

Как известно, в 1957 году Бруно Понтекорво первым высказал идею о существовании нейтринных осцилляций – превращении разных типов нейтрино друг в друга. Это явление было открыто экспериментально лишь спустя 40 лет. С тех пор интерес к физике нейтрино постоянно растет и привлекает к себе все большее внимание. Действительно, исследование уникальных свойств нейтрино, их роли в астрофизике, разгадка природы и величины нейтринных масс – все это играет первостепенную роль в построении современной теории элементарных частиц за пределами Стандартной модели.

Эксперименты по физике нейтрино ведутся во многих исследовательских центрах мира. Их программы сконцентрированы на изучении свойств разных типов нейтрино и характера взаимодействия нейтрино с веществом. Успешное выполнение этих программ невозможно без использования целого спектра передовых технологий детектирования нейтрино. Бурное развитие этой интригующей области исследований, безусловно, требует притока молодых талантливых исследователей, с их новыми идеями и новыми возможностями.

Международная молодежная школа по физике нейтрино имени академика Бруно Понтекорво традиционно принимает примерно 80 молодых ученых, аспирантов и студентов старших курсов из разных стран мира. Она предоставляет сво-

## В международная молодежная имени академика

С 6 по 16 сентября в Алуште (Крым, Украина) успешно прошла очередная Международная школа по физике нейтрино. Организуемая уже в пятый раз Объединенным институтом ядерных исследований, школа носит имя выдающегося советско-итальянского ученого академика Бруно Понтекорво.



им участникам возможность получить наиболее полную информацию о современных теоретических моделях и экспериментальных программах мировой нейтринной физики.

Лекции для начинающих исследователей читают авторитетные специалисты в области физики нейтрино из ведущих физических центров Европы, США и Азии. Содержание учебных курсов международной школы имени Бруно Понтекорво включает в себя анализ самых актуальных проблем физики нейтрино – определение массы этих частиц, изучение явления осцилляций, исследование роли нейтрино в эволюции Вселенной и многое другое.

Приветствуя участников школы, директор ОИЯИ академик РАН В. А. Матвеев подчеркнул особую роль физики нейтрино в современной науке и в научной программе ОИЯИ, отметил большое значение этого события и выразил уверенность в том, что материалы лекций станут для молодых ученых основой для обсуждения недавно полученных экспериментальных результатов и будущих исследовательских программ в области космологии и астрофизики, разгадки тайны темной материи.

Профессор С. М. Биленький (ЛТФ) прочел две лекции. В первой он рассказал о жизни академика Бруно Максимовича Понтекорво. Б. М. Понтекорво, родивший-

ся в Италии и работавший в знаменитой группе Э. Ферми, впоследствии переехал в СССР и до конца своей жизни работал в ОИЯИ в Дубне. С. М. Биленький отметил ряд важных научных открытий, сделанных Б. М. Понтекорво, среди которых наиболее актуальным в контексте школы было предсказание феномена осцилляций нейтрино.

Во второй лекции С. М. Биленький изложил квантово-механическую теорию осцилляций нейтрино. Эта лекция стала первой из трех, посвященных теории нейтринных осцилляций, прочитанных на школе. Развивая тему, профессор К. Джунти (ИНФН, Италия) подчеркнул важность учета пространственно-временной локализации нейтрино для корректного теоретического описания осцилляций нейтрино. Такая локализация достигается использованием понятия волнового пакета для состояния нейтрино, что приводит к важным физическим следствиям. Например, нейтрино перестают «осциллировать» на расстояниях, превышающих длину когерентности, которая задается размерами локализации волнового пакета нейтрино.

Более глубокий уровень понимания явления осцилляций нейтрино возможен, если учесть всю цепочку реакций, приводящих к рождению и детектированию нейтрино. Это удастся сделать в рамках квантовой



**НАУКА  
СОДРУЖЕСТВО  
ПРОГРЕСС**

Еженедельник Объединенного института ядерных исследований  
**Регистрационный № 1154**  
Газета выходит по пятницам  
**Тираж 1020**  
**Индекс 00146**  
**50 номеров в год**  
**Редактор Е. М. МОЛЧАНОВ**

#### АДРЕС РЕДАКЦИИ:

141980, г. Дубна, Московской обл., ул. Франка, 2.

#### ТЕЛЕФОНЫ:

редактор – 62-200, 65-184;

приемная – 65-812

корреспонденты – 65-181, 65-182.

e-mail: dnsp@dubna.ru

Информационная поддержка –

компания КОНТАКТ и ЛИТ ОИЯИ.

