектрического эффекта в атомах и резонансного поглощения в ядрах, Семинар кафедры ядерно-физических методов исследования, СПбГУ, 27 октября, 2014

6. **Н.В. Базлов, И.М. Котина, Л.М. Тукхонен, П.В. Щукарев**, Влияние химической обработки на электрофизические характеристики высокоомного кремния, XXVI Всероссийский симпозиум «Современная химическая физика», Туапсе, 20 сентября-1октябя (2014)

7. **Е.В. Унжаков от коллаборации DarkSide**, *Эксперимент DarkSide*, Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, "Физика фундаментальных взаимодействий", МИФИ, 17-21 ноября (2014)

8. **А.С. Каюнов,** С.В. Бахланов, А.В. Дербин, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, Е.В. Унжаков, *Поиск солнечных аксионов* 5.5 *МэВ с помощью аксиоэлектрического эффекта*. Международная сессия-конференция Секции ядерной физики ОФН РАН, "Физика фундаментальных взаимодействий", МИФИ, 17-21 ноября (2014)

9. **А.М.Данишевский, И.М.Котина, О.И.Коньков, Е.И.Теруков, Л.М.Тухконен,** Особенности фоточувствительности аморфно-кристаллических гетероструктур на высокоомном кремнии, IX Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» 7 июля-1 августа 2014, С.Петербург

Диссертации, аспирантура (2+1+1)

Подготовлены 2 кандидатский диссертации «Поиск солнечных аксионов с помощью резонансного поглощения ядрами 169Tm» (Е.В. Унжаков, 2015) «Поиск аксионовс энергией 5.5 МэВ, возникающих в реакции р(d,3He)А на Солнце» (А.С. Каюнов, 2015)

Защищена 1 магистерская диссертация «Исследование характеристик кремниевых структур «металл-диэлектрик-полупроводник» с диэлектриком из нитрида алюминия» (И.Патраков, 2014, рук. И.М.Котина)

> Международная аспирантура GSSI & LNGS, Италия+Россия И. С. Драчнев (2013)

4 гранта РФФИ в 2014 г и 5 грантов в 2015 г.

Грант РФФИ - а «Поиск взаимодействия аксионов с атомами и атомными ядрами» (рук. В.Н. Муратова)

Грант РФФИ – офи-м «Поиск аксионов темной материи и солнечных аксионов» (рук. В.Н. Муратова)

Грант РФФИ – а «Поиск солнечных адронных аксионов» (рук. А. Гапгашев, ИЯИ БНО)

Грант РФФИ_ASPERA «Программа совместных разработок детекторов нейтрино низких энергий» (рук. Л.Б. Безруков, ИЯИ)

Грант РФФИ - а «Поиск стерильного нейтрино с детектором Borexino: измерение зависимости световыхода сцинтиллятора от энергии электрона» (рук. А.В. Дербин)

2011 – год нейтрино

Март: стерильное нейтрино новые вычисления спектра реакторных нейтрино R_{набл} / R_{пред} = 0.943±0.023 реакторная аномалия Июль: θ_{13} отличен от нуля T2K (Tokai to Kamioka) эксперимент $0.03(0.04) < \sin^2 2\theta_{13} < 0.28(0.34)$ at 90% C.L. Сентябрь: – сверхсветовые нейтрино CerN GranSasso OPERA $v-c/c = (2.48 \pm 0.58) \times 10^{-5}$ Апрель: LMA решение для нейтрино $A_{dn} = 0.001 \pm 0.012(stat) \pm 0.007 (syst)$ Сентябрь: рер-нейтрино (1.6±0.3)10⁸ ст⁻²s⁻¹ Borexino, **Декабрь:** θ_{13} Double Chooz 0.015< sin²2θ₁₃ <0.16 at 90% C.L.

2012 – год открытия θ_{13} и закрытия V/C >1



T2K coll., Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 041804 $0.03(0.04) < \sin^2 2\theta_{13} < 0.28(0.34)$ MINOS coll., Phys. Rev. Lett. 107 (2011) 181892 $0.01 < 2\sin^2 2\theta_{23} \sin^2 2\theta_{13} < 0.088$ Double Chooze coll., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 131801 $\sin^2 2\theta_{13} = 0.109 \pm 0.030(\text{stat}) \pm 0.025(\text{syst}).$ Daya Bay coll., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 171803 $\sin^2 2\theta_{13} = 0.089 \pm 0.010(\text{stat.}) \pm 0.005(\text{syst.})$ $\sin^2 2\theta_{13} = 0.084 \pm 0.005 \ \delta m_{ee}^2 = (2.44 \pm 0.1) \times 10^{-3} \text{ eV}^2$ (2014) RENO coll., Phys. Rev. Lett. 108 (2012) 191802 $\sin^2 2\theta_{13} = 0.113 \pm 0.013(\text{stat}) \pm 0.019(\text{syst})$

 $-1.8 \times 10^{-6} < (v - c)/c < 2.3 \times 10^{-6}$ LVD coll. PRL 109, 070801 (2012) Borexino coll. arXiv:1207.6860 ICARUS coll. arXiv:1208.2629 OPERA coll. arXiv:1212.1276



2013 – год открытия астрофизических нейтрино



28 (37-2014) событий с энергией выше 30 ТэВ зарегистрированы детектором **IceCube**. Это значение на 4.3 (5.7) **о** отличается от ожидаемого для мюонных нейтрино. В тоже время значение согласуется с предсказаниями для рождения нейтрино высокоэнергетическими космическими лучами реакциях pp, pγ.

2014 – регистрация солнечных рр-нейтрино

NATURE

«Physics World's Top Ten Breakthroughs of 2014»

ARTICLE

doi:10.1038/nature1370

Neutrinos from the primary proton-proton fusion process in the Sun

Borexino Collaboration*

In the core of the Sun, energy is released through sequences of nuclear reactions that convert hydrogen into helium. The primary reaction is thought to be the fusion of two protons with the emission of a low-energy neutrino. These so-called *pp* neutrinos constitute nearly the entirety of the solar neutrino flux, vastly outnumbering those emitted in the reactions that follow. Although solar neutrinos from secondary processes have been observed, proving the nuclear origin of the Sun's energy and contributing to the discovery of neutrino oscillations, those from proton-proton fusion have hitherto eluded direct detection. Here we report spectral observations of *pp* neutrinos, demonstrating that about 99 per cent of the power of the Sun, 3.84×10^{33} ergs per second, is generated by the proton-proton fusion process.

Neutrinos spotted from Sun's main nuclear reaction

Aug 27, 2014 <u>9 comments</u>



Physicists working on the Borexino experiment in Italy have successfully detected neutrinos from the main nuclear reaction that powers the Sun. The number of neutrinos observed by the international team agrees with theoretical predictions, suggesting that scientists do understand what is going on inside our star.

