Отдел полупроводниковых ядерных детекторов

Лаб. низкофоновых измерений

А.В. Дербин внс, дфмн,
 В.Н. Муратова, нс, кфмн
 С.В. Бахланов вед. инж.
 Д.А. Семенов, мнс. кфмн
 Е.В. Унжаков, мнс.
 А.С. Каюнов, аспирант
 И.М. Котина снс кфмн
 Г.В. Пацекина нс
 Л.М.Тухконен нс
 З.М. Крот инж.-техн
 И.С. Драчнев 6 курс
 К.М. Жеронкин 5 курс
 И.С. Патраков 5 курс

В отделе 33 чел. внс – 3; снс – 2; нс – 3; мнс – 2; асп. -1; вед.инж.-12; инж. тех.-5; рег. ап. -1; сл.мех.-1; студ.совм. – 3; 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
- 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 (9.5) чел.): А.В. Дербин внс, дфмн, С.В. Бахланов вед. инж. В.Н. Муратова, нс, кфмн Д.А. Семенов, мнс, кфмн Е.В. Унжаков, мнс А.С. Каюнов, аспирант И.А. Патраков, 5 курс ЛЭТИ К.М. Жеронкин, 5 курс ЛЭТИ И.С. Драчнев, 6 курс СПбГУ И.М. Котина снс, кфмн З.М. Крот, вед.инж. Г.В. Пацекина, нс Л.М. Тукхонен, нс





Лаборатория в 2012 году

Работы проводились по 3 основным направлениям: 1) Нейтрино, (эксперимент Борексино, Италия +ПИЯФ Poseidon, стерильное нейтрино) 2) Темная материя (Солнечные аксионы + аксионы темной материи (работы выполняются в ПИЯФ) + аксионы в Борексино и WIMPs в DarkSide) 3) МДП структуры на кремнии (монитор нейтронов, датчик Н₂ рук. И.М. Котина доклад А.Х. Хусаинова 16.01.13)

Содержание доклада (30 мин.)

- 1) Наукометрические показатели лаборатории
- 2) Нейтрино в 2011- 2012 г.г.
- 3) Эксперимент Борексино в 2012 году. Новые и почти новые результаты.
- 4) Поиск солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ в Борексино
- 5) Измерение скорости нейтрино в Борексино
- 6) Поиск тяжелого стерильного нейтрино в 8В-распаде
- 7) Стерильные нейтрино в Борексино
- 8) Поиск аксионов с энергией 5.5 МэВ с помощью ВGO в ПИЯФ
- 9) Поиск солнечных аксионов и аксионов темной материи (с массой 1-10 кэВ) в ПИЯФ (доклад Е. Унжакова).
- 10) Подготовка экспериментов по поиску темной материи коллаборации DARK SIDE и RED
- 12) Планы на 2013 год, LENA и IAXO.

Список публикаций в 2012 г.(25)

1. Дербин А. В., Драчнев И. С., Каюнов А. С., Муратова В. Н., Ограничения на константу связи аксиона с электроном для солнечных аксионов, возникающих в результате тормозного излучения и комптоновского процесса. **Письма ЖЭТФ**, т.95. вып.7, с. 379-384 (2012).

2. Derbin A. V., Kayunov A. S., Muratova V. N., Search for neutrino oscillations at a research reactor, arXiv:1204.2449 (2012)

3. Abazajian K. N., .., Derbin A. V.,.., Muratova V. N., et al., Light Sterile Neutrinos: A White Paper, arXiv:1204.5379

4. Derbin A. V., Drachnev I.S., Kayunov A. S., Muratova V. N., Search for solar axions produced by Compton process and bremsstrahlung using axioelectric effect, arXiv:1206.4142 5. Акимов Д. Ю.,..., Дербин А.В.,.., (Коллаборация РЭД) Аппаратурный комплекс по измерению отклика жидкого аргона для ядер отдачи низких энергий на реакторе МИФИ, Ядерная физика и инжиниринг, том 3, № 6, с. 490–495 (2012)

6. Дербин А. В., Бахланов С.В., Драчнев И. С., Каюнов А. С., Муратова В. Н. Поиск солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ, возникающих в реакции р +d → 3He +A, принято в журнал Ядерная физика (2013)

7. Дербин А. В., Каюнов А. С., Муратова В. Н., Поиск осцилляций нейтрино на исследовательском реакторе (проект POSEIDON), принято в журнал Ядерная физика (2013)

8. Derbin A., Kayunov A., Muratova V., Semenov D., Unzhakov E., A Search for the Resonant Absorption of Solar Axions by Atomic Nuclei, Proceedings of the 7th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, edited K. Zioutas and M.Schumann, p. 112-115 (2012)

9. Derbin A.V and Muratova V.N. for Borexino coll., Search for 5.5 MeV Solar Axions Produced in p(d; 3He)A Reaction with Borexino Detector, Proceedings of the 7th Patras Workshop on Axions, WIMPs and WISPs, edited K. Zioutas and M. Schumann, p. 112-115 (2012)

10. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), First evidence of pep solar neutrinos by direct detection in Borexino, Phys. Rev. Lett. 108, 051302 (2012)

11. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Absence of day-night asymmetry of 862 keV Be-7 solar neutrino rate in Borexino and MSW oscillation parameters , **Physics Letters** B707, 22 (2012)

12. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Cosmic-muon flux and annual modulation in Borexino at 3800 m water-equivalent depth, Journal of Cosmology and Astroparticle Phys., 5, 015 (2012), arXiv:1202.6403 (2012)

13. Akimov D., ..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al., Light Yield in DarkSide-10: a Prototype Two-phase Liquid Argon TPC for Dark Matter Searches, arXiv:1204.6218 (2012) 14. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Solar neutrino physics with Borexino I, proceedings to Moriond 2012 EW session, arXiv:1205.2989 (2012)

15. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Borexino calibrations: Hardware, Methods, and Results, arXiv:1207.4816 (2012) 16. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Lifetime measurements of 214Po and 212Po with the CTF liquid scintillator detector at LNGS, arXiv:1212.1332 (2012)

17. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Measurement of CNGS muon neutrino speed with Borexino, arXiv:1207.6860 (2012)

18. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Kayunov A.S.,.. Muratova V.N. et al.), Search for Solar Axions Produced in $p(d,rm^{A}He)A$ Reaction with Borexino Detector, Physical Review D 85, 092003 (2012)

19. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Seasonal modulation in the Borexino cosmic muon signal, Proceedings of ICRC 2011 conference, arXiv:1109.3901 (2012)

20. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), The Recent Results of the Solar Neutrino Measurement in Borexino, Proceedings of the Recontres de Moriond EW session 2011, arXiv:1106.3055 (2012)

21. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Solar neutrino results with Borexino, Proceedings of Science, 36th International Conference on High Energy Physics, Melbourne, Australia (2012)

22. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Solar and Terrestrial Neutrino Results from Borexino, Nucl. Phys. B Proc. Suppl. v. 229-232, 74 (2012)

23. Borexino collaboration (Bellini G.,..., Derbin A.V.,..., Muratova V.N. et al.), Measurement of the solar 8B neutrino rate with 3 MeV energy threshold in the Borexino detector, **Nucl. Phys. B** Proc. Suppl. v. 229-232, 533 (2012)

24. Котина И.М., Ласаков М.С., Коньков О.И., Козлов С.М., Тухконен Л.М., Терентьева А.И., Датчик водорода на основе кремниевой МДП структуры с нанотолщинным диэлектриком из аморфного нитрида алюминия, Сб. "Аморфные и микрокристаллические полупроводники" стр.319-320 (2012). Труды 8-ой Международной конференции "Аморфные и микрокристаллические полупроводники". г.С-Петербург, 2012г.

25. Котина И.М., Ласаков М.С., Коньков О.И., Козлов С.М., Тухконен Л.М., Механизм водородной чувствительности кремниевой МДП структуры с нанотолщинным диэлектриком из нитрида алюминия, "Современная химическая физика", сб. аннотаций XXIV-ой конференции, г.Туапсе, 20сентября, 2012г.

