

## Важнейшие достижения ИЯИ РАН в 2013 году

### Подтверждено существование бозона Хиггса.

В международном эксперименте на детекторном комплексе Компактный мюонный соленоид на Большом адронном коллайдере надёжно подтверждено существование бозона Хиггса – новой элементарной частицы, завершающей построение Стандартной модели элементарных частиц.

ИЯИ РАН в международной коллаборации CMS, Н.В.Красников

### Лучшие ограничения на массу правого бозона и тяжёлого нейтрино.

По результатам международного эксперимента на детекторном комплексе Компактный мюонный соленоид на Большом адронном коллайдере при полной энергии 8 ТэВ, группа ИЯИ РАН в коллаборации с университетом г. Миннесота (США) получила лучшие на сегодняшний день ограничения на возможную массу правого  $W$ -бозона и тяжёлого майорановского нейтрино – новых частиц, существование которых предсказывается теоретическими моделями.

ИЯИ РАН в международной коллаборации CMS, Н.В.Красников

### Обнаружено превращение мюонных нейтрино в электронные нейтрино

В международном нейтринном эксперименте с длинной базой T2K обнаружено превращение мюонных нейтрино в электронные нейтрино. Зарегистрировано 28 электронных нейтрино в чистом пучке мюонных нейтрино при ожидаемом фоне 4.6 событий в отсутствие осцилляций, т.е. вероятность того, что случайная статистическая флуктуация может привести к такому эффекту, меньше чем  $10^{-12}$ .

Результат T2K является первым наблюдением эффекта появления другого аромата нейтрино, отличающегося от аромата нейтрино в начальном пучке. Открытие нового типа осцилляций предоставляет уникальные возможности для поиска нарушения комбинированной CP чётности в нейтринных осцилляциях. Распределение по энергии зарегистрированных событий и уровень фона в отсутствие осцилляций показаны на рисунке 1.

ИЯИ РАН в международной коллаборации T2K, Ю.Г.Куденко

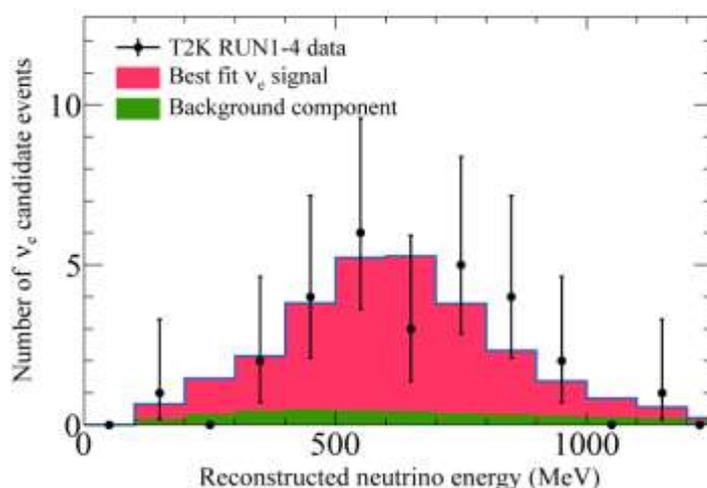


Рис.1. Распределение по энергии 28 зарегистрированных электронных нейтрино.

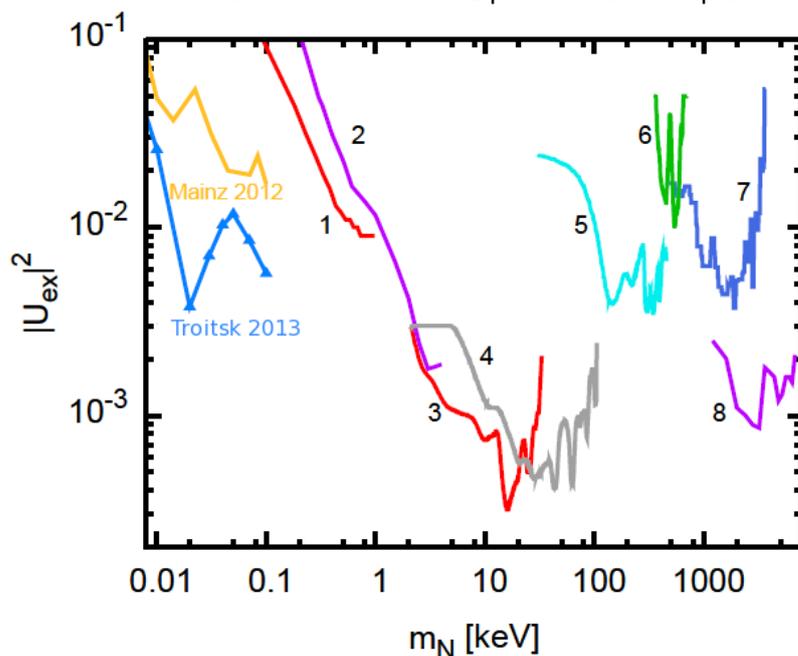
### Лучшее в мире ограничение на примесь тяжёлой («стерильной») компоненты к электронному нейтрино