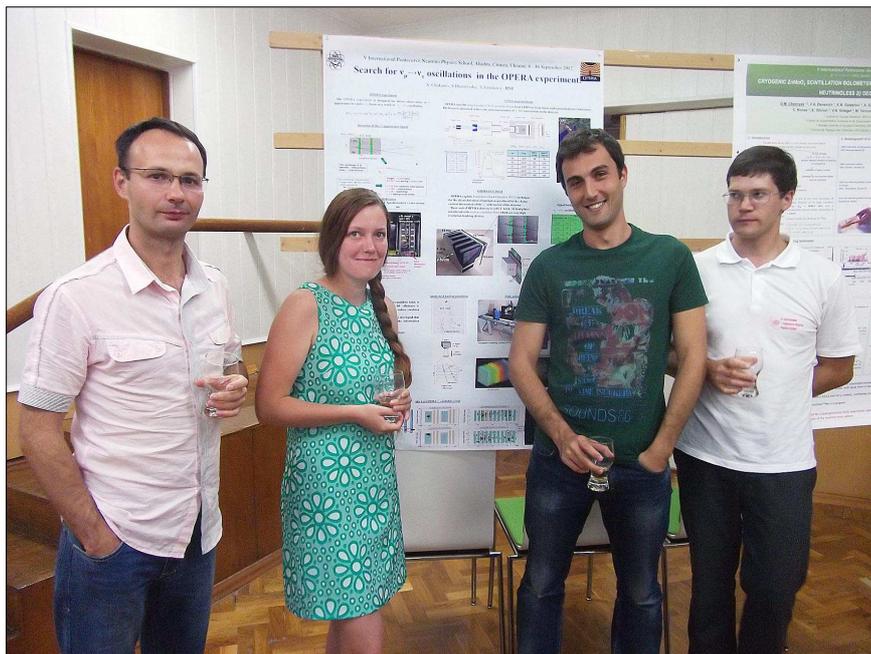
Подписано в печать 19.9.2012 в 15.00.

Цена в розницу договорная.

Газета отпечатана в Издательском отделе ОИЯИ.

# школа по физике нейтрино

## Бруно Понтекорво



теории поля с релятивистскими волновыми пакетами для частиц, участвующих в процессах рождения и детектирования нейтрино. Соответствующий формализм и некоторые результаты такого подхода были изложены профессором В. А. Наумовым (ЛТФ). В специально отведенное для дискуссии время участники школы пытались подробнее разобраться в предлагаемых подходах к теории осцилляций нейтрино и обсудили возможные предсказания для эксперимента теорий с волновыми пакетами. Дискуссия получилась оживленной и интересной для слушателей школы.

Как хорошо известно, осцилляции невозможны, если все нейтрино безмассовые. Современные экспериментальные данные свидетельствуют о наличии очень малых масс у нейтрино – на 6-7 порядков меньше массы электрона. Почему нейтрино такие легкие? Возможные теоретические соображения по этому вопросу были приведены в лекции молодого итальянского физика-теоретика Люки Мерло (Технический университет Мюнхена, Германия). Одним из наиболее популярных механизмов генерации малой массы нейтрино является так называемый «механизм качелей» (see-saw в англоязычной литературе), неперенным атрибутом которого является существование очень тяжелого майорановского нейтрино с массой порядка  $10^{15}$  ГэВ. Обсуждению этого механизма была

посвящена еще одна лекция профессора В. А. Наумова. Другое важное следствие механизма «качелей» заключается в том, что и «наши» легкие нейтрино также должны быть нейтрино Майораны, а не дираковскими фермионами, как например электрон или нейтрон. Но что нам говорит об этом эксперимент?

Экспериментальные исследования природы происхождения масс нейтрино ведутся уже много лет и окончательного ответа на вопрос о том, являются ли нейтрино частицами Майораны, до сих пор нет. Уникальной и в настоящее время практически единственной сигнатурой майорановского нейтрино могла бы быть возможность двойного безнейтринного распада ядра  $(A, Z) \rightarrow (A, Z-2) + 2e^-$ . Обзор выполненных, текущих и будущих экспериментов в этой области был дан в двух лекциях профессора С. Шёнберта (Технический университет Мюнхена, Германия). Отсутствие прямого наблюдения таких распадов позволяет поставить ограничение на произведение эффективной массы нейтрино и квадрата матричного элемента в ядерном переходе  $(A, Z) \rightarrow (A, Z-2)$ .

В лекции профессора Ф. Симковича (ЛТФ) была изложена современная теория двойного безнейтринного распада ядер, включая обсуждение прогресса в теоретических вычислениях матричных элементов. Уменьшение неопределенности в значениях ядерных матричных эле-

ментов позволяет получить более строгие пределы на максимальное значение эффективной массы нейтрино в двойном безнейтринном распаде ядра.

Эксперименты по так называемому прямому измерению массы нейтрино ведутся уже несколько десятков лет. Лучший предел на эффективную массу нейтрино в слабом распаде нейтрона был получен в экспериментах в Майнце и Троицке и составляет порядка двух электрон-вольт. В лекции профессора К. Вайнхаймера (Мюнстерский университет, Германия) был дан обзор прошлых экспериментов и подробно изложены этапы работы над конструкцией наиболее чувствительной установки КАТРИН.

Хотя это может показаться удивительным, но еще более сильное ограничение на величины нейтринных масс следует не из лабораторных экспериментов, а из анализа космологических данных. В лекции профессора И. И. Ткачева (ИЯИ РАН), посвященной космологии и роли нейтрино в космологии, был дан обзор теоретических и экспериментальных исследований в этой интересной мультидисциплинарной области. В другой лекции И. И. Ткачева были рассмотрены теоретические идеи генезиса лептонной асимметрии в ранней Вселенной.