Доклады на конференциях в 2012 г.(5)

Зимняя школа ПИЯФ, 2012 А.В. Дербин,

Борексино: солнечные и стерильные нейтрино

Hadron Structure and QCD: from LOW to HIGH energies" Gatchina, Russia, July 4 - July 8, 2012 Derbin A.V and Muratova V.N. for Borexino coll., BOREXINO: solar and sterile neutrino,

Borexino general meeting,

LNGS, Italy, 12-13 October 2012

. Derbin A., I. Drachnev, K. Fomenko, V. Muratova, O. Smirnov New limits on heavy sterile neutrino mixing in 8B-decay obtained with the Borexino detector

8-я МК «Аморфные и микрокристаллические полупроводники» С-Петербург, 2012г

<u>Котина И.М.,</u> Ласаков М.С., Коньков О.И., Козлов С.М., Тухконен Л.М., Терентьева А.И. Датчик водорода на основе кремниевой МДП структуры с нанотолщинным диэлектриком из аморфного нитрида алюминия

ХХІV-я РК «Современная химическая физика», Туапсе, 2012 Котина И.М., Ласаков М.С., Коньков О.И., Козлов С.М., Тухконен Л.М.,

Механизм водородной чувствительности кремниевой МДП структуры с нанотолщинным диэлектриком из нитрида алюминия,

+ доклады от коллабораций BOREXINO, RED, DARKSIDE

Диссертации (1+2), гранты(2) в 2012 г

Защищена 1 кандидатская диссертация «Поиск солнечных аксионов, излучаемых в М1-переходе ядер ⁵⁷Fe» (Д.В. Семенов)

Подготовлена 1 кандидатская диссертация «Поиск солнечных аксионов с помощью резонансного поглощения ядрами 169Tm» (Е.В. Унжаков, 2013)

Подготовлена 1 магистерская диссертация «Поиск аксионов с энергией 5.5 МэВ, возникающих в реакции p(d,³He)A с помощью BGO детекторов» (И.С. Драчнев. 2013)

Грант Cariplo Foundation and the Network-Centro A. Volta, Италия «Search for heavy sterile neutrino in 8B decay in the Sun» (B.H. Муратова)

Грант РФФИ_ASPERA

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

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 $\sin^2 2\theta_{13} = 0.089 \pm 0.010(\text{stat.}) \pm 0.005(\text{syst.})$ 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



Смешивание и осцилляции нейтрино, LMA MSW

$$\begin{pmatrix} v_e \\ v_\mu \\ v_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & c_{23} & s_{23} \\ 0 & -s_{23} & c_{23} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{13} & 0 & s_{13}e^{-i\delta} \\ 0 & 1 & 0 \\ -s_{13}e^{i\delta} & 0 & c_{13} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} c_{12} & s_{12} & 0 \\ -s_{12} & c_{12} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ v_3 \end{pmatrix}$$

2 угла смешивания и 2 Δm^2 масс измерены:

В веществе Солнца

 $\begin{aligned} &\tan^2 \theta_{12} = 0.47 \pm 0.06, \ \theta_{12} = (34\pm 2)^0, \\ &\sin^2 \theta_{23} = 0.5 \pm 0.15, \ \theta_{23} = (45 \pm 10)^0 \\ &\sin^2 \theta_{13} = 0.023 \pm 0.004, \\ &\theta_{13} = (9.6 \pm 1)^0 \\ &\operatorname{Im}^2_2 - \operatorname{m}^2_1 I = (7.6 \pm 0.2) \times 10^{-5} \, \mathrm{eV}^2 \\ &\operatorname{Im}^2_3 - \operatorname{m}^2_2 I = (2.3 \pm 0.2) \times 10^{-3} \, \mathrm{eV}^2 \end{aligned}$

Осцилляции в вакууме

 $v_e = v_1 Cos \theta_{12} + v_2 Sin \theta_{12}$ Амплитуда = $sin^2 2\theta_{12}$ Длина = L = (2.5 km) x E [ГэВ] / Δm^2 [эВ²].



Решение = Смешивание нейтрино + осцилляции в веществе = LMA+MSW

Новые результаты Борексино (2012 г.)

 Солнечные аксионы.
 Скорость нейтрино.
 Измерения в Фазе 2 после рекордного снижение фона – не видим ⁷⁵Kr; ²¹⁰Bi в 4 раза меньше. Возможности регистрации рр-нейтрино, магнитного момента, ...

2011 – год ⁷Ве-, рер-, CNO-v

COCKKXXXXX

Вариации день-ночь для 7Ве-v
 Обнаружены *рер*-нейтрино
 Поток 7Ве-v 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

the all all all Allo

Детектор БОРЕКСИНО (BOREXINO)



ФЭУ, стальная и нейлоновая сферы



Национальная лаборатория Гран Сассо





Подземная лаборатория Гран-Сассо



Состав коллаборации

Германия:

- Институт Макса Планка, Гейдельберг;
- Технический университет Мюнхена;

Италия:

Отделения Национального института ядерной физики в:

- Генуе;
- Милане;
- Перудже;

+ Лаборатория Гран Сассо;

Польша:

 Ягеллонский университет, Краков;

Россия:

- ОИЯИ, Дубна;
- Курчатовский Институт, Москва;
- ПИЯФ, Гатчина;
- НИИЯФ МГУ, Москва;

США:

- Принстонский университет;
- Технологический университет шт. Вирджиния;
- Массачусетский технологический институт

Франция:

 Седьмой Парижский университет.



Borexino collaboration





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

Поток ⁷Ве-нейтрино измерен с 4.8%

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



Вероятность выживания электронных нейтрино



Pee(0.862)=0.51 +/- 0.07

Вероятность выживания 7Ве- и 8В-нейтрино находится в согласии с LMA MSW. Pee(⁸B, 8.9) = 0.29±0.10 для модели BS07(GS98) SSM в согласии с результатами черенковских детекторов. Отвергнуты модели с нестандартным поведением Рее в переходной области.

Осцилляции нейтрино в Земле (эффект день-ночь)



⁸В нейтрино MSW LMA предсказывает ~2% асимметрию A_{dn}=2(R_n-R_d)/(R_n+R_d) Измеренные значения - SNO : And = 0.037±0.040 SKI: And = 0.021±0.020

7Ве нейтрино MSW LMA Adn = +0.1% **MSW LOW** Adn = (11-80)%

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.

Рабочие группы и вклад ПИЯФ в 2012 г.

авторы по переписке статьи от колл. опубликованной в 2012 г.

PHYSICAL REVIEW D 85, 092003 (2012)

Search for solar axions produced in the $p(d, {}^{3}\text{He})A$ reaction with Borexino detector

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

Группой подготовлена статья от колл. Будет направлена в PRD

New limits on heavy sterile neutrino mixing in ⁸B-decay obtained with the Borexino detector

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



PHYSICAL REVIEW D 85, 092003 (2012)

Search for solar axions produced in the $p(d, {}^{3}\text{He})A$ reaction with Borexino detector (Borexino collaboration)

¹Dipartimento di Fisica, Universita' degli Studi e INFN, 20133 Milano, Italy ²Chemical Engineering Department, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA ³Institut fur Experimentalphysik, Universitat, 22761 Hamburg, Germany ⁴INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso, SS 17 bis Km 18+910, 67010 Assergi (AQ), Italy ⁵Physics Department, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia 24061, USA ⁶Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, AM01003, USA ⁷Physics Department, Princeton University, Princeton, New Jersey 08544, USA ⁸Dipartimento di Fisica, Universita'e INFN, Genova 16146, Italy ⁹St. Petersburg Nuclear Physics Institute, 188350 Gatchina, Russia ¹⁰NRC Kurchatov Institute, 123182 Moscow, Russia ¹¹Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia ¹²Laboratoire AstroParticule et Cosmologie, 75231 Paris cedex 13, France ¹³Physik Department, Technische Universitaet Muenchen, 85747 Garching, Germany ¹⁴Max-Plank-Institut fuer Kernphysik, 69029 Heidelberg, Germany ¹⁵M. Smoluchowski Institute of Physics, Jagellonian University, 30059 Krakow, Poland ¹⁶Dipartimento di Chimica, Universita'e INFN, 06123 Perugia, Italy Kiev Institute for Nuclear Research, 06380 Kiev, Ukraine

Солнечный рр-цикл: 4р→⁴He +2e⁺ +2v_e +(26.7 МэВ)



Солнце производит энергию путем превращения водорода в гелий. Полная выделяемая энергия 26.7 МэВ, из которой 0.6 МэВ уносят нейтрино. Мы искали аксионы, излучаемые в 2-х реакциях, которые прямо связаны с реакциями в которых производятся **pp-** и ⁷**Be**- нейтрино.

Солнечные аксионы с энергией 478 кэВ и 5.5 МэВ



Аксионы могут излучаться в М1-переходе ядра 7Li, после электронного захвата в 7Be, и после захвата протона ядром дейтрона. Вследствии большой энергии перехода область исследуемых масс аксиона увеличивается до 5 МэВ. Некоторые модели основанные на концепции зеркального мира [Berezhiani, et al., 2001] или суперсимметрии [Hall and Watari, 2004] разрешают существование аксиона с ассой около 1 МэВ.

The fluxes of axions at the Earth in cm⁻²s⁻¹

$$\Phi_{A0}(7Be) \cong 0.1 \times \Phi_{\nu 7Be}(g_{AN}^{0} + g_{AN}^{3})^{2}(p_{A} / p_{\gamma})^{3}$$
$$\cong 5 \times 10^{8}(g_{AN}^{0} + g_{AN}^{3})^{2}$$
$$\Phi_{A0}(pd) \cong 0.54 \times \Phi_{\nu pp}(g_{AN}^{3})^{2}(p_{A} / p_{\gamma})^{3}$$
$$\cong 3.3 \times 10^{10}(g_{AN}^{3})^{2}$$

The expected solar axion flux can thus be expressed in terms of the ⁷Beand pp-neutrino fluxes, which are 4.9x10⁹ and 6.0x10¹⁰ cm⁻² s^{-1.} The flux of 5.5 MeV axions is in 60 times more then 478 keV axions. The additional advantage to look for 5.5 MeV axions is that a background level is lower usually for higher energy. 4 reactions were selected to detect axions.