Получено лучшее в мире ограничение на примесь тяжёлой («стерильной») компоненты к электронному нейтрино в диапазоне масс от 2 до 100 электрон-вольт. Результат основан на обработке данных по измерению массы электронного антинейтрино в бета-распаде трития, собранных за пятилетний период на установке "Троицк- $\nu$ -масс" ИЯИ РАН.

Результат важен для актуальной задачи поиска нового тяжёлого нейтрино, существование которого предсказывается в некоторых теоретических моделях.

ИЯИ РАН, В.С.Пантуев

Рис.1. Верхний предел примеси стерильной компоненты в зависимости от массы дополнительного тяжёлого состояния в различных экспериментах.



### Лучший в мире предел для двойного безнейтринного бета распада.

В рамках международного эксперимента GERmanium Detector Array (GERDA) по поиску двойного безнейтринного бета распада изотопа  $^{76}\text{Ge}$  сотрудниками ИЯИ РАН получена нижняя граница периода полураспада  $2.1 \cdot 10^{25}$  лет на уровне достоверности 90%. Измерения проводились в период с ноября 2011 по май 2013 с полной экспозицией 21.6 кг\*год. Достигнут рекордно низкий уровень фона за счёт отбора сигналов по форме импульса. Величина времени жизни изотопа по отношению к указанному распаду позволяет оценить массу нейтрино – одной из основных составляющих Стандартной модели элементарных частиц.

ИЯИ РАН, И.Р.Барабанов

### Ограничение на массу фотона в межгалактическом масштабе

Из анализа данных астрономических наблюдений квазара через гравитационную линзу получено новое ограничение сверху на массу фотона - менее  $4.1 \cdot 10^{-42}$  грамм на 95% уровне достоверности.

Если бы фотон имел небольшую массу, то излучение на разных частотах по-разному отклонялось бы в гравитационном поле. Такой эффект не наблюдается, что и позволило ограничить массу фотона. Это - единственное в мире ограничение, относящееся к межгалактическим масштабам. Данное замечание важно, поскольку в ряде теоретических моделей масса фотона может быть разной в разных местах Вселенной.

ИЯИ РАН, С.В.Троицкий

### Эмиссия нейтронов ядрами индия в ультрапериферических взаимодействиях с ядрами Al, Cu, Sn, Pb.

Сотрудниками ИЯИ РАН в международной коллаборации ALICE на встречных пучках ускорителя LHC CERN впервые получены новые экспериментальные данные по эмиссии нейтронов ядрами индия с энергией 158 А ГэВ в ультрапериферических взаимодействиях с ядрами Al, Cu, Sn и Pb. Полученные данные раскрывают электромагнитную природу процесса. Получено хорошее согласие экспериментальных данных с предсказаниями модели RELDIS, разработанной в ИЯИ РАН. Эти данные могут быть использованы на LHC для оценки светимости коллайдера и потерь в нём. Возможна экстраполяция данных на более высокие энергии.