"It's terrific," says <u>Wick Haxton</u> of the University of California, Berkeley, a solar-neutrino expert who was not involved in the experiment. "It's been a long, long, long time coming." Each second, the Sun converts 600 million tonnes of hydrogen into helium, and 99% of the energy generated arises from the so-called proton–proton chain. And 99.76% of the time, this chain starts when two protons form deuterium (hydrogen-2) by coming close enough together that one becomes a neutron, emitting a positron and a low-energy neutrino. It is this low-energy neutrino that physicists have now detected. Once this reaction occurs, two more quickly follow: a proton converts the newly minted deuterium into helium-3, which in most cases joins another helium-3 nucleus to yield helium-4 and two protons.

Новые результаты Борексино (2014 г.)

рр-нейтрино.

2013 год -

- Тяжелее стерильное нейтрино.
- Новые данные по гео нейтрино.
 - Подготовка стерильное нейтрино SOX
- Возможность регистрации рр-нейтрино,
- магнитного момента, ..
 - 2012 год А_{solar} и V_{neutrino}
 Солнечные аксионы.
 Скорость нейтрино.
 Начало Фазы 2
- 2011 год ⁷Ве-, рер-, СNО-у 1. Вариации день-ночь для 7Ве-у 2. Обнаружены *рер*-нейтрино 3. Поток 7Ве-у измерен с 5% точ.
 - 2010 год антинейтрино 1. Гео-нейтрино 2. Солнечные анти-нейтрино
 - 3. Фоновые анти-нейтрино

4. Переходы в ¹²С с нарушением ПП

411

the all all

Детектор БОРЕКСИНО (BOREXINO)



ФЭУ, стальная и нейлоновая сферы



Национальная лаборатория Гран Сассо





Подземная лаборатория Гран-Сассо



Borexino collaboration



Рабочие группы и вклад ПИЯФ в 2014 г.

Входим в состав 6 (из 13) рабочих групп: 1) ⁷Ве-нейтрино, 2) Мюоны и нейтроны, 3) Анти-нейтрино, **4) рр-нейтрино,** 5) Редкие процессы (председатель) 6) Стерильное нейтрино (SOX)

1. В составе рабочей группы «рр-нейтрино» готовили статью в Nature.

2. Определен возможный вклад в фон Borexino от 87Rb.

3. Работа в Гран Сассо - 8 чел./мес. на экспериментах Borexino и DarkSide

4. Группа «Редкие Процессы» готовит статью от коллабораци по нестандартным взаимодействиям нейтрино («барионное» нейтрино)

5. Поиск корреляции v-событий с с гамма-вспышками (GRB)



рр-: 4p→⁴He +2e⁺ + 2v_e + (26. 7 МэВ) и СNО-цикл



Солнце производит энергию путем превращения водорода в гелий. Полная выделяемая энергия 26.7 МэВ, из которой 0.6 МэВ уносят нейтрино.



Основная задача БОРЕКСИНО -

регистрация упругого рассеяния ⁷Ве-нейтрино на электроне успешно решена, поток ⁷Ве-v измерен с точностью 5%.



Наиболее интенсивный поток pp-нейтрино составляет 6 10¹⁰ v/см²сек, ⁷Be – нейтрино – 5 10⁹, ⁸B-нейтрино - 6 10⁶. Реактор – 10¹³ v/см²сек

Нейтрино из рр-цепочки



Поток ⁷Ве-нейтрино измерен с 4.8%

Precision measurement of the ⁷Be solar neutrino interaction rate in Borexino" PRL 107 141302 (2011)







Ожидаемая скорость счета в 200 раз меньше чем для ⁷Венейтрино. Порог 3.0 МэВ связан с регистрацией *ү*-пика 2.614 МэВ.

Отбор событий 1. Мюонное вето 2. Центральный объем массой 100 т 3. Удаление событий в интервале 2 мс после мюонов пересекающий танк (нейтроны) + 5 s после мюонов, пересекающих SSS 8Li, 6He (23.4% м. вр.) 4. Удаление ²¹⁴Ві-Ро событий 5. Учет событий ¹⁰С 6. Учет событий ²⁰⁸ТІ исходя из числа ²¹²ВіРо совпадений

Обнаружение рер-нейтрино: p+p+e→d+v



Детекторы солнечных нейтрино показали, что в Солнце действительно происходят ядерные реакции. Поток рер-нейтрино предсказан с точностью 1.2%. СNO нейтрино меняется в ~2 раза для high и low Z.

рр-цепочка ядерных реакций на Солнце



Скорость - p+p \rightarrow d+e⁺+v – τ ~ 10¹⁰ лет: p+d \rightarrow 3He +γ - τ ~ 6 мин

Выделение сигнала от рр-нейтрино

Physics of Atomic Nuclei, Vol. 67, No. 11, 2004, pp. 2066–2072. From Yadernaya Fizika, Vol. 67, No. 11, 2004, pp. 2087–2093. Original English Text Copyright © 2004 by Derbin, Smirnov, Zaimidoroga.

2004

= RARE PROCESSES AND ASTROPHYSICS

On the Possibility of Detecting Solar *pp* Neutrino with the Large-Volume Liquid Organic Scintillator Detector^{*}

A. V. Derbin¹), O. Yu. Smirnov^{2)**}, and O. A. Zaimidoroga²) Received January 20, 2004

Abstract—It is shown that a large-volume liquid organic scintillator detector with an energy resolution of 10 keV at 200 keV (1 σ) will be sensitive to solar *pp* neutrinos, if operated at the target radiopurity levels for the Borexino detector or the solar neutrino project of KamLAND. © 2004 MAIK "Nau-ka/Interperiodica".



Figure 2: Signal and background shape for the SSM neutrino fluxes in the LMA MSW solution. The ${}^{14}C$ content is $2 \times 10^{-18} g/g$. The concentrations of the main contributors to the background are listed in table. The detectors mass is 10 tons. The resolution is calculated with the assumption of 100% geometrical coverage using CTF-1 light output for the liquid scintillator (i.e. 1800 p.e./MeV) and is assumed to be $\frac{1}{\sqrt{N_{p.e.}}}$. Shown signals correspond to 1 year of the data taking.

Проблемы: 1. 14 С – E0 = 156 кэВ Рр-v – 420 кэВ -> 261 кэВ 2. Активность 14 С/ 12 С ~ 10⁻¹² 0 м.в.э. Вогехіпо 14 С/ 12 С = 2.7 10⁻¹⁸ 3. Форма спектра 14С Shape factor (1+ α E) 4. Наложения импульсов 14С 5. Форма спектра наложений 6. Энергетическое разрешение 7. Пространственное разрешение 8. 85Kr E₀=687 кэВ T_{1/2} = 10.8 у 9. 87Rb E₀=273 кэВ T_{1/2} = 4.8x10¹⁰ у 10. 210Bi, 7Be-v, CNO



28-30 января 2015

Основные компоненты спектра Борексино



Результат фита в области 165 – 590 кэВ



408 суток ЖИВОГО времени январь 2012 май 2013: ΦΑ3Α ΙΙ (с окт. 2011) после очистки сцинтиллятора с зимы 2010 с более низким содержанием 75Kr и 210Bi

Вероятность «выживания» электронного нейтрино





Определенная мощность Солнца 3.84×10³³ эрг. Время необходимое для передачи тепла из центра к поверхности составляет ~ 10⁵ лет. Солнце находится в термодинамическом равновесии на этой временной шкале.