Detection via axion-electron coupling



The AE CS is more than 4 orders of magnitude lower than for Compton process, so the AE effect can not be taken into account. However, using the different energy dependence $\sigma cc \sim E_A$, $\sigma_{Ae} \sim E_A^{-3/2}$ and Z^5 dependence, the AE effect is more effective to search for low energy axions with detectors having high Z.

Detection via axion-photon coupling



We also consider the possible signals from the decay of axion into two γ -quanta and from Primakoff conversion on nuclei. The amplitudes of the reactions depend on $g_{A\gamma}$.

Escape axions from the Sun

There are 2 main disadvantages of experiments with solar axions: the Sun can not been switched off and axions must to escape from the Sun and reach the Earth

particle	е	р	⁴He	¹² C	¹⁴ N	¹⁶ O	Fe	Pb
in 10 ³⁵ cm ⁻²	6.8	5	0.9	6x10-4	7x10-4	2.3x10 ⁻³	1.5x10 ⁻⁴	5x10 ⁻¹⁰

Constant	g _{Ae}	g _{Aγ}	g _{AN}	
Limit	<10 ⁻⁶	<10-4	<10 ⁻³	
Process	CC	PC	PD	



The axions produced inside the Sun must pass through a layer of 6.8×10^{35} e's/cm² 5×10^{35} p's and 1×10^{35} a's in order to reach the Sun's surface. The Compton conversion of an axion into a photon imposes an upper limit on the sensitivity of Earth surface experiments to the constant g_{Ae} . For g_{Ae} values below 10^{-6} , the axion flux is not substantially suppressed. The similar limitations are for axion-photon (Primakoff conversion) and axion-nucleon couplings (photodisintegration).



Axions decay during the flight



For axions with a mass above $2m_e$, the main decay mode is into an e⁺e⁻pair. If $m_A < 2m_e$ the axion can decay into 2 γ 's. The condition $\tau_f < 0.1 \times \tau_{cm}$ (in this case 90% of all axions reach Earth) yields the sensitivity limits for the constants g_{Ae} and g_{Av} vs m_A .

Borexino response functions for axion processes



1 – axioelectric effect 2 – Compton conversion 3 – Primakoff conversion 4 – Axion decay $A \rightarrow 2\gamma$

The Monte Carlo method has been used to simulate the Borexino response to electrons and y-quanta appearing in axion interactions. The response function of the Borexino to the axion's was found MC simulations based bv on **GEANT4 code**, taking into account the effect of ionization quenching dependence of the the and registered charge on the distance from the detector's center.

The uniformly distributed γ 's and e's were simulated inside the inner vessel, but the response functions were obtained for events restored inside the FV. The MC candidate events are selected by the same cuts that was applied for real data selection. The signature of all reactions is peak at 5.5 MeV energy.



Fitting procedure



The spectrum was fitted by a sum of exp and Gaussian functions, the position and dispersion of the later was found from the MC response:

$$N_{th}(E) = a + b \exp(-cE) + \frac{S}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(E_0 - E)^2}{2\sigma^2}\right]$$

The number of counts in the axion peak S was calculated using the maximum likelihood method for Poisson distribution.

$$L = \prod_{i} \exp(-N_i^{th}) (N_i^{th})^{N_i^{exp}} / N_i^{exp}!$$

The upper limit on the number of counts in the peak was found using the profile of maximal values of L for different fixed S when all others parameters were free. The obtained values of Lmax(S) were normalized to unit for S < 0 that allows to select the given confidence level. The goodness-of-fit was found by MC (p = 52%)

Limits on $g_{Ae} x g_{AN} v s m_A$ and $g_{Ae} v s m_A$



1- Borexino limits on g_{Ae} 2-Borexino limits on g_{Ae}xg_{AN} 3 – Reactor experiments and ⁶⁴Cu source 4 – beam-dump experiments 5 – ortopositronium decay 6 – CoGeNT coll. 7 – CDMS coll. 8 – Solar axion luminosity 9 – Resonant absorption by ¹⁶⁹Tm nuclei (talk of E.Unzhakov, g_{Ae}-axion spectra) 10 – Red giant 11 – Axioelectric effect in BGO

Borexino results exclude the new large regions of axion masses (0.01-1) MeV and coupling constants $g_{Ae} \sim (10^{-11} - 10^{-9})$. For hadronic axion with $m_A = 1$ MeV, $g_{Ae} < 2x10^{-11}$. Figure also shows the constraints on g_{Ae} that were obtained in the experiments with reactor, accelerator and solar axions as well from astrophysical arguments.
Limits on g_{Ay} vs m_A for $g_{AN}^3 = 2.8 \times 10^{-8} m_A$ (KSVZ)



The Borexino results exclude the new large regions of axion masses 10 keV - 5 MeV and coupling constants g_{AV} (2x10⁻¹⁴-10⁻⁷) GeV⁻¹. For higher values g^2m^3 axions decay before they reach the detector, for lower one the probability of axion decay inside Borexino is too low. Borexino limits are more then 2-4 orders magnitude stronger than obtained by laboratory-based experiments using nuclear reactors. New region available for heavy axions is excluded.

Измерение скорости нейтрино - Borexino

2 - 25	D = \vec{X}_{hx} - \vec{X}_{CERN}	62 events	Description	Error (ns)
sints /			Time-Link Calibration (GPS)	1.1
å 20	$\int dt = \frac{D}{V_v} - \frac{D}{c}$	μ = 0.8 ns	Borexino electronics delays	0.5
	δt = 0.8 ± 0.7 ± 2.9 ns	σ = 4.9 ns	Delays at CERN	2.2
15			Light propagation in BX detector	1.0
10			Electronics resolution	0.5
			Event selection stability	1.0
5			Geodesy measurement	0.1
			Total systematic error	2.9
-9	50 -100 -50 0	50 100 150)	

|v-c|/c < 2.1x10⁻⁶ (90% C.L..)

New limits on heavy sterile neutrino mixing in ⁸B-decay obtained with the Borexino detector

A. Derbin, I. Drachnev, K. Fomenko, V. Muratova, O. Smirnov The "Rare Processes" group

The draft of the paper is available at the Borexino web site Borexino Working Group area http://borex.lngs.infn.it/Index of /docs/WorkingGroups/rare/Heavy_Neutrino



LNGS, October 12, 2012

Solar neutrino decays

The discovery of neutrino oscillations shows that neutrinos are massive, then the heavier one can decay to the lighter one. The simplest detectable decay modes in the framework of an extended standard model (SM) are radiative decay:

$V_H \rightarrow V_L \neq \gamma$

and decay into an electron, a positron and a light neutrino:

 $V_H \rightarrow V_L + e^+ + e^-$.

The e⁺e⁻ decay mode becomes possible if $m_{vH} \ge 2m_e$ and is the results from a W exchange diagram. For two-neutrino mixing approximation flavor state ve can be composition of 2 mass eigenstates $v_L = Cos\theta v_1 + Sin\theta v_2$ and $v_H = -Sin\theta v_1 + Cos\theta v_2 v_H (\approx v_2)$ for small Sin θ (U_{eH}) is mostly sterile neutrino.



R.E. Shrock, Phys. Rev. D24, 1275 (1981). B. Lie and F. Wilczek, Phys. Rev. D25, 143 (1982). B. Pal and L. Wolfensten, Phys. Rev. D25, 766 (1982).

The existing experimental limits on $|U_{eH}|^2$



1. For masses $m_{vH} < 1$ MeV the most sensitive probe is the search for kinks in the β -decay spectra (¹⁸⁷Re - ²⁰F b-decays)

2. The possible decay of massive antineutrinos from a reactor (v_H $\rightarrow v_L + e^+ + e^-$) has been studied at Rovno, Gesgen and Bugey NPP. It gives the restrictions on the mixing parameter ($|U_{eH}|^2 <$ $(0.3-5)x10^{-3}$ in the mass region $m_{vH} \sim (1.1 - 9.5)$ MeV).

3. For heavier neutrinos, a test of the mixing with both v_e and v_μ is peak searches in leptonic decays of π 's and K's. Another way to constrain SHN mixing is searches of the products of HNs decays including K, η , etc. **4.** Cosmological and astrophysical bounds are very strong but are not as reliability as the ones from laboratory searches as they typically depend on the assumptions of sterile neutrino production. The most stringent bounds on $|U_{eH}|^2$ comes from the primordial nucleosynthesis and SN1987A data considerations $(|U_{eH}|^2m_{vH}^4 < 5x10^{-7})$

The expected spectra due to $v_H \rightarrow v_L + e^+ + e^-$ decays



The obtained spectra for some values of neutrino mass m_v and mixing parameter $|U_{eH}|^2 = 1 \times 10^{-5}$ are shown in the figure. The energy spectra of signals for the Borexino was obtained by convolutions over the response function $S^{2\times511}(E)$ and the energy resolution $\sigma(E)$. The spectra were calculated for different m_v with step 0.5 MeV.