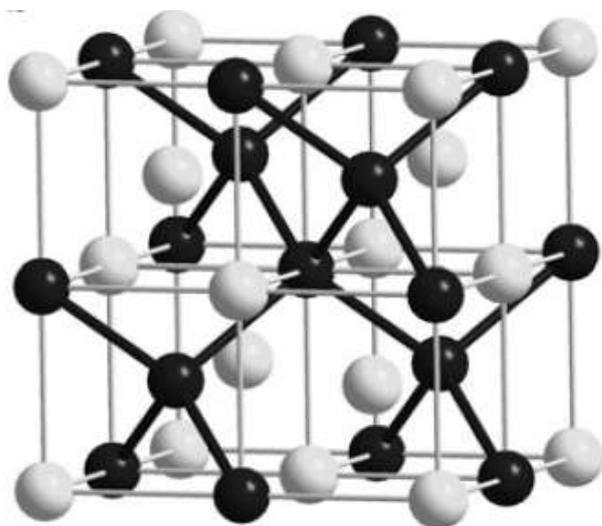
ИЯИ РАН в международной коллаборации, А.Б.Курепин

### Рекордный коллапс кристалла, содержащего церий

Сотрудниками ИЯИ РАН экспериментально обнаружен рекордный коллапс элементарной кристаллической ячейки на основе церия. В валентно-нестабильном интерметаллиде CeNi происходит фазовый переход первого рода с уменьшением объёма на 21%. Работа выполнена методами дифракции нейтронов, дифракции и спектроскопии с использованием синхротронного излучения, техники высокого давления. Определена пространственная группа и структурный тип фазы высокого давления CeNi, что ранее не удавалось сделать научным группам из США, Франции, Германии, России.

Выяснение физического механизма фазовых переходов в соединениях на основе церия — объёмного Кондо-коллапса — до сих пор является одной из главных задач в физике сильнокоррелированных электронных систем и одной из важнейших проблем физики конденсированного состояния.

ИЯИ РАН, Е.С.Клементьев



Кристаллическая структура фазы высокого давления CeNi, подрешетки атомов церия и никеля показаны разными цветами.

Значение скачка объёма при Кондо-коллапсе в соединениях 4f элементов:

элемент соединение	или	относительное изменение объёма, %	кристаллические структуры фаз
Ce		15	из ГЦК в ГЦК
Ce <sub>1-x</sub> (Th,La) <sub>x</sub>		10-12	из ГЦК в ГЦК
Sm(Y)S		13	из кубической в кубическую
YbInCu <sub>4</sub>		0.5	из кубической в кубическую
<b>CeNi</b>		<b>21</b>	<b>из орторомбической в кубическую</b>

### Спиновая поляризуемость протона

В эксперименте по комптоновскому рассеянию поляризованных фотонов на поляризованных протонах, проведённом коллаборацией A2 на ускорителе MAMI (Майнц, Германия) с участием российских учёных из ИЯИ РАН, впервые получена оценка величины спиновой поляризуемости протона — фундаментальной структурной константы, характеризующей отклик спина протона на изменяющееся электромагнитное поле. Этот результат (см.рис.1) открывает принципиальную

возможность для прецизионного исследования спиновой структуры нуклонов в электромагнитных взаимодействиях.