Пороги регистрации и спектры нейтрино



Порог регистрации SK, SNO и KamLand более 5 МэВ. До Борексино, SK и SNO KamLand только ~10⁻⁴ потока солнечных нейтрино регистрировали.

SAGE, GALLEX/GNO: $v_e^{+71}Ga \rightarrow {}^{71}Ge^{+e^{-1}}$

SAGE - радиохимический Ga-Ge эксперимент в Баксанской нейтринной обсерватории продолжает измерения

GALLEX/GNO в Гран Сассо



65 .4 $^{+3.1}_{-3.0}$ $^{+2.6}_{-2.8}$ SNU

67.6^{+4.0} +3.2 SNU

Подтвержден дефицит нейтрино, но величина не 0.3, а 0.5

28-30 января 2015

Сессия Ученого совета ОНИ ПИЯФ

Стерильное нейтрино: Борексине

Проект SOX: Short distance Oscillations with BoreXino

Источники нейтрино: 1) Калибровки детектора по энергии и эффективности 2) Поиска магнитного момента Стерильное нейтрино: 1) разрешение по координате 14 см при 1 МэВ 2) по энергии 5% при 1 МэВ два подхода к поиску осцилляций на короткой базе 1) Использовать абсолютную интенсивность 2) использовать зависимость скорости счета от расстояния



Три этапа поиска осцилляций нейтрино с источниками нейтрино ⁵¹Cr и ¹⁴⁴Ce

Гео-нейтрино – анти-v от распадов U, Th, ⁴⁰К

Physics Letters B 722 (2013) 295-300

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect



Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb

Measurement of geo-neutrinos from 1353 days of Borexino

Borexino Collaboration*

- ^a Dipartimento di Fisica, Università degli Studi and INFN, 20133 Milano, Italy
- ^b Chemical Engineering Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA
- ^c University of Hamburg, 22761 Hamburg, Germany
- ^d INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, SS 17 bis Km 18+910, 67010 Assergi (AQ), Italy
- ^e Physics Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA 24061, USA
- ^f APC, Université Paris Diderot, CNRS/IN2P3, CEA/Irfu, Obs. de Paris, Sorbonne Paris Cité, France
- ^g Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003, USA
- h Physics Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA
- ⁱ Lomonosov Moscow State University, Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Moscow 119234, Russia
- ^j Department of Physics, University of Houston, Houston, TX 77204, USA

^k St. Petersburg Nuclear Physics Institute, 188350 Gatchina, Russia

- ¹ NRC Kurchatov Institute, 123182 Moscow, Russia
- ^m Dipartimento di Fisica e Scienze della Terra, Università degli Studi and INFN, Ferrara I-44122, Italy
- ⁿ Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia
- ^o Physik Department, Technische Universität Muenchen, 85748 Garching, Germany
- ^p Institute for Nuclear Research, 03680 Kiev, Ukraine
- ^q Max-Planck-Institut für Kernphysik, 69029 Heidelberg, Germany
- ^r Dipartimento di Fisica, Università and INFN, Genova 16146, Italy
- ^s M. Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, 30059 Cracow, Poland
- ^t Dipartimento di Chimica, Università e INFN, 06123 Perugia, Italy
- ^u Physics and Astronomy Department, University of California Los Angeles, Los Angeles, CA 90095, USA

новая возможность узнать как устроена Земля



Тепловой поток (30 – 46) ТВт Природа неясна Гравитация, яд реактор, фазовые переходы, химические реакции Какова доля радиогенного (U, Th, 40K) тепла? Стандартная BSE модель предсказывает 19 ТВт

Планы коллаборации Борексино и новые задачи

- 0. Измерение pp нейтрино 0.+1 Магнитный момент
- $(\mu_{eff}, e \rightarrow v\gamma, v_H \rightarrow v_L\gamma)$
- 1. Измерение СПО- нейтрино
- 2. Стерильные нейтрино



- (144Се под детектором вместе с программой с.н.)
- 3. Увеличение статистики для антинейтрино, 7Ве-, 8В-, рер-нейтрино, редких процессов
- 4. Стерильные нейтрино (51Cr, 144Ce в центре)
- 5. Поиск двойного бета-распада с Борексино (¹³⁰Хе, ¹²⁵Nd)

Поиск частиц темной материи в 2014

1. Поиск рассеяния WIMPs (N1) на ядрах Ar в эксперимент DARKSIDE (доклад Е.Унжакова) 2. Поиск солнечных и реликтовых аксионов (N2) 2.1 Поиск аксиоэлектрического эффекта для 5.5 МэВ аксионов с помощью сцинтилляционного болометра (доклад А.Каюнова) ¹⁶⁹Тт-содержащего 2.2 Работы по созданию детектора для регистрации резонансного поглощения солнечных аксионов с непрерывным спектром

2.3 Поиск резонансного поглощения солнечных аксионов ядром ⁸³Кг в БНО ИЯИ

2.3 Участие в коллаборации **IAXO** – International Axion Observatory

DarkSide collaboration

Contents lists weakable at SolorenDirect Astroparticle Physics journal homepage: www.alsavier.com/locate/astropar

D. Akimov^k, T. Alexander^d, D. Alton^a, K. Arisaka^v, H.O. Back^m, P. Beltrame^v, J. Benziger¹, A. Bolozdynya^k, G. Bonfiniⁱ, A. Brigatti^r, J. Brodsky^m, L. Cadonati^x, F. Calaprice^m, A. Candelaⁱ, H. Cao^m, P. Cavalcanteⁱ,
A. Chavarria^m, A. Chepurnov^j, S. Chidzik^m, D. Cline^v, A.G. Cocco^s, C. Condon^m, D. D'Angelo^r, S. Davini^w, E. De Haas^m, A. Derbin^{*}, G. Di Pietro^{*}, I. Dratchnevⁿ, D. Durben^b, A. Empl^w, A. Etenko^k, A. Fan^v, G. Fiorillo^s,
K. Fomenkoⁱ, F. Gabriele^m, C. Galbiati^m, S. Gazzanaⁱ, C. Ghag^p, C. Ghianoⁱ, A. Goretti^m, L. Grandi^{m,*}, M. Gromov¹,
M. Guar^e, C. Guo^e, G. Guray^m, E. V. Hungerford^w, Al. Ianniⁱ, An. Ianni^m, A. Kayunovⁿ, K. Keeter^b, C. Kendziora^d,
S. Kidner^s, V. Kobychev^f, G. Koh^m, D. Korablev^h, G. Korga^w, E. Shields^m, P. Li^{*}, B. Loer^d, P. Lombardi^{*}, C. Love^o,
L. Ludhova^r, L. Lukyanchenko¹, A. Lund^x, K. Lung^v, Y. Ma^e, I. Machulin^k, J. Maricic^e, C.J. Martoff^o, Y. Meng^v,
E. Meroni^r, P.D. Meyers^m, T. Mohayai^m, D. Montanari^d, M. Montuschiⁱ, P. Mosteiro^m, B. Mount^b, V. Muratovaⁿ,
A. Nelson^m, A. Nemtzow^x, N. Nurakhov^k, M. Orsiniⁱ, F. Orticaⁱ, M. Pallavicini^q, E. Pantic^v, S. Parmeggiano^r,
R. Parsells^m, N. Pellicciaⁱ, L. Perasso^q, F. Perfetto^s, L. Pinsky^w, A. Pocar^x, S. Pordes^d, G. Ranucci^r, A. Razetoⁱ,
A. Romaniⁱ, N. Rossi^{i,m}, P. Saggeseⁱ, R. Saldanhaⁱ, C. Salvo^q, W. Sands^m, M. Seigar^u, D. Semenovⁿ,
M. Skorokhvatov^k, O. Smirnov^h, A. Sotnikov^h, S. Sukhotin^k, Y. Suvorov^v, R. Tartagliaⁱ, J. Tatarowicz^o, G. Testera^q,
A. Teymourian^v, J. Thompson^b, E. Unzhakovⁿ, R.B. Vogelaar^s, H. Wang^v, S. Westerdale^m, M. Wojcik^g, A. Wright^m,