Data spectra, 1192.0 (446.2) days



Energy spectra of the events and effect of the selection cuts. From top to bottom: (1) raw spectrum; (2) with 2 ms muon veto cut; (3) 20 s veto after a muon crossing the SSS; (4) events inside FV. Because the shapes of e⁺e⁻ spectra are similar ¹¹Be spectrum, 20 s veto was applied to reduce the number of ¹¹Be events. The total time is **1192** d and the live time is **446** d or 37%.

Results of the fit for $m_{vH} = 8 \text{ MeV}$



The fit results, corresponding to the maximum of L at $m_{vH}=8$ MeV are shown. The value of modified $\chi^2 = \Sigma(N_i^{exp} - N_i^{th})^2/N_i^{th}$ is $\chi^2 = 70.5/76$. Because of the low statistics, a MC simulation of is used to find the probability of $\chi^2 \ge 70.5$. The goodness-of-fit (p = 56%) shows that the spectrum is quit well described by selected function. No statistically significant deviations of $|U_{eH}|^2$ from zero were observed for all tested m_{vH} . The upper limit on the number of events for different m_{vH} was found using the L profile for fixed U_{eH} while two others parameters were free. In inset the dependence of L vs $|U_{eH}|^4$ for $m_{vH} = 8$ MeV is shown.

Borexino limits on U_{eH} and m_{vH} in (1.1 – 14) MeV range



For the neutrino mass region 1.3-13 MeV the obtained limits on the mixing parameter are stronger than those obtained in previous experiments using nuclear reactors and accelerators.

Limits on the mixing parameter $|U_{eH}|^2$ as a function of neutrino mass m_{vH} (90% c.l.). **1**: Borexino data excludes values of $|U_{eH}|^2$ and m_{vH} inside region 1. **2**: upper limits from reactor experiments on the search for $v_{H} \rightarrow v_{L} + e^+ + e^-$ decay **3**: upper limits from $n \rightarrow e + v$ decay. The Borexino detector is not as sensitive for low U_{eH} (due to the low probability of decay) as for the high values of $U_{eH'}$ because in this case HN decays during its flight from the Sun.

Present limits on U_{eH} and m_v in (10 eV – 100 GeV) range



The Borexino constraints and the limits on $|U_{eH}|^2$ versus m_{vH} in the mass range 10 eV–100 GeV from different experiments. If sterile neutrinos are Majorana particles, they would contribute to the probability of neutrinoless double beta decay. The limit on the half-life time of this process can be translated into a bound on the mixing parameter $|U_{eH}|^2$, which scales as m_{vH}^{-1} for $m_{vH} \leq$ 300 MeV and as m_{vH} for $m_{vH} \geq$ 400 MeV, with $|U_{eH}|^2 \approx 10^{-8}$ at $m_{vH} = 100$ MeV

Стерильное нейтрино с бт²~1 эВ² в Борексино

SOX: Short distance Oscillations with BoreXino

Поиск осцилляций нейтрино с искусственными источниками нейтрино



POSEIDON: POsition SEnsitive Detector Of Neutrino

Поиск осцилляций нейтрино на исследовательском реакторе



Ограничение на θ_{14} из солнечных нейтрино



 $Sin^{2}(2\theta_{14}) < 0.36$ для $\theta_{13} = 0$ и $Sin^{2}(2\theta_{14}) < 0.14$ для $Sin^{2}(\theta_{13}) = 0.025$



Sterile neutrino 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





Источники нейтрино и антинейтрино

Source	decay	τ [days]	Energy [MeV]	Kg/MCi	W/kCi
⁵¹ Cr	e-capture (Ε _γ =0.32 MeV 10%)	40	0.746 81%	0.011	0.19
⁹⁰ Sr- ⁹⁰ Y	Fission product β [−]	15160	<2.28 MeV 100%	7.25	6.7
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	Fission product β⁻	411	<2.9975 MeV 97.9%	0.314	7.6

³⁷Ar, ¹⁰⁶Ru-¹⁰⁶Rh

~10⁴ соб/год, E > 250 кэВ, t > 30 суток, мин Вт, размер, примеси



Источник нейтрино ⁵¹Cr (³⁷Ar)



Рассеяние нейтрино на электроне $v + e \rightarrow V + e, \sigma = 10^{-45} \text{см}^2$

E = 752 кэВ т = 39.96 суток **190 W/MCi** от 320 keV 36 кг 38% обогащения 1.8 MCi реактор 35 MW Дважды калибровали GALLEX и SAGE



Источник ⁵¹Cr в эксперименте GALLEX/GNO











Источник нейтрино ¹⁴⁴Се -¹⁴⁴Рг М. Gribier et al. arXiv:1107.2335



Source	F.Y. ²³⁵ U/ ²³⁹ Pu	$t_{1/2}$	$1^{\rm st} \beta^- ({\rm keV})$	$2^{\rm nd} \beta^- ({\rm keV})$	$I_{\gamma>1MeV}$	$I_{\gamma>2MeV}$	W/kCi	$kCi/410^4$ int./y
¹⁴⁴ Ce- ¹⁴⁴ Pr	5.2%/3.7%	285 d	318 (76%) 184 (20%) 238 (4%)	$\begin{array}{c} 2996 \ (99\%) \\ 810 \ (1\%) \end{array}$	1380 (0.007%) 1489 (0.28%)	2185 (0.7%)	7.47	43.7



Результаты моделирования Борексино

Pallavicini for Borexino 2011





Чувствительность Борексино



Чувствительность экспериментов с 51 Cr и 144 Ce достаточна чтобы закрыть область δm^2 и Sin²(2 θ), соответствующих реакторной аномалии.



1. Борексино – хороший детектор для поиска осцилляций нейтрино с искусственными источниками нейтрино. Детектор обладает лучшим энергетическим и пространственным разрешением, а также минимальным фоном в низкоэнергетической области.

2. Рассмотренные источники нейтрино и антинейтрино активностью 5-10 МСі обеспечивают чувствительность достаточную для проверки области параметров осцилляций, соответствующих реакторной аномалии

3. Эксперимент с источником ⁵¹Cr может быть выполнен без каких либо изменений в конструкции и в программе измерений солнечных нейтрино.

4. Наиболее привлекательные измерения с целью поиска осцилляций на коротких расстояний и СРТ нарушения могут быть проведены с источниками нейтрино и антинейтрино, расположенными в центре Борексино.

Планы коллаборации Борексино и новые задачи

- 0. ФАЗА II (с окт 2011) после очистки сцинтиллятора с зимы 2010 с более низким содержанием ⁷⁵Kr и ²¹⁰Bi
- 1. Измерение рр нейтрино
- 2. Измерение СПО- нейтрино
- 3. Стерильные нейтрино (⁵¹Cr по готовности источника. ¹⁴⁴Ce в центре по окончанию программы с.н.)
- 4. Увеличение статистики для антинейтрино, 7Ве-, 8В-, рер-нейтрино, редких процессов
 5. Проверка 7% сезонных изменений
 - скорости счета
- 6. Поиск двойного бета-распада с Борексино (¹³⁰Xe, ¹²⁵Nd)



Экспериментальная установка с 3" ВGO (Гатчина)





1. В установке использовались сцинтилляционный ВGO детектор. Кристалл из ортогерманата висмута **2.5 кг Ві₃Ge₄O₁₂** был изготовлен в виде цилиндра высотой 76 мм и диаметром 76 мм.

2. Пассивная защита детекторо́в состояла из слоев свинца(100 мм), висмута (~20 мм Ві₂О₃) и меди (10 мм). Общая толщина пассивной зашиты составляла ≈ 130 г/см².

3. Установка была расположена на поверхности Земли и для подавления фона, связанного с космическим излучением, использовалась активная защита, состоявшая из 5 пластических сцинтилляторов.



Спектр BGO детектора, измеренный за 29.8 суток



Энергетический спектр BGO – детектора, измеренный в совпадении и антисовпадении с активной защитой. Масса детектора увеличена в 4.5 раза. Уровень фона понижен в 2.5 раза. Разрешение лучше в 1.8 раза.

идентифици В спектре 4 ярко руется выраженных пика. Пик с энергией 1460 кэВ связан с ⁴⁰К. Пик 2614 кэВ ²⁰⁸ТІ из семейства связан С ²³⁸U. Аннигиляционный пик 511 кэВ. Пик 2103 кэВ связан с вылетом 511 кэВ у-кванта из детектора. Уровень фона при энергиях > 4 МэВ обусловлен уквантами, возникающими при нейтронов, захвате U проникающими через неполную пассивную защиту.

Энергетическое разрешение (σ = 3.9% / (E, MeV)^{1/2}) при энергии 1460 кэВ составило 100 кэВ.