ИЯИ РАН в международной коллаборации, Г.М.Гуревич

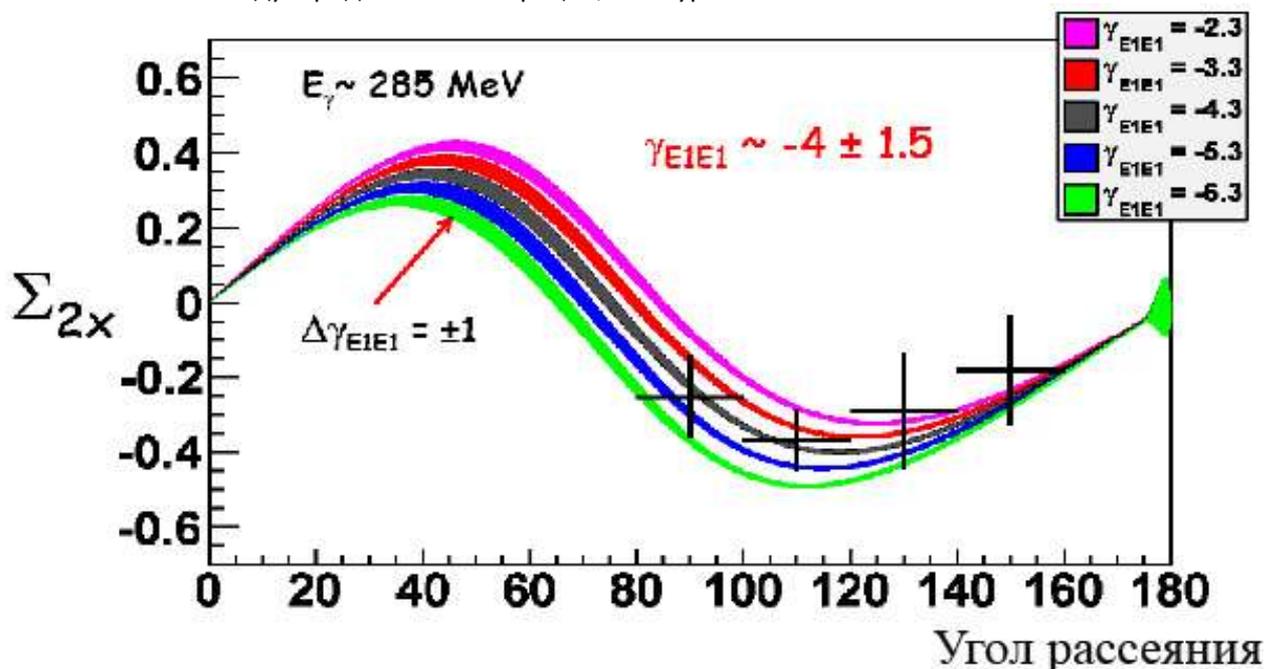


Рис. 1.

Спиновая поляризуемость протона  $\gamma_{E1E1}$ , полученная из измерений асимметрии комптоновского рассеяния  $\Sigma_{2x}$ .

Точки – эксперимент, кривые – расчёт по дисперсионной модели.

#### **Ограничение на вероятность рассеяния реликтовых частиц тёмной материи на нуклонах**

Из анализа данных по поиску нейтрино высоких энергий от аннигиляции тёмной материи в Солнце, за 30 лет наблюдений на Баксанском подземном сцинтилляционном телескопе, сотрудниками ИЯИ РАН получено лучшее в мире ограничение на вероятность рассеяния реликтовых частиц тёмной материи на нуклонах.

ИЯИ РАН, О.В. Суворова

#### **Ограничение на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звёзд в Галактике**

По данным работы нейтринных телескопов ИЯИ РАН: АСД (Артёмовской научной станции, Украина) и российско-итальянской установки LVD (Гран Сассо, Италия) в течение 36 лет получено самое сильное экспериментальное ограничение на частоту нейтринных всплесков от гравитационных коллапсов звёзд в Галактике: менее 1 события за 15.6 года на 90% уровне достоверности.

ИЯИ РАН в международной коллаборации, О.Г.Ряжская

#### **Новые ограничения на переход мюонных нейтрино в стерильные нейтрино**

Анализ данных международных экспериментов OPERA и IKARUS, полученных с участием ИЯИ РАН, по поиску стерильных нейтрино позволил поставить новые ограничения на параметры осцилляций мюонных нейтрино в стерильные нейтрино.