Astr.P. 49(2013)44

28-30 января 2015

(DarkSide Collaboration)

25 институтов ^aPhysics and Astronomy Department, Augustana College, Sioux Falls, SD 57197, USA ^bSchool of Natural Sciences, Black Hills State University, Spearfish, SD 57799, USA ^cDepartment of Physics, Drexel University, Philadelphia, PA 19104, USA ^dFermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL 60510, USA *Institute of High Energy Physics, Beijing 100049, China ¹Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev 03680, Ukraine ⁸Smoluchowski Institute of Physics, Jagellonian University, Krakow 30059, Poland ^hJoint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia ⁱLaboratori Nazionali del Gran Sasso, SS 17 bis Km 18+910, Assergi (AQ) 67010, Italy ¹Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia ^kNational Research Centre Kurchatov Institute, Moscow 123182, Russia ¹Chemical Engineering Department, Princeton University Princeton, NJ 08544, USA ^mPhysics Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA пияф *St. Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina 188350, Russia ^oPhysics Department, Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA PDepartment of Physics and Astronomy, University College London, London WCI E 6BT, United Kingdom Physics Department, Università degli Studi and INFN, Genova 16146, Italy Physics Department, Università degli Studi and INFN, Milano 20133, Italy ² Physics Department, Università degli Studi Federico II and INFN, Napoli 80126, Italy Chemistry Department, Università degli Studi and INFN, Perugia 06123, Italy "Department of Physics and Astronomy, University of Arkansas, Little Rock, AR 72204, USA *Physics and Astronomy Department, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA *Department of Physics, University of Houston, Houston, TX 77204, USA *Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003, USA Physics Department, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, USA



First Results from the DarkSide-50

arXiv:1410.0653v2 [astro-ph.CO] 23 Dec 2014



Двухфазный жидкоаргоновый детектор. Пока достигнутая чувствительность на порядок хуже, чем в эксперименте XENON 100

28-30 января 2015

Сессия Ученого совета ОНИ ПИЯФ

Next generation DarkSide G-2 (3.6 t Ar)

Hindawi Publishing Corporation Advances in High Energy Physics Volume 2015, Article ID 541362, 8 pages http://dx.doi.org/10.1155/2015/541362 Research Article



The DarkSide Multiton Detector for the Direct Dark Matter Search

¹ Pacific Northwest National Laboratory, Richland, WA 99352, USA ² APC, Université Paris Diderot, Sorbonne Paris Cité, 75205 Paris, France ³ Physics and Astronomy Department, Augustana College, Sioux Falls, SD 57197, USA ⁴ Physics and Astronomy Department, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA ⁵ Physics Department, Princeton University, Princeton, NJ 08544, USA ⁶ Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL 60510, USA ⁷ Laboratori Nazionali del Gran Sasso, 67010 Assergi, Italy ⁸ Gran Sasso Science Institute, 67100 L'Aquila, Italy ⁹ Physics Department, Università degli Studi and INFN, 20133 Milano, Italy ¹⁰Physics Department, Università degli Studi Roma Tre and INFN, 00146 Roma, Italy ¹¹Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003, USA ¹²Physics Department, Università degli Studi and INFN, 09042 Cagliari, Italy ¹³Physics Department, Università degli Studi and INFN, 16146 Genova, Italy ¹⁴Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 11995 ¹⁵Physics Department, Università degli Studi Federico II and INFN, 80126 Napoli, Italy ¹⁶Department of Physics, University of Houston, Houston, TX 77204, USA ¹⁷Saint Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina 188350, Russia ¹⁸Department of Physics and Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, HI 96822, USA ¹⁹Joint Institute for Nuclear Research, Dubna 141980, Russia ²⁰Kavli Institute, Enrico Fermi Institute, and Department of Physics, University of Chicago, Chicago, IL 60637, USA ²¹Institute of High Energy Physics, Beijing 100049, China ²²Brookhaven National Laboratory, Upton, NY 11973, USA ²³IPHC, Université de Strasbourg, CNRS/IN2P3, 67037 Strasbourg, France ²⁴School of Natural Sciences, Black Hills State University, Spearfish, SD 57799, USA ²⁵Physics Department, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, USA ²⁶Institute for Nuclear Research, National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev 03680, Ukraine ²⁷SLAC National Accelerator Laboratory, Menlo Park, CA 94025, USA ²⁸National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow 123182, Russia ²⁹Physics Department, Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA ³⁰Smoluchowski Institute of Physics, Jagiellonian University, 30059 Krakow, Poland

³¹Department of Chemistry, Biology and Biotechnology, Università degli Studi and INFN, 06123 Perugia, Italy

³²Physics Department, University of California, Davis, CA 95616, USA

³³Lawrence Livermore National Laboratory, 7000 East Avenue, Livermore, CA 94550, USA





Сессия Ученого совета ОНИ ПИЯФ

ПИЯФ аксион в Particle Data Group (2014)