Уровень фона при энергии 5.5 МэВ составил

0.07 отсч./ (кэВ кг сутки).

Сравнение с результатами других экспериментов



Наиболее строгий верхний предел на константу g_{Ae} в области масс $m_A \approx 1$ МэВ получен коллаборацией Техопо, изучавшей комптоновскую конверсию аксиона вблизи ядерного реактора, и колл. **BOREXINO** в эксперименте с солнечными ⁷Li 478 кэВ аксионами. Полученный предел g_{Ae} ≤10⁻⁸ менее чем на порядок превосходит наш результат. Чувствительность эксперимента зависит от массы мишени М (кг), уровня фона В (кэВ-1 кг-1 сут-1) и разрешения детектора σ (кэВ) и времени измерений Т следующим образом

$$\varepsilon = \frac{\varphi \phi \phi e \kappa m}{sqrt(\phi o \mu)} = \frac{MT}{sqrt(B\sigma MT)} = \sqrt{MT / \sigma B}$$

Для улучшения достигнутого результата необходимо увеличить массу детектора в 4 раза, понизить уровень фона на порядок и увеличить время измерений в 4 раза. Все эти меры позволят поднять чувствительность эксперимента к константе g_{Ae} до уровня превосходящего уровень, достигнутый в современных экспериментах.



Детектор анти-нейтрино POSEIDON

Детектор представляет собой паралилепипед с размерами **1.5x1.0x1.0 м³**, просматриваемый с двух сторон (по длине 1.5 м) 72 фотоэлектронными умножителями (ФЭУ125). ФЭУ отделены от объема сцинтиллятора буфером (не сцинтиллирующим) толщиной 30 см, который играет роль "разравнивателя" светосбора и защищает объем детектора от радиоактивности ФЭУ.





Для подавления фона, связанного с внешней *у*-активностью, будет использоваться пассивная **защита из свинца**, общей толщиной **200 г/см²**, что позволит практически полностью подавить внешнюю гамма-активность. Водородсодержащая защита, внутренний слой которой будет изготовлен из борированного полиэтилена, предназначена для уменьшения потока быстрых и тепловых нейтронов внутрь детектора. Сравнительно небольшие размеры детектора допускают использование 2-х слоев активной защиты, до и после защиты из свинца.

Стерильное нейтрино: публикации

Search for neutrino oscillations at a research reactor

A.V. Derbin¹, A.S. Kayunov¹, and V.V. Muratova¹

¹St.Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia 188300

A project of search for oscillations of reactor neutrinos on a short, 5 - 15 meters, baseline with liquid scintillation position-sensitive detector POSEIDON is described. The oscillations of the electron antineutrinos into sterile neutrinos will be searched at 100 MW research reactor with the size of the active zone of about 0.5 m. The values of the oscillation parameters available for research are in the region $\delta m^2 = (0.3 - 6) \text{ eV}^2$ and $\sin^2(2\theta) > 0.01$.

Light Sterile Neutrinos: A White Paper

K. N. Abazajian^a,¹ M. A. Acero,² S. K. Agarwalla,³ A. A. Aguilar-Arevalo,² C. H. Albright,^{4,5} S. Antusch,⁶ C. A. Argüelles,⁷ A. B. Balantekin,⁸ G. Barenboim^a,³ V. Barger,⁸ P. Bernardini,⁹ F. Bezrukov,¹⁰ O. E. Bjaelde,¹¹ S. A. Bogacz,¹² N. S. Bowden,¹³ A. Boyarsky,¹⁴ A. Bravar,¹⁵ D. Bravo Berguño,¹⁶ S. J. Brice,⁵ A. D. Bross,⁵ B. Caccianiga,¹⁷ F. Cavanna,^{18, 19} E. J. Chun,²⁰ B. T. Cleveland,²¹ A. P. Collin,²² P. Coloma,¹⁶ J. M. Conrad,²³ M. Cribier,²² A. S. Cucoanes,²⁴ J. C. D'Olivo,² S. Das,²⁵ A. de Gouvêa,²⁶ A. V. Derbin,²⁷ R. Dharmapalan,²⁸ J. S. Diaz,²⁹ X. J. Ding,¹⁶ Z. Djurcic,³⁰ A. Donini,^{31,3} D. Duchesneau,³² H. Ejiri,³³ S. R. Elliott,³⁴ D. J. Ernst,³⁵ A. Esmaili,³⁶ J. J. Evans,^{37,38} E. Fernandez-Martinez,³⁹ E. Figueroa-Feliciano,²³ B. T. Fleming^a,¹⁸ J. A. Formaggio^a,²³ D. Franco,⁴⁰ J. Gaffiot,²² R. Gandhi,⁴¹ Y. Gao,⁴² G. T. Garvey,³⁴ V. N. Gavrin,⁴³ P. Ghoshal,⁴¹ D. Gibin,⁴⁴ C. Giunti,⁴⁵ S. N. Gninenko,⁴³ V. V. Gorbachev,⁴³ D. S. Gorbunov,⁴³ R. Guenette,¹⁸ A. Guglielmi,⁴⁴ F. Halzen,^{46, 8} J. Hamann,¹¹ S. Hannestad,¹¹ W. Haxton,^{47,48} K. M. Heeger,⁸ R. Henning,^{49,50} P. Hernandez,³ P. Huber^b,¹⁶ W. Huelsnitz,^{34,51} A. Ianni,⁵² T. V. Ibragimova,⁴³ Y. Karadzhov,¹⁵ G. Karagiorgi,⁵³ G. Keefer,¹³ Y. D. Kim,⁵⁴ J. Kopp^a,⁵ V. N. Kornoukhov,⁵⁵ A. Kusenko,^{56,57} P. Kyberd,⁵⁸ P. Langacker,⁵⁹ Th. Lasserre^a,^{22,40} M. Laveder,⁶⁰ A. Letourneau,²² D. Lhuillier,²² Y. F. Li,⁶¹ 1:- 1-- 6? 1- SUBAILCH, ENRSINZP3, Universite be rednes, Ecole als mines at Names P---- 64

²⁵Institut für Theoretische Teilchenphysik und Kosmologie, RWTH Aachen

²⁶Northwestern University

²⁷ Petersburg Nuclear Physics Institute

ΠИЯΦ

²⁸The University of Alabama, Tuscaloosa
²⁹Indiana University

³⁰Argonne National Laboratory

³¹Instituto de Física Teórica UAM CSIC

Поиск темной материи

DarkSide(10, 50, 5К) и RED (100, 3t) для регистрации WIMPs



РОССИЙСКИЙ ЭМИССИОННЫЙ ДЕТЕКТОР

DarkSide

Augustana College – SD, USA 鱦 Black Hills State University – SD, USA 鱦 Fermilab – II, USA 鱦 IHEP – Beijing, China 🌉 INFN Laboratori Nazionali del Gran Sasso – Assergi, Italy 🍱 INFN and Università degli Studi Genova, Italy 🍱 INFN and Università degli Studi Milano, Italy 🌃 INFN and Università degli Studi Napoli, Italy 🌃 INFN and Università degli Studi Perugia, Italy 🌃 Joint Institute for Nuclear Research – Dubna, Russia 🜌 Princeton University, USA 鱦 RRC Kurchatov Institute – Moscow, Russia St. Petersburg Nuclear Physics Institute – Gatchina, Russia 🜌 Temple University – PA, USA 鱦 University of California, Los Angeles, USA 鱦 University of Houston, USA 🏨 University of Massachusetts at Amherst, USA 🏨

DarkSide collaboration

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. Derbinⁿ, G. Di Pietro^r, 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. Guan^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^v, V. Kobychev^f, G. Koh^m, D. Korablev^h, G. Korga^w, E. Shields^m, P. Li^e, B. Loer^d, P. Lombardi^r, C. Love^o,
L. Ludhova^r, L. Lukyanchenko¹, A. Lund^x, K. Lung^v, Y. Ma^e, I. Machulin^k, J. Maricic^c, 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. Ortica^t, 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,
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,

(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 ⁸ Physics Department, Università degli Studi Federico II and INFN, Napoli 80126, Italy ^t 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 ⁹Physics Department, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, USA

14 января 2013

Заседание Ученого совета ОНИ ПИЯФ

Рассеяние WIMPs на ядрах



Чувствительность экспериментов за 10 лет возросла на 4-6 порядков

DarkSide-10 (arXiV:1204.6218 [astro-ph])

Light Yield in DarkSide-10: a Prototype Two-phase Liquid Argon TPC for Dark Matter Searches

(DarkSide Collaboration)