Однако наиболее прецизионные данные о массах нейтрино (точнее, о разности квадратов масс нейтрино) получают сегодня из исследования осцилляций нейтрино. В мире ведется широкая программа с различными источниками и детекторами нейтрино. Осцилляционные эксперименты с нейтрино от ускорителей обсуждались в лекциях профессоров С. Войчицки (SLAC, Стэнфорд, США) и А. Эредитато (Университет Берна, Швейцария). О свойствах солнечных и геонейтрино, впервые обнаруженных совсем недавно, рассказал в своих лекциях профессор К. Пена-Гарэй (Институт физики частиц, Валенсия, Испания).

Как известно, в процессе бомбардировки космическими лучами земной атмосферы образуются широкие атмосферные ливни, частицы которых распадаются с образованием так называемых атмосферных нейтрино. Физика атмосферных нейтрино подробно обсуждалась в лекциях профессора Й. Сузуки (Токийский университет, Япония). Также в его лекциях был дан обзор будущих проектов, которые планируются в Японии, такие как проект Гипер-Камиоканде.

(Окончание на 4-й стр.)



(Окончание.  
Начало на 2–3-й стр.)

Источниками нейтрино могут быть не только Солнце, Земля и земные установки, но и различные астрофизические объекты. Наблюдение нейтрино от таких источников может дать нам уникальную информацию о природе этих источников, недоступную никакими другими способами. Принципы детектирования астрофизических нейтрино рассматривались в лекции Х. Зорноза (Институт физики частиц, Валенсия, Испания).

В двух лекциях К. Хигера (Университет Висконсина, США) обсуждались антинейтрино от ядерных реакторов – история, открытия и будущие проекты. Важность экспериментов с реакторными антинейтрино может быть проиллюстрирована тем, что первые (анти)нейтрино были открыты именно в реакторном эксперименте. И на сегодня угол смешивания  $\Theta_{12}$  был наиболее точно измерен в реакторном эксперименте KamLAND, а угол смешивания  $\Theta_{13}$  открыт в 2012 году в реакторном эксперименте Daya Bay.

В последние пару лет благодаря так называемой «реакторной аномалии» и ряду других «аномалий» в нейтринной физике вновь вырос интерес к существованию «стерильного нейтрино». Это нейтрино способно проявить себя в осцилляционных экспериментах, в космологии, в ряде других наблюдаемых явлений, но оно остается совершенно «невидимым» в распадах  $W$ - и  $Z$ -бозонов. Профессор К. Джунти в

своей лекции обсудил такую возможность для теоретического объяснения различных «аномалий», а также сделал обзор экспериментальных проектов, претендующих ответить на вопрос о существовании стерильных нейтрино.

В лекции профессора А. Студеникина (МГУ) обсуждались оригинальные исследования автора, связанные с электромагнитными свойствами нейтрино.

Нейтрино долгое время было хорошим кандидатом на роль частиц темной материи, о возможном существовании которой свидетельствуют многие астрофизические наблюдения и эксперименты. В лекции Жан-Кома Ланфранки (Технический университет Мюнхена, Германия) обсуждались результаты экспериментов по поиску темной материи как в виде легких нейтрино, так и в виде так называемых массивных слабо взаимодействующих частиц – вимпов.

2012 год войдет в историю физики не только открытием угла смешивания  $\Theta_{13}$ , но и открытием бозона Хиггса – частицы, без которой невозможно полностью сформулировать Стандартную модель. В специальной лекции доктора И. Р. Бойко (ЛЯП) обсуждались эксперименты Большого адронного коллайдера – ATLAS и CMS, которые обнаружили этот бозон.

В заключительной лекции профессор А. Блонделя рассказал о будущем нейтринной физики в экспериментальном ее аспекте – это нейтринные фабрики, мюонные кол-

лайдеры, аргонные жидкостинцилляционные камеры, большие водные детекторы и другие проекты.

Кроме упомянутых выше лекций, молодые ученые, аспиранты и студенты представили свои доклады на постерной сессии, в которой были отражены все современные аспекты физики нейтрино. В работе школы приняло участие более 60 молодых слушателей из 16 стран мира. Этим молодым ребятам еще предстоит сказать свое слово в науке. Их горящие глаза и интерес к школе по физике нейтрино – лучшая благодарность организаторам школы.

Успешное проведение школы было бы невозможно без прекрасно подготовленных лекторов, преодолевших большие расстояния и нашедших время, порой даже только один день, для проведения сразу нескольких лекций. Организационный комитет школы выражает всем лекторам свою благодарность.

Школа была организована Объединенным институтом ядерных исследований при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, Института сцинтилляционных материалов Национальной академии наук Украины и Государственного агентства по науке, инновациям и информатизации Украины.

Всю информацию о школе можно найти на странице <http://pontecorvosch.jinr.ru>.

**Александр ОЛЬШЕВСКИЙ,  
Олег САМОЙЛОВ,  
Вадим БЕДНЯКОВ**