A^0 (Axion) and Other Light Boson (X^0) Searches in Nuclear Transitions											
VALUE	CL%	DOCUMENT ID		TECN	COMMENT						
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •											
$<$ 8.5 $ imes$ 10 $^{-6}$	90	90 DERBIN	02	CNTR	125mTe decay						
		⁹¹ DEBOER	97c	RVUE	M1 transitions						
$<~5.5 imes10^{-10}$	95	⁹² TSUNODA	95	CNTR	252 Cf fission, $A^0 \rightarrow ee$						
$<$ 1.2 $ imes$ 10 $^{-6}$	95	⁹³ MINOWA	93	CNTR	139 La $^{*} ightarrow~^{139}$ La \mathcal{A}^{0}						
< 2 $ imes$ 10 ⁻⁴	90	⁹⁴ HICKS	92	CNTR	35 S decay, ${\cal A}^0 ightarrow \gamma \gamma$						
$<~1.5 imes10^{-9}$	95	⁹⁵ ASANUMA	90	CNTR	²⁴¹ Am decay						
$<(0.4-10) \times 10^{-3}$	95	⁹⁶ DEBOER	90	CNTR	${}^{8}\text{Be}^{*} \rightarrow {}^{8}\text{Be}A^{0}$,						
$<(0.2-1) \times 10^{-3}$	90	⁹⁷ BINI	89	CNTR	$\begin{array}{ccc} A^0 \rightarrow e^+ e^- & 16_0 X^0 & 0 \end{array}$						

Invisible A^0 (Axion) MASS LIMITS from Astrophysics and Cosmology

VALUE (eV)	CL%	DOCUMENT ID TECN COMMENT									
• • • We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • •											
none 0.7–3 $ imes$ 10 5		¹⁶⁶ CADAMURO 11 COSM D abundance									
<mark><105</mark>	<mark>90</mark>	167 DERBIN 11A CNTR D, solar axion									
		¹⁶⁸ ANDRIAMON10 CAST K, solar axions									
< 0.72	95	169 HANNESTAD 10 COSM K, hot dark matter									
		170 ANDRIAMON09 CAST K, solar axions									
<mark><191</mark>	<mark>90</mark>	¹⁷¹ DERBIN 09A CNTR K, solar axions									
<334	95	¹⁷² KEKEZ 09 HPGE K, solar axions									
< 1.02	95	173 HANNESTAD 08 COSM K, hot dark matter									

28-30 января 2015

ПИЯФ аксион в Particle Data Group (2014)

Limit on Invisible <u>A⁰</u> (Axion) <u>Electron Coupling</u>											
The limit is for $G_{Aee}\partial_{\mu}\phi_{A}\overline{e}\gamma^{\mu}\gamma_{5}e$ in GeV ⁻¹ , or equivalently, the dipole-dipole											
potential $\frac{G_{Aee}^2}{4\pi} ((\boldsymbol{\sigma}_1 \cdot \boldsymbol{\sigma}_2) - 3(\boldsymbol{\sigma}_1 \cdot \boldsymbol{n}) (\boldsymbol{\sigma}_2 \cdot \boldsymbol{n}))/r^3$ where $\boldsymbol{n} = \boldsymbol{r}/r$.											
VALUE (GeV ⁻¹)	CL%	DO	CUMENT ID		TECI	<u>v</u> <u>c</u>	OMMENT				
• • • We do not use t	he followir	ng data	for averages	, fits,	limit	s, etc	. • • •				
$< 5.3 \times 10^{-8}$	90	¹ AE	BE	13D	XMA	AS S	olar axions				
${<}1.05\times10^{-9}$	90	² ARMENGAUD		13	EDE	EL n	$m_{\Delta 0} = 12.5 \text{ keV}$				
$<\!\!2.53 imes 10^{-8}$	90	³ AR	MENGAUD	13	EDE	EL S	olar axion				
		⁴ BA	RTH	13	CAS	ST S	olar axions				
$< 1.4 - 9.5 \times 10^{-4}$	90	^o DE	RBIN	13	CNT	FR n	$m_{A^0} = 0.1 - 1 { m MeV}$				
$<2.9 \times 10^{-5}$	68	⁶ HECKEL		13			$m_{oldsymbol{A}^0} \leq ~0.1~\mu{ m eV}$				
$<4.2 \times 10^{-10}$	95	_ (VI/	AUX	13A	AST	RL	ow-mass red giants				
$<7 \times 10^{-10}$	95	⁸ CC	RSICO	12	AST	R V	Vhite dwarf cooling				
$<2.2 \times 10^{-7}$	<mark>90</mark>	⁹ DE	RBIN	12	CNT	FR S	olar axions				
< 0.02-1 × 10 '	90			11		K n	$n_{A0} = 0.3 - 8 \text{ keV}$				
Invisible A ^v (Axion) Limits from Nucleon Coupling											
Limits are for the axion mass in eV.											
VALUE (eV)		CL%	DOCUMENT	T ID		TECN	COMMENT				
 ● ● We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. ● ● 											
$< 8.6 \times 10^3$		90	¹ BELLI		12	CNTR	Solar axion				
$< 1.41 imes 10^2$		90	² BELLINI		12в	BORX	Solar axion				
<1.45 × 10 ²		95	³ DERBIN		11	CNTR	Solar axion				
			⁴ BELLINI		08	CNTR	Solar axion				
⁵ ADELBERGER 07 Test of Newton's lav							Test of Newton's law				

Аксионы, возникающие в реакции $p + d \rightarrow {}^{3}He + A (5.5 M)$



Search for Solar Axions Produced in the $p+d
ightarrow {}^{3}\!\mathrm{He}\!+\!\mathrm{A}$ Reaction

A.V. Derbin^a, A.S. Kayunov^b and V. N. Muratova^c

arXiv:1007.3387v1 [hep-ex] 20 Jul 2010

St. Petersburg Nuclear Physics Institute, Russian Academy of Sciences, Gatchina, Russia 188300

ИЗВЕСТИЯ РАН. СЕРИЯ ФИЗИЧЕСКАЯ, 2010, том 74, № 6, с. 848–853 ПОИСК СОЛНЕЧНЫХ АКСИОНОВ, ВОЗНИКАЮЩИХ В РЕАКЦИИ р + d → ³He + *A*

© 2010 г. А. В. Дербин, А. С. Каюнов, В. Н. Муратова

Учреждение Российской академии наук Петербургский институт ядерной физики имени Б.П. Константинова РАН



Поиск 5.5 МэВ аксионов с помощью ВGO болометра.

Eur. Phys. J. C (2014) 74:3035 DOI 10.1140/epjc/s10052-014-3035-8 The European Physical Journal C

Regular Article - Experimental Physics

Search for axioelectric effect of solar axions using BGO scintillating bolometer

A. V. Derbin^{1,a}, L. Gironi^{2,3}, S. S. Nagorny^{4,5}, L. Pattavina⁴, J. W. Beeman⁶, F. Bellini^{7,8}, M. Biassoni^{2,3}, S. Capelli^{2,3}, M. Clemenza^{2,3}, I. S. Drachnev^{1,5}, E. Ferri^{2,3}, A. Giachero^{2,3}, C. Gotti^{2,3}, A. S. Kayunov¹, C. Maiano^{2,3}, M. Maino^{2,3}, V. N. Muratova¹, M. Pavan^{2,3}, S. Pirro⁴, D. A. Semenov¹, M. Sisti^{2,3}, E. V. Unzhakov¹

¹ St. Petersburg Nuclear Physics Institute, 188350 Gatchina, Russia

² INFN-Sezione di Milano Bicocca, 20126 Milano, Italy

³ Dipartimento di Fisica, Università di Milano-Bicocca, 20126 Milano, Italy

⁴ INFN-Laboratori Nazionali del Gran Sasso, Assergi, 67100 L'Aquila, Italy

⁵ Gran Sasso Science Institute, INFN, 67100 L'Aquila, AQ, Italy

⁶ Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA 94720, USA

⁷ INFN-Sezione di Roma, 00185 Rome, Italy

ПИЯФ + LUCIFER

Сотрудники ПИЯФ А.В. Дербин, И.С. Драчнев, А.С. Каюнов, В.Н. Муратова, Д.А. Семенов, Е.В. Унжаков являются ответственными авторами статьи.