^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 ^eInstitute 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 (AO) 67010, Italy ^jSkobeltsyn 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 ΠИЯΦ ⁿSt. Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina 188350, Russia ^oPhysics Department, Temple University, Philadelphia, PA 19122, USA ^pDepartment of Physics and Astronomy, University College London, London WC1E 6BT, United Kingdom ^qPhysics Department, Università degli Studi and INFN, Genova 16146, Italy ^rPhysics Department, Università degli Studi and INFN, Milano 20133, Italy ^sPhysics Department, Università degli Studi Federico II and INFN, Napoli 80126, Italy ^tChemistry Department, Università degli Studi and INFN, Perugia 06123, Italy ^uDepartment of Physics and Astronomy, University of Arkansas, Little Rock, AR 72204, USA ^vPhysics and Astronomy Department, University of California, Los Angeles, CA 90095, USA ^wDepartment of Physics, University of Houston, Houston, TX 77204, USA *Physics Department, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003, USA ^yPhysics Department, Virginia Tech, Blacksburg, VA 24061, USA

Эксперимент DARKSIDE в Гран Сассо





Позволяет эффективно разделить сигналы от электронов и ядер

ПИЯФ – тестирование конст. материалов (Ti, SiO₂, CF₂)

DarkSide-10



DarkSide-50 in LNGS



Двухфазный детектор располагается внутри сферы d=4 м, заполненной сцинтиллятором. Сфера находится внутри водяного танка d=11м (CTF)



Ожидаемая чувствительность DARKSIDE50



Чувствительность DarkSide-5000



Российский Эмиссионный Детектор



^{14 января 2013} Д.Ю. Акимов, сессия ЯФ ОФН РАН, ИТЭФ
RED collaboration arXiv:1212.1938 (Dec2012)

Perspectives to measure neutrino-nuclear neutral current coherent scattering with twophase emission detector

D.Yu. Akimov^{1,2}, I.S. Alexandrov^{1,2}, V.I. Aleshin³, V.A. Belov^{1,2}, A.I. Bolozdynya¹, A.A. Burenkov^{1,2}, A.S. Chepurnov^{1,5}, M.V. Danilov^{1,2}, A.V. Derbin⁴, V.V. Dmitrenko¹, A.G. Dolgolenko², D.A. Egorov¹, Yu.V. Efremenko^{1,6}, A.V. Etenko^{1,3}, M.B. Gromov^{1,5}, M.A. Gulin¹, S.V. Ivakhin¹, V.A. Kantserov¹, V.A. Kaplin¹, A.K. Karelin^{1,2}, A.V. Khromov¹, M.A. Kirsanov¹, S.G. Klimanov¹, A.S. Kobyakin^{1,2}, A.M. Konovalov^{1,2}, A.G. Kovalenko^{1,2}, V.I. Kopeikin³, T.D. Krakhmalova¹, A.V. Kuchenkov^{1,2}, A.V. Kumpan¹, E.A. Litvinovich³, G.A Lukyanchenko^{1,3}, I.N. Machulin³, V.P. Martemyanov³, N.N. Nurakhov¹, D.G. Rudik^{1,2}, I.S. Saldikov¹, M.D. Skorokhatov^{1,3}, G.V. Tikhomirov¹, O.Ya. Zeldovich²

RED (Russian Emission Detector) Collaboration

¹National Nuclear Research University «MEPhI», Moscow, Russia
 ²SSC RF Institute for Theoretical and Experimental Physics, Moscow, Russia
 ³National Research Centre Kurchatov Institute, Moscow, Russia
 ⁴Petersburg Nuclear Physics Institute, Gatchina, Russia
 ⁵Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics MSU, Moscow, Russia
 ⁶University of Tennessee, Knoxville, USA

Аксионы – кандидаты на темную материю

Для нерелятивистских аксионов сечение аксио-электрического эффекта пропорционально сечению фотоэффекта для фотонов с энергией равной массе аксиона (Pospelov et al.)



$$_{ae}(E_{A}) = \sigma_{pe}(E_{\gamma} = m_{A}) \times g_{Ae}^{2} \frac{1}{\beta} \left(\frac{3m_{A}^{2}}{16\pi\alpha m_{e}^{2}} \right)$$



Заседание Ученого совета ОНИ ПИЯФ

Particle Data Group 2012 - WIMPs

Citation: J. Beringer et al. (Particle Data Group), PR D86, 010001 (2012) (URL: http://pdg.lbl.gov)

WIMPs and Other Particles Searches for

OMITTED FROM SUMMARY TABLE A REVIEW GOES HERE – Check our WWW List of Reviews

GALACTIC WIMP SEARCHES

ALUE (nb)CL%DOCUMENT IDTECNCOMMENT• We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • • 1 AHLEN11DMTPCF42AHMED11CDM2Ge, inelastic3AHMED11ARVUEGe4APRILE11X100Xe5APRILE11AX100Xe, inelastic6APRILE11BX100Xe7ARMENGAUD11EDE2Ge8BEHNKE11COUPCF3I9HORN11ZEP3Xe10TANAKA11SKAMH, solar ν 24AKERIB06CDMS 7^3 Ge, 29Si25ALNER05NAIANaI26BARNABE-HE05PICAF (C4F10)27BENOIT05EDEL 7^3 Ge28CIDAPD05SMPIF (C CIE
• We do not use the following data for averages, fits, limits, etc. • • ¹ AHLEN 11 DMTP CF ₄ ² AHMED 11 CDM2 Ge, inelastic ³ AHMED 11A RVUE Ge ⁴ APRILE 11 X100 Xe ⁵ APRILE 11A X100 Xe, inelastic ⁶ APRILE 11B X100 Xe ⁷ ARMENGAUD 11 EDE2 Ge ⁸ BEHNKE 11 COUP CF ₃ I ⁹ HORN 11 ZEP3 Xe ¹⁰ TANAKA 11 SKAM H, solar ν ²⁴ AKERIB 06 CDMS ⁷³ Ge, ²⁹ Si ²⁵ ALNER 05 NAIA NaI ²⁶ BARNABE-HE.05 PICA F (C ₄ F ₁₀) ²⁷ BENOIT 05 EDEL ⁷³ Ge
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$ \begin{array}{c} 2 \text{ AHMED} & 11 \text{CDM2} \text{Ge, inelastic} \\ 3 \text{ AHMED} & 11 \text{ A RVUE} \text{Ge} \\ 4 \text{ APRILE} & 11 \text{X100} \text{Xe} \\ 5 \text{ APRILE} & 11 \text{ A X100} \text{Xe, inelastic} \\ 6 \text{ APRILE} & 11 \text{ B X100} \text{Xe} \\ 7 \text{ ARMENGAUD} 11 \text{EDE2} \text{Ge} \\ 8 \text{ BEHNKE} 11 \text{COUP} \text{CF}_3 \text{I} \\ 9 \text{ HORN} 11 \text{ZEP3} \text{Xe} \\ 10 \text{ TANAKA} 11 \text{SKAM} \text{H, solar} \nu \\ 24 \text{ AKERIB} 06 \text{CDMS} 7^3 \text{Ge}, 2^9 \text{Si} \\ 25 \text{ ALNER} 05 \text{NAIA} \text{NaI} \\ 26 \text{ BARNABE-HE05} \text{PICA} \text{F} (\text{C}_4 \text{F}_{10}) \\ 27 \text{ BENOIT} 05 \text{EDEL} 7^3 \text{Ge} \\ 28 \text{ CIDADD} \text{OF} \text{SMDI} \text{E} (\text{C} \text{ CIE}) \\ \end{array} $
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$ \begin{array}{c} 7 \text{ ARMENGAUD 11} & \text{EDE2} & \text{Ge} \\ {}^{8} \text{ BEHNKE} & 11 & \text{COUP} & \text{CF}_{3}\text{I} \\ {}^{9} \text{ HORN} & 11 & \text{ZEP3} & \text{Xe} \\ {}^{10} \text{ TANAKA} & 11 & \text{SKAM} & \text{H, solar } \nu \\ {}^{24} \text{ AKERIB} & 06 & \text{CDMS} & \text{Ge}, \text{Si} \\ {}^{25} \text{ ALNER} & 05 & \text{NAIA} & \text{NaI} \\ {}^{26} \text{ BARNABE-HE.05} & \text{PICA} & \text{F} (\text{C}_{4}\text{F}_{10}) \\ {}^{27} \text{ BENOIT} & 05 & \text{EDEL} & \text{Ge} \\ {}^{28} \text{ CIDADD} & 05 & \text{SMDI} & \text{F} (\text{C} \text{ CIF}) \\ \end{array} $
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$\begin{array}{ccccccc} & 9 \text{ HORN} & 11 & \text{ZEP3} & \text{Xe} \\ 10 \text{ TANAKA} & 11 & \text{SKAM} & \text{H, solar } \nu \\ 24 \text{ AKERIB} & 06 & \text{CDMS} & 7^3\text{Ge}, 29\text{Si} \\ 25 \text{ ALNER} & 05 & \text{NAIA} & \text{NaI} \\ 26 \text{ BARNABE-HE.05} & \text{PICA} & \text{F}(\text{C}_4\text{F}_{10}) \\ 27 \text{ BENOIT} & 05 & \text{EDEL} & 7^3\text{Ge} \\ 28 \text{ CIDADD} & 05 & \text{SMDI} & \text{F}(\text{C}, \text{CIE}) \end{array}$
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$ \begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
29 ALNER 05 NAIA Nal 26 BARNABE-HE.05 PICA F (C ₄ F ₁₀) 27 BENOIT 05 EDEL 73 Ge 28 CIDADD 05 SMDL F (C CIF)
$\begin{array}{c} 2^{\circ} \text{ BARNABE-HE.05} \text{PICA} \text{F} \left(\text{C}_{4}\text{F}_{10}\right) \\ 2^{7} \text{ BENOIT} 05 \text{EDEL} \begin{array}{c} 7^{3}\text{Ge} \\ 2^{8} \text{ GIDADD} & 05 \text{SMDI} \text{F} \left(\text{C}_{1} \text{C}_{1}\right) \end{array}$
$\frac{27}{28} \text{ GRAPD} \qquad 05 \text{EDEL} \frac{73}{3} \text{Ge}$
= GRARD 05 SMPL F (C ₂ CIF ₅)
²⁹ KLAPDOR-K 05 HDMS ⁷³ Ge (enriched
³⁰ MIUCHI 03 BOLO LiF
³¹ TAKEDA 03 BOLO NaF
3 90 ³² ANGLOHER 02 CRES AI
³³ BENOIT 00 EDEL Ge
³⁴ BERNABEI 99D CNTR SIMP
35 DERBIN 99 CNTR SIMP