ИЯИ РАН в международной коллаборации, В.А.Матвеев, О.Г.Ряжская

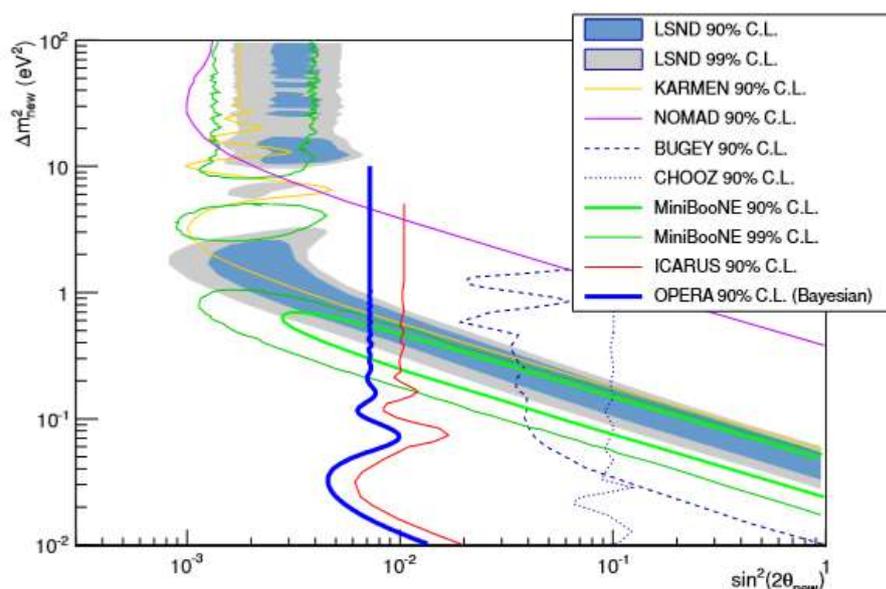


Рис. Диаграмма исключений для параметров нестандартных  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$  осцилляций, полученная с использованием метода Байеса.

=====

ИННОВАЦИОННЫЕ РАЗРАБОТКИ, ГОТОВЫЕ К ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ

**Технология производства нового источника для брахитерапии на основе иттербия**

Создана не имеющая аналогов технология лазерного производства стартового материала источника излучения для брахитерапии на основе изотопа иттербия 168 и изготовления из этого материала сверхплотных керамических сердечников.

Данная работа заняла второе призовое место в совместном конкурсе проектов Сколково - Вариан 2013 года, а проект «Центр лучевой терапии и ядерной медицины», включающий созданную технологию производства данного нового источника для брахитерапии, был награждён в 2013 году Золотой медалью 14-го Международного форума «Высокие Технологии XXI века».

ИЯИ РАН, С.В.Акулиничев

**Внедрена новая технология получения изотопа стронция-82**

На основе проведенных исследований в рамках научно-исследовательской программы внедрена новая технология получения стронция-82 на ускорителе ИЯИ РАН при пониженной энергии протонов 100 МэВ и со сканированием пучка. Технология включает также выделение стронция-82 из облученных металлических мишеней в ГНЦ РФ-ФЭИ (Обнинск), а также в научно-медицинском центре ARRONAX (Франция), на основе изобретений ИЯИ РАН. Полученный продукт использовался для зарядки генератора рубидия-82 в РНЦ РХТ (С-Петербург) и ARRONAX с целью ПЭТ-диагностики кардиологических и онкологических заболеваний в России и Европе.

ИЯИ РАН, Б.Л.Жуйков

**Разработана методика получения радионуклида актиния-225**

Сотрудниками ИЯИ РАН совместно с МГУ им. М.В. Ломоносова и НИФХИ им. Л.Я Карпова выполнен цикл исследований по устойчивости ториевой мишени на пучке протонов с энергией 160 МэВ и радиохимических исследований, на основе которых разработана методика получения этого радионуклида. Получено около 5 мКи актиния-225, который используется в исследованиях по радиотерапии онкологических заболеваний.

ИЯИ РАН, Б.Л.Жуйков

## **Транспортный код SHIELD для расчёта взаимодействия частиц и ядер со сложными мишенями**

В ИЯИ РАН создан и развивается транспортный код SHIELD (<http://www.inr.ru/shield/>), предназначенный для математического моделирования взаимодействия частиц и ядер со сложными мишенями при решении прикладных задач и фундаментальных исследований в ядерной физике. Он используется наряду с известными кодами FLUKA, Geant4, MCNPX. Код SHIELD основан на отечественных моделях ядерных реакций, созданных в ОИЯИ и ИЯИ РАН.

Получено свидетельство государственной регистрации кода как собственности ИЯИ РАН.

Код SHIELD в течение многих лет с успехом применяется в высокотехнологичных приложениях, таких, как адронная терапия в онкологии, изучение радиационных условий в космосе, ADS в энергетике и др., а также в фундаментальных исследованиях. Код SHIELD является предметом договоров о научном сотрудничестве, многократно поддержан научными грантами. Получено свидетельство государственной регистрации кода SHIELD как собственности ИЯИ РАН. Согласно SLOccount, стоимость кода составляет 2,000,000\$.  
ИЯИ РАН, Н.М.Соболевский