Поиск 5.5 МэВ аксионов с помощью ВGO болометра.

В ПИЯФ проводится поиск аксиоэлектрического эффекта (аналога фотоэффекта) на атомах висмута для солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ, которые образуются в реакции захвата протона дейтерием – p+d→³He+A. Поскольку сечение а.е. эффекта пропорционально Z⁵, висмут (Z=83) является наиболее перспективным атомом. Впервые, для поиска аксионов использовался болометрический BGO детектор, охлажденный до температуры в несколько мК и расположенный в лаборатории ГранСассо



4 ВGO детектора размерами 5x5x5 см³ были установлены в 3He/4He криостат растворения. К каждому детектору был подсоединен Ge(NTD)-термистор, регистрирующий изменение температуры при выделении энергии.



Поиск 5.5 МэВ аксионов с помощью ВGO болометра.

В результате, в прямом лабораторном эксперименте исключена новая область возможных значений масс m_A и констант связи аксиона с электроном g_{Ae} и нуклонами g_{AN}^{3} , которая в 15 раз более строгая, чем полученная с обычным сцинтилляционным ВGO детектором.



1,2-BGO болометр: пределы на $|g_{Ae} \times g^{3}_{AN}| u |g_{Ae}|$, COOTBETCTBEHHO; 3 – солнечные и реакторные эксперименты; 4 – beam dump эксперименты; 5,6-BGO сцинтиллятор: пределы на $|g_{Ae} \times g^{3}_{AN}|$ и $|g_{Ae}|$; 7,8–Borexino результаты для $|g_{Ae} \times g^{3}_{AN}|$ И $|g_{Ae}|$; Соотношение между g_{Ae} и m_A KSVZ-моделей дпя DFSZ 11 аксиона показано.

Опубликовано в Eur. Phys. J. C74 (2014) 3035 Eur. Phys. J. C73 (2013) 2490

Solar axions spectra vs g_{Ay} , g_{Ae} and g_{AN}



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

28-30 января 2015

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} :

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

Photo effect crosssections are 4×10⁻²³ cm² (C) - 4×10⁻²⁰ cm² (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_v 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 ⁵⁷Fe nucleus is equal to 2.56 ×10⁻¹⁸ cm². Due to huge c.s.

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

Detection of axions via resonant excitation of nuclear levels

The axions can be produced when thermally excited nuclei (or excited due to nuclear reactions) in the Sun relaxes to its ground state and could be detected via resonant excitation of the same nuclide in a laboratory.



The monochromatic axions can excite the same nuclide in a laboratory, because the axions are Doppler broadened due to thermal motion of the axion emitter in the Sun, and thus some axions have suitable energy to excite the nuclide.

The axions from Primakoff, Compton and Bremsstrahlung processes with wide continues energy spectra can also excite low-lying levels of some nuclei. ¹⁶⁹Tm

Resonant absorption by ¹⁶⁹Tm nucleus



1,2—the spectra of the axions produced by the Compton process and the bremsstrahlung ($g_{Ae}=10^{-11}$). 3—spectrum of the axions produced by the Primakoff effect ($g_{A\gamma}=10^{-10}$ GeV⁻¹). The level scheme of the ¹⁶⁹Tm nucleus is shown in the inset.

The rate of solar axion absorption by the 169Tm:

$$R_A = \pi \sigma_{0\gamma} \Gamma \frac{d\Phi_A}{dE_A} (E_A = 8.4) \left(\frac{\omega_A}{\omega_{\gamma}}\right),$$

where $\sigma_{0\gamma}$ is a maximum cross section of γ -ray absorption. The experimentally derived value of $\sigma_{0\gamma}$ for ¹⁶⁹Tm nucleus is 2.6×10⁻¹⁹ cm². Width of energy level $\Gamma = 1.13 \times 10^{-10}$ keV.

The detection probability of the axions is determined by the product $g_{A\gamma}^2 \times g_{AN}^2$ and $g_{Ae}^2 \times g_{AN}^2$ which is preferable for small $g_{A\gamma}e$ values.

The search for resonant absorption of Primakoff, Compton and Bremsstrahlung solar axions by 169Tm nuclei have been performed using Si(Li) detector and Tm target. The expected axion count rate is proportional $R \sim g_{A\gamma}^2 \times g_{AN}^2$ for Primakoff axions and $R \sim g_{Ae}^2 \times g_{AN}^2$ for Bremsstrahlung and Compton axions.^{PL B 678 181 (2009) PRD83, 023505 (2011)}

Si(Li)-detector and Tm-target inside low background setups



To search for quanta with an energy of **8.41 keV**, the planar Si(Li) detector with a sensitive area diameter of **66 mm** and a thickness of **5 mm** was used. The detector was mounted on 5 cm thick copper plate that protected the detector from the external radioactivity. The detector and the holder were placed in a vacuum cryostat and cooled to liquid nitrogen temperatures. A Tm_2O_3 target of **2 g** mass was uniformly deposited on a Plexiglas substrate 70 mm in diameter at a distance of 1.5 mm from the detector surface. External passive shielding composed of copper, iron, and lead layers was adjusted to the cryostat and eliminated external radioactivity background by a factor of about **500**. The setup was located on the ground surface and was assembled of five $50 \times 50 \times 12$ cm³ plastic scintillators against the cosmic rays and fast neutrons.

Results of search for resonant absorption



Spectrum measured with 2 cm² Si(Li)-detector in the region 7.6-11.4 keV.**T**he limits on axionphoton (GeV⁻¹) and axion-nucleon couplings: Spectrum of 34 cm² Si(Li)-detector measured with 169Tm target. The limits on axion-electron and axion-nucleon couplings:

$$g_{A\gamma} \cdot \left| \left(g_{AN}^0 + g_{AN}^3 \right) \right| \le 9.2 \times 10^{-13} \quad g_{A\gamma} m_A \le 1.36 \times 10^{-14} \quad m_A \le 191 \text{ eV} \quad g_{Ae} \times \left| \left(g_{AN}^0 + g_{AN}^3 \right) \right| \le 2.1 \times 10^{-14},$$

Выращивание Тт-содержащих кристаллов



Выращены первые кристаллы вольфрамата и молибдата туллия - NaTm(W04)2 и NaTm(Mo04)2 с размерами 5x5x5 мм^3. Внешний вид кристаллов (габитус) - пластинчатый. Измерены спектры пропускания и поглощения таких кристаллов (см. приложенный файл). Масса тулия в кристалле составляет 50-200 мг, что, с учетом коэффициента электронной конверсии и эффективности регистрации, позволяет иметь чувствительность к поиску резонансного поглощения в 200 раз больше, чем в схеме Si(Li)-детектор – Tm-мишень. В настоящее время начаты работы по выращиванию кристаллов больших размеров в новой ростовой установке. Работа проводится совместно с Новосибирским Государственным Университетом.