ПИЯФ аксион в Particle Data Group (2012)

Invisible A ⁰ (Axion)	MAS	S LIMITS from A	stro	physics	and Cosmology
VALUE (eV)	CL%	DOCUMENT ID		TECN	COMMENT
• • • We do not use the	follow	ing data for averages,	, fits,	limits, et	c. ● ● ●
none 0.7–3 $ imes$ 10 5		¹⁶⁶ CADAMURO	11	COSM	D abundance
<105	<mark>90</mark>	167 DERBIN	<mark>11A</mark>	CNTR	D, solar axion
		108 ANDRIAMON.	.10	CAST	K, solar axions
< 0.72	95	179 HANNESTAD	10	COSM	K, hot dark matter
<191	90	171 DERBIN	09A		rx, solar axions
<334	95	¹⁷² KEKEZ	09	HPGE	K, solar axions
< 1.02	95	¹⁷³ HANNESTAD	80	COSM	K, hot dark matter
Invisible	A ⁰ (A	xion) Limits from	Nucl	eon Coi	upling
				TECN	COMMENT
VALUE (eV)	<u>CL%</u>	DOCOMENTID		TECN	COMMENT
• • • We do not use the	e follow	ing data for averages	s, fits,	limits, e	etc. • • •
<mark><145</mark>	<mark>95</mark>	238 DERBIN	11	CNTR	Solar axion
$< 1.39 imes 10^4$	90	²³⁹ BELLI	08A	CNTR	Solar axion
		240 BELLINI	08	CNTR	Solar axion
		²⁴¹ ADELBERGER	R 07		Test of Newton's law
$< 1.6 \times 10^4$	<mark>90</mark>	242 DERBIN	<mark>05</mark>	CNTR	Solar axion
<400	95	243 LJUBICIC	04	CNTR	Solar axion
$<$ 3.2 \times 10 ⁴	95	²⁴⁴ KRCMAR	01	CNTR	Solar axion
AQ (Auton) and At	h :.				ulaan Transitiana
			arch		
<u>value</u>	$\frac{CL\%}{2}$	following data for a		<u>recn</u>	
	se the		avera	ges, its	$125m \pm 1$
$<$ 8.5 \times 10 $^{-5}$	90	91 DERBIN	02		K 12000 le decay
$< 5.5 \times 10^{-10}$	05	92 TSUNODA	970	CNT	P = 252Cf fission $A0$
$< 1.2 \times 10^{-6}$	95	93 MINOWA	93		$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
$< 1.2 \times 10^{-4}$	90	94 HICKS	93		$R 35_{\text{decay}} A^0 \rightarrow \infty^{-1}$
$< 1.5 \times 10^{-9}$	95	⁹⁵ ASANUMA	90	CNT	R^{241} Am decay
$<(0.4-10) \times 10^{-3}$	95	⁹⁶ DEBOER	90	CNT	$R ^{8}Be^{*} \rightarrow {}^{8}BeA^{0}$,
$<(0.2-1) \times 10^{-3}$	90	⁹⁷ BINI	89	CNT	$ \begin{array}{ccc} A^0 \rightarrow e^+ e^- \\ R & 16^{O*} \rightarrow & 16^{O} X^0 \end{array} $

Основные результаты работы лаборатории в 2012

1. Проведен поиск аксиоэлектрического эффекта для солнечных аксионов, возникающих в результате тормозного излучения и комптоновского процесса, с энергией 1-10 кэВ. Письма ЖЭТФ, 93 (2012).

2. Проведены измерения с ВGO-детектором с целью поиска аксиоэлектрического эффекта для солнечных аксионов с энергией 5.5 МэВ. ЕРЈ, (2013).

3. В 2012 г. опубликованы результаты об экспериментальном доказательстве протекания термоядерной рер-реакции на Солнце, в которой два ядра водорода и электрон образуют дейтерий. Одновременно получены наиболее строгие экспериментальные ограничения на вклад углеродного - азотного цикла в энергетический баланс Солнца. PRL, PL (2012)

4. Сотрудниками лаборатории подготовлена статья для "Search for solar axions produced in the p(d,3He)A reaction with Borexino detector", которая опубликована в Phys. Rev. D 85, 092003 (2012).

5. Выполнен анализ результатов измерений с целью поиска распада тяжелого стерильного нейтрино в детекторе Борексино.

Планы лаборатории на 2013 г.

1) ПИЯФ

- а) Измерения с ВGO- и Si-детекторами
- б) Создание сцинтилляционного TmBr₃ детектора
- с) Участие в РЭД
- д) Poseidon, LENA, IAXO R&D работы
- 2) Борексино нейтрино
 - а) тяжелое стерильное нейтрино
 - б) участие в работе 6-ти рабочих групп
 - в) Семенов -> на постдок
 - г) Жеронкин, Патраков -> 2 мес.
- 3) DarkSide темная материя
 - а) Работы в ПИЯФ (Ti, SiO₂, CF₂)
 - б) Драчнев, Унжаков, Семенов –> 4 месяца LNGS
- 4) Новые LENA, IAXO нейтрино, аксион

LENA: Low Energy Neutrino Astronomy

The next-generation liquid-scintillator neutrino observatory LENA

Mıcnaei wurm, "" Jonn F. Beacom, Leond B. Bezrukov, Daniel Bick," Jonannes Biumer, Sandnya Choubey, ⁶ Christian Cienniak, ¹ Davide D'Angelo, ⁷ Basudeb Dasgupta, ³ Alexander Derbin, ⁸ Amol Dighe, ⁹
 Grigorij Domogatsky, ⁴ Steve Dye, ¹⁰ Sergey Eliseev, ⁸ Timo Enqvist, ¹¹ Alexey Erykalov, ⁸ Franz von Feilitzsch, ¹
 Gianni Fiorentini, ¹² Tobias Fischer, ¹³ Marianne Göger-Neff, ¹ Peter Grabmayr, ¹⁴ Caren Hagner, ² Dominikus Hellgartner, ¹ Johannes Hissa, ¹¹ Shunsaku Horiuchi, ³ Hans-Thomas Janka, ¹⁵ Claude Jaupart, ¹⁶ Josef Jochum, ¹⁴ Tuomo Kalliokoski, ¹⁷ Alexei Kayumov, ⁸ Pasi Kuusiniemi, ¹¹ Tobias Lachenmaier, ¹⁴ Ionel Lazanu, ¹⁸ John G. Learned, ¹⁹ Timo Lewke, ¹ Paolo Lombardi, ⁷ Sebastian Lorenz, ² Bayarto Lubsandorzhiev, ⁴, ¹⁴ Livia Ludhova, ⁷ Kai Loo, ¹⁷ Jukka Maalampi, ¹⁷ Fabio Mantovani, ¹² Michela Marafini, ²⁰ Jelena Maricic, ²¹ Teresa Marrodán Undagoitia, ²² William F. McDonough, ²³ Lino Miramonti, ⁷ Alexes ndro Mirizzi, ²⁴ Quirin Meindl, ¹ Olga Mena, ²⁵ Randolph Möllenberg, ¹ Valentina Muratova, ⁸ Rolf Nahnhauer, ²⁶ Dmitry Nesterenko, ⁸ Yuri N. Novikov, ⁸ Guido Nuijten, ²⁷ Lothar Oberauer, ¹ Sandip Pakvasa, ¹⁹ Sergio Palomares-Ruiz, ²⁸ Marco Pallavicni, ²⁹ Silvia Pascoli, ³⁰ Thomas Patzak, ²⁰ Juha Peltoniemi, ³¹ Walter Potzel, ¹ Tomi Räihä, ¹¹ Georg G. Raffelt, ²² Gioachino Ranucci, ⁷ Seebur Razzaque, ³³ Kari Rummukainen, ³⁴ Juho Sarkamo, ¹¹ Valerij Sinev, ⁴ Christian Spiering, ²⁶ Achim Stahl, ³⁵ Felicitas Thorne, ¹ Marc Tippmann, ¹ Alessandra Tonazzo, ²⁰ Wladyslaw H. Trzaska, ¹⁷ John D. Vergados, ³⁶ Christopher Wiebusch, ³⁵ and Jürgen Winter¹