Limits on axion-electron coupling g_{Ae}



$$g_{A\gamma} m_A \leqslant 1.36 \times 10^{-14}$$

$$m_A \leqslant 191 \text{ eV}$$
For bremsstrahlung and Compton's axions:
$$g_{Ae} \times |(g_{AN}^0 + g_{AN}^3)| \le 2.1 \times 10^{-14},$$

$$g_{Ae} \times m_A \le 3.1 \times 10^{-7} \text{ eV}.$$

IF the scheme of experiment –[Si(Li)detectors + Tm target] will be replaced by scintillation bolometer containing thulium, the sensitivity to axion flux can be increased in 10⁶ times in comparison with the present results.

New 83Kr experiment at the Baksan Neutrino Observatory



arXiv:1405.1271v1 [nucl-ex] 6 May 2014

First result of the experimental search for the 9.4 keV solar axion reactions with ⁸³Kr in the copper proportional counter¹

Yu.M. Gavrilyuk^a, A.M. Gangapshev^a, A.V. Derbin^b, V.V. Kazalov^a,
H.J. Kim^c, Y.D. Kim^d, V.V. Kobychev^e, V.V. Kuzminov^a, Luqman Ali^c,
V.N. Muratova^b, S.I. Panasenko^{a,f}, S.S. Ratkevich^{a,f}, D.A. Semenov^b,
D.A. Tekueva^a, S.P. Yakimenko^a, E.V. Unzhakov^b

^a Institute for Nuclear Research, RAS, Moscow, Russia
 ^b Petersburg Nuclear Physics Institute, St. Petersburg, Russia
 ^c Department of Physics, Kyungpook National University, Daegu, Republic of Korea
 ^d Institute of Basic Science, Daejeon, Republic of Korea
 ^e Institute for Nuclear Research of NAS Ukraine, Kiev, Ukraine
 ^f Kharkov National University, Kharkov, Ukraine

A large proportional counter (LPC) with a casing of copper is used. The LPC is a cylinder with inner and outer diameters of 137 and 150 mm, respectively. A gold-plated tungsten wire of 10 μ m in diameter is stretched along the LPC axis and is used as an anode. The fiducial length of the LPC is 595 mm, and the volume is 8.77 L. Gas pressure is 5.6 bar, and corresponding mass of the 83Kr-isotope in fiducial volume of the LPC is **101 g**. Kr was enriched by isotope 83Kr up to 58%. The LPC is surrounded by passive shield made of copper (20 cm), lead (20 cm) and polyethylene (8 cm). The setup is located at the depth of 4900 m w.e., where the cosmic ray flux is reduced by ~10⁷ times and evaluated as 2.6 muons m⁻² d⁻¹.



Background spectrum of Kr-detector



The peak of 13.5 keV from K-capture of ⁸¹Kr is well seen. ⁸¹Kr is cosmogenic isotope. It present as a trace admixture in the used samples of krypton. This isotope is produced in atmosphere mainly in reactions $_{82}$ Kr(n, 2n) $_{81}$ Kr and ⁸⁰Kr(n,)⁸¹Kr, the half-life time is $T_{1/2} = 2.1 \times 10^5$ y. There is no visible peak at 9.4 keV from axions.



⁸³Kr limits on axion coupling constants and mass



A search for resonant absorption of the solar axion by 83 Kr nuclei was performed using the proportional counter installed inside the lowbackground setup at the Baksan Neutrino Observatory. **The** obtained model independent upper limit on axion-nucleon couplings allowed us to set the new upper limit on the hadronic axion mass with the generally accepted values S=0.5 and z=0.56.

 $|g_{AN}^3 - g_{AN}^0| \le 1.69 \times 10^{-6},$

m_A ≤ 130 eV at 95% C.L.

The obtained limit on axion mass strongly depends on the exact values of the parameters S and z.

Limits on ⁸³Kr axion mass vs S and z



A negative value of the parameter β , together with broad intervals of possible values of S and z, leads to a **la**rge uncertainty in the expected probability for axion emission in the 9.4-keV M1 transition in the 83Kr nucleus, and this is a serious flaw in the present searches for such axions. The obtained limit on axion mass strongly depends on the exact values of the parameters S and z. **But** this is not the case for the other nucleus - 169Tm.

IAXO: International Axion Observatory



IAXO: International AXion Observatory

inst

PUBLISHED BY IOP PUBLISHING FOR SISSA MEDIALAB

RECEIVED: January 15, 2014 ACCEPTED: February 17, 2014 PUBLISHED: May 12, 2014

Conceptual design of the International Axion Observatory (IAXO)

^aCEA Irfu, Centre de Saclay, F-91191 Gif-sur-Yvette, France ^bPhysics Department, University of South Carolina, Columbia, SC, U.S.A. ^cEuropean Organization for Nuclear Research (CERN), Genève, Switzerland ^dIPHT, Centre d'Études de Saclay (CEA-Saclay), Gif-sur-Yvette, France ^eInstituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Trieste and Università di Trieste, Trieste, Italy ^fLaboratorio de Física Nuclear y Altas Energías, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain ⁸Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, CA, U.S.A. ^hLawrence Berkeley National Laboratory, U.S.A. ⁱDogus University, Istanbul, Turkey ^jPhysics Department, University of Haifa, Haifa, 31905 Israel ^kTechnical University of Denmark, DTU Space Kes, Lyneby, Denmark ПИЯФ ¹St. Petersburg Nuclear Physics Institute, St. Petersburg, Russia ^mPhysikalisches Institut der Universität Bonn, Bonn, Germany ⁿDeutsches Elektronen-Synchrotron DESY, Hamburg, Germany ^oAristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece ^pNational Center for Scientific Research "Demokritos", Athens, Greece ^qInstituto de Ciencias de las Materiales, Universidad de Valencia, Valencia, Spain ИЯИ ^rInstitute for Nuclear Research (INR), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia *Physics department, Ben Gurion Uiversity, Beer Sheva, Israel ^t Columbia Astrophysics Laboratory, New York, U.S.A. "Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kvoto University, Kvoto, Japan ^vTechnische Universität Darmstadt, IKP, Darmstadt, Germany "Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, 22761 Hamburg, Germany ^xInstitut de Ciències de l'Espai (CSIC-IEEC), Facultat de Ciències, Campus UAB, Bellaterra, Spain ^yAdvanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency, Tokai-mura, Ibaraki-ken, Japan ²Institut für theoretische Physik, Universität Heidelberg, Philosophenweg 16, 69120 Heidelberg, Germany ^{aa}Rudjer Bošković Institute, Zagreb, Croatia ^{ab}Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Tokyo, Japan ac University of Rijeka, Croatia ad Research Center for Low Temperature and Materials Sciences, Kyoto University, Kyoto, 606-8502 Japan ^{ae}Max-Planck-Institut für Physik, Munich, Germany ^{af} Department of Physics, Tokyo Institute of Technology, Tokyo, Japan ^{ag}Physics Department, Brookhaven National Lab, Upton, NY, U.S.A. ^{ah}Department of Physics, University of Florida, Gainesville, FL 32611, U.S.A. ai Department of Nuclear Engineering, University of California Berkeley, Berkeley, CA, U.S.A. ^{aj}University of Cape Town, South Africa 2014 – 40 институтов ^{ak}Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL, U.S.A. ^{al} Physics Department, University of Patras, Patras, Greece

Основные результаты работы лаборатории в 2014 г.