¹ Physik-Department, Technische Universität München, Germany ²Institut für Experimentalphysik, Universität Hamburg, Germany ³Department of Physics, Ohio State University, Columbus, OH, USA ⁴Institute for Nuclear Research, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia ⁵Institut für Kernphysik, Karlsruhe Institute of Technology KIT, Germany ⁶Harish-Chandra Research Institute, Allahabad, India ⁷Dipartimento di Fisica, Università degli Studi e INFN, Milano, Italy [®]Petersburg Nuclear Physics Institute, Ste. Petersburg, Russia

ΦRNΠ

⁹Department of Theoretical Physics, Tata Institute of Fundamental Research, Mumbai, India ¹⁰Hawaii Pacific University, Kaneohe, HI, USA ¹¹ Oulu Southern Institute and Department of Physics, University of Oulu, Finland ¹²Dipartimento di Fisica, Università e INFN, Ferrara, Italy ¹³GSI, Helmholtzzentrum f
ür Schwerionenforschung, Darmstadt, Germany ¹⁴Kepler Center f
ür Astro- und Teilchenphysik, Eberhard Karls Universit
ät T
übingen ¹⁵Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching, Germany ¹⁶Institut de Physique du Globe de Paris, France ¹⁷Department of Physics, University of Jyväskylä, Finland ¹⁸Faculty of Physics, University of Bucharest, Romania 19 Department of Physics and Astronomy, University of Hawaii, Honolulu, HI, USA ²⁰Laboratoire Astroparticule et Cosmologie, Université Paris 7 (Diderot), France ²¹Department of Physics, Drexel University, Philadelphia, PA, USA ²²Physik-Institut, Universität Zürich, Switzerland ²³Department of Geology, University of Maryland, MD, USA ²⁴II Institut für Theoretische Physik, Universität Hamburg, Germany ²⁵Instituto de Física Corpuscular, University of Valencia, Spain ²⁶DESY, Zeuthen, Germany ²⁷Rockplan Ltd., Helsinki, Finland 28 Centro de Física Teórica de Partículas, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal 29 Dipartimento di Fisica, Università e INFN, Genova, Italy ³⁰IPPP, Department of Physics, Durham University, Durham, UK ³¹Neutrinica Oy, Oulu, Finland ³²Max-Planck-Institut f
ür Physik, M
ünchen, Germany 33 George Mason University, Fairfax, VA, USA ³⁴ University of Helsinki and Helsinki Institute of Physics, Finland ³⁵III. Physikalisches Institut, RWTH Aachen University, Germany ³⁶Physics Department, University of Ioannina, Greece

ПИЯФ – search for rare processes 50 кт, ЛАВ, 14С, Y, λ ,..

Cavern

height: 115 m, diameter: 50 m shielding from cosmic rays: ~4,000 m.w.e.

Muon Veto

plastic scintillator panels (on top) Water Cherenkov Detector 3,000 phototubes 100 kt of water reduction of fast neutron background

Steel Cylinder

height: 100 m, diameter: 30 m 70 kt of organic liquid 30,000 – 50,000 phototubes

Buffer

thickness: 2 m non-scintillating organic liquid shielding from external radioactivity

Nylon Vessel

separating buffer liquid and liquid scintillator

Target Volume

height: 100 m, diameter: 26 m 50 kt of liquid scintillator

50 м

СЛ

 \leq

IAXO: International AXion Observatory

The International Axion Observatory (IAXO)

J. K. Vogel¹, F. T. Avignone², G. Cantatore³, J. M. Carmona⁴, S. Caspi⁵, S. A. Cetin⁶, F. E. Christensen⁷, A. Dael⁸, T. Dafni⁴, M. Davenport⁵, A. V. Derbin⁹, K. Desch¹⁰, A. Diago⁴, A. Dudarev⁵, C. Eleftheriadis¹¹, G. Fanourakis¹², E. Ferrer-Ribas⁸, J. Galán⁸, J. A. García⁴, T. Geralis¹², B. Gimeno¹³, I. Giomataris⁸, S. Gninenko¹⁴, H. Gómez⁴, J. G. Garza⁴, C. J. Hailey¹⁵, T. Hiramatsu¹⁶, D. H. H. Hoffmann¹⁷, F. J. Iguaz⁴, I. G. Irastorza⁴, J. Isern¹⁸, J. Jaeckel¹⁹, K. Jakovčić²⁰, J. Kaminski¹⁰, M. Kawasaki²¹, M. Krčmar²⁰, C. Krieger¹⁰, B. Lakić²⁰, A. Lindner²², A. Lioliosa¹¹, G. Luzón⁴, I. Ortega⁴, T. Papaevangelou⁸, M. J. Pivovaroff¹, G. Raffelt²³, J. Redondo²³, A. Ringwald²¹, S. Russenschuck⁵, J. Ruz¹, K. Saikawa²¹, I. Savvidis¹¹, T. Sekiguchi²¹, I. Shilon⁵, P. S. Silva⁵, H. Ten Kate⁵, A. Tomas⁴, S. Troitsky¹⁴, K. van Bibber²⁵, P. Vedrine⁸, J. A. Villar⁴, L. Walckiers⁵, W. Wester²⁶, S. C. Yildiz⁶, K. Zioutas^{5,27} ¹Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), Livermore, California, USA ²Physics Department, University of South Carolina, Columbia, SC, USA ³Instituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN), Sezione di Trieste and Università di Trieste, Trieste, Italy ⁴Instituto de Física Nuclear y Altas Energías, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain ⁵European Organization for Nuclear Research (CERN), Genève, Switzerland ⁶Dogus University, Istanbul, Turkey ⁷National Space Institute (DTU Space), Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark⁸IRFU, Centre d'Études Nucléaires de Saclay (CEA-Saclay), Gif-sur-Yvette, France ⁹St.Petersburg Nuclear Physics Institute, St.Petersburg, Russia ͲͶͲΦ ¹⁰Physikalisches Institut der Universität Bonn, Bonn, Germany ¹¹Aristotle University of Thessaloniki, Thessaloniki, Greece ¹²National Center for Scientific Research Demokritos, Athens, Greece ¹³Instituto de Ciencias de las Materiales, Universidad de Valencia, Valencia, Spain 14 Institute for Nuclear Research (INR), Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia 14 ¹⁵Columbia University Astrophysics Laboratory, New York, NY, USA ¹⁶Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan ¹⁷Technische Universität Darmstadt, IKP, Darmstadt, Germany ¹⁸Institut de Ciències de l'Espai (CSIC), Facultat de Ciències, Campus UAB, Bellaterra, Spain ¹⁹Institute for Particle Physics Phenomenology, Durham, United Kingdom ²⁰Rudjer Bošković Institute, Zagreb, Croatia ²¹Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo, Tokyo, Japan ²²Deutsches Elektronen Synchrotron DESY, Hamburg, Germany ²³Max-Planck-Institut für Physik, Munich, Germany ²⁴Department of Nuclear Engineering, University of California Berkeley, Berkeley, CA, USA ²⁵Fermi National Accelerator Laboratory, Batavia, IL, USA

²⁶Physics Department, University of Patras, Patras, Greece

IAXO: International Axion Observatory

3rd General IAXO Meeting Overall status of the project Igor G. Irastorza

Enlarging IAXO community

University of Bonn:

•Ingrid x-ray detectors (Micromegas on a chip)

St. Petersbourg Nuclear Institute

Axion phenomenology

•Experiments: axions in Borexino, detection in solid detectors by resonance excitation or axio-electric absorption. [PRD 85 (2012) 092003, Phys. Rev. D 83, 023505 (2011) , JETP Letters 95, N7! 339 (2012)]

Institute for Space Science (Barcelona)

•Astrophysics: main proponents of the axion hypothesis to solve white dwarfs cooling anomaly (points to 10 x meV axion mass, IAXO could be sensitive)

•Expertise in solar modelling. Also x-ray detectors (solid state) Valencia Space Center (VSC) / ESA:

•Design of passive elements in MW systems (cavities)

CERN Axion Solar Telescope





ALPs are produced inside the Sun via the two photon coupling (and others) and scape easily X-ray detector

- B's of order 5 T,
- L's of order 20 m
- order Zero backgrounds

Отдел полупроводниковых ядерных детекторов Лаборатория низкофоновых измерений



НЕЙТРИНО АКСИОН ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ

g_{Ay}

g_{Ae}

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

BOREXINO POSEIDON DARKSIDE RED LENA, IAXO



14 января 2013

Заседание Ученого совета ОНИ ПИЯФ