1. Коллаборацией Borexino, при активном участии сотрудников лаборатории низкофоновых измерений, получено прямое экспериментальное доказательство протекания основополагающей термоядерной реакции на Солнце, в которой два ядра водорода образуют дейтерий: p+p→d+e⁺+v. Реакция сопровождается испусканием нейтрино с граничной энергией 420 кэВ, которые и были зарегистрированы в эксперименте. Результаты опубликованы в журнале Nature (2013) и включены в список 10-ти важнейших результатов, достигнутых во всех областях физики в 2014 году.

2. Проведен поиск аксиоэлектрического эффекта для солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ на атомах висмута с помощью сцинтилляционных BGO болометров. Впервые из данной реакции установлены пределы на константы связи аксиона с электронами и нуклонами $|g_{Ae} \times g^{3}_{AN}| < 1.9 \times 10^{-10}$ (90% у.д.), которые в 15 раз более строгие, чем полученные со сцинтилляционным BGO-детектором. Результаты опубликованы в журнале European Physical Journal, C74 (2014) 3035 3. Сотрудники лаборатории продолжали работы по поиску солнечных и реликтовых аксионов с использованием реакций аксиоэлектрического

эффекта и резонансного поглощения и продолжали участвовать в работах коллабораций Borexino, SOX, DarkSide и IAXO.

1) ПИЯФ

а) Исследование болометрических и сцинтилляционных характеристик выращенных кристаллов вольфраматов и молибдатов тулия. Выращивание Tm(XY) кристаллов объемом более 1 см³ (ИНХ, НГУ). Измерения с Tm-болометром.

- б) Измерения QF для электронов (для SOX)
- в) ⁸³Kr, Lucifer, Poseidon, IAXO R&D работы.

2) Borexino и SOX- солнечные и стерильные нейтрино

- а) нестандартные взаимодействия нейтрино,
- б) корреляция нейтринных сигналов с гамма всплесками
- в) участие в работе 6-ти рабочих групп (СNO нейтрино) Драчнев в LNGS –> CNO нейтрино
- г) Семенов, Унжаков, Шакина –> 6 чел./ мес.на постдок
- 3) DarkSide темная материя
- а) Работы в ПИЯФ по подготовке DarkSide G2 (Ti, SiO₂, CF₂) + "удаленные дежурства"
 - б) Унжаков, Семенов –> 4 месяца LNGS
- 4) Новые IAXO, LUCIFER нейтрино, аксион

Отдел полупроводниковых ядерных детекторов Лаборатория низкофоновых измерений



НЕЙТРИНО АКСИОН ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

g_{Ay}

g_{AN}

g_{Ae}

 $\mathbf{g}_{Ae} \mathbf{x} \mathbf{g}_{Ae}$ $g_{Ae} x g_{A\gamma}$

BOREXINO POSEIDON DARKSIDE IAXO, **LUCIFER**



S

EXTRA SLIDES

Монитор нейтронов (ОПЯД+ЛНФ+ОАЭР)









Si(p)-детекторы с МДП структурой для регистрации нейтронов И.М.Котина, М.С.Ласаков, Л.М.Тухконен, А.И.Терентьева



Эффективность регистрации тепловых n's <1%. Мониторирование и бхн

Исследование фоточувствительности аморфнокристаллических гетероструктур

Обнаружен приповерхностный проводящий канал на гетерогранице в кристаллическом кремнии. Наличие проводящего канала обеспечивает сбор неравновесных носителей, возникающих при освещении областей, удаленных от электрода на расстояния, существенно превышающие их диффузионную длину. На основании таких структур могут быть изготовлены фотодиоды большой площади.



Фототок гетероструктуры a-Si:H/c-Si (ρ =2 kOm cm) при различном расстоянии освещения от контакта. Диаметр точки 3 мм диаметр образца 15 мм.

Фоточувствительность гетероструктуры а-Si:H/c-Si (ρ=40 kΩ cm, τ=500 µc, толщина аморфной пленки 200 Ă) – (черные кружки и фотодиода фирмы Hamamatsu (белые кружки).

Данишевский А.М., Котина И.М., Коньков О.И., Теруков Е.И., Тухконен Л.М.Письма ЖТФ 40, 9, 72 (2014) Котина И.М., Данишевский А.М., Коньков О.И., Теруков Е.И., Тухконен Л.М., ФТП 48, 9, 1198 (2014)

Спектрометрические блоки детектирования для рентгеновской диагностики термоядерной плазмы

Блоки детектирования разработаны на основе Si(Li) и p-i-n CdTe детекторов и обеспечивают эффективную регистрацию рентгеновского излучения с энергией до 150 кэВ. Энергетическое разрешение составляет 200 эВ для Si(Li) детектора и 500 эВ для p-i-n CdTe детекторе. Охлаждение детекторов производится миниатюрными термоэлектрическими охладителями. Два блока с Si(Li) детекторами поставлены в НИЦ КИ для установки Токамак T-10.



Блок Детектирования с СdTe p-i-n детектором, который будет поставлен в НИЦ КИ для регистрации рентгеновского излучения термоядерной плазмы

Рентгенофлуоресцентный анализ золотоносного песка и металлосодержащих фулеренов

Ранее разработанный прибор использовался для измерения содержания золота в отвальных песках добывающих комбинатов, микросхемах и содержания металлов в специальных фуллеренах. Энергетическое разрешение и чувствительность прибора были очень высокими, что позволяет определять содержание золота в песках при концентрациях выше 0,5 гр./тонну. При этом использовалась разработанная нами технология предварительного обогащения.



Автономный (аккумуляторное питание), полностью автоматизированный прибор для измерений содержания тяжелых металлов в красках, почве и других твердых носителях.



Спектр золотоносного песка с концентрацией золота 5 грамм на тонну. Характеристическое рентгеновское излучение золота выделено красной областью.

Quenching factor measurements (2014)











28-30 января 2015

Сессия Ученого совета ОНИ ПИЯФ