



НАУКА СОДРУЖЕСТВО ПРОГРЕСС

ЕЖЕНЕДЕЛЬНИК ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Газета выходит с ноября 1957 года № 10 (4150) Четверг, 7 марта 2013 года

Пусть каждый день – 8 марта!

Сердечно поздравляю всех сотрудниц нашего Института, университета «Дубна», научных и образовательных учреждений города и всех женщин Дубны с Международным женским днем 8 марта.

Неудивительно, что именно весной мы отмечаем этот день. С этим праздником ассоциируется приход весны и рождение новой жизни. Женщины облагораживают нас, мужчин, вносят неоценимый вклад в становление и развитие научных, образовательных и инновационных программ, укрепление международных научно-технических связей, создание особой атмосферы творческого труда. Мне, как и всем мужчи-

нам нашего Института, приятно в эти первые весенние дни выразить всем вам, дорогие женщины, сердечную благодарность за вдохновенный, добросовестный труд на благо ОИЯИ и города. И пусть 8 марта никогда не заканчивается для вас, наших дорогих и уважаемых женщин, и изо дня в день, из года в год мы не устанем радовать вас и удивлять, дарить вам тепло и нашу любовь!

Желаю вам, дорогие женщины, доброго здоровья, радости, благополучия, весеннего настроения!

**Академик Виктор МАТВЕЕВ, директор
Объединенного института ядерных исследований**

BMBF – ОИЯИ: заседание в Гамбурге

Очередное 23-е заседание Координационного комитета по выполнению Соглашения о сотрудничестве между Федеральным министерством образования и исследований ФРГ (BMBF) и ОИЯИ состоялось 28 февраля в DESY в Гамбурге. Делегацию ОИЯИ возглавлял директор Института академик В. А. Матвеев. Делегацией Федерального министерства руководила начальник отдела фундаментальных исследований BMBF доктор Б. Фиркорн-Рудольф.

Заседаниям Комитета предшествовало двухдневное совещание экспертов по выработке рекомендаций по наиболее перспективным направлениям исследований в рамках соглашения.

В ходе заседаний комитета были обсуждены основные научные результаты, полученные в ОИЯИ в 2012 году, программа научных

исследований на 2013 год, трехлетние итоги реализации Семи-летнего плана развития ОИЯИ, современные тенденции научной политики в области фундаментальных естественных наук в Германии и Европе. Стороны с удовлетворением отметили успешное развитие сотрудничества ученых ОИЯИ и Германии.



Центр исследований с лазерами на свободных электронах (CFEL DESY)

Детально был рассмотрен финансовый отчет о расходовании средств, выделяемых BMBF для реализации соглашения. С учетом взаимных интересов размер немецкого взноса в 2013 году составит 1200 тысяч евро.

Члены комитета посетили создаваемый комплекс рентгеновского лазера на свободных электронах XFEL, комплекс исследований с синхротронным излучением PETRA-3, лазер на свободных электронах мягкого рентгеновского диапазона – FLASH и Научный центр по исследованиям с лазерами на свободных электронах CFEL.

Следующее заседание Координационного комитета состоится в Дубне в феврале 2014 года.

Андрей ПОПЕКО,
фото автора



Делегация ОИЯИ на заседании Координационного комитета

INFN – ОИЯИ: заключено соглашение о сотрудничестве

В Лаборатории ядерных проблем состоялось первое заседание постоянного комитета по сотрудничеству между Национальным институтом ядерной физики (INFN, Италия) и Объединенным институтом ядерных исследований. С итальянской стороны в заседании приняли участие представители INFN и посольства Италии в России, со стороны ОИЯИ – члены дирекции Института и представители ЛЯП, ЛЯР, ЛТФ и ЛФВЭ.

Члены делегации INFN выступили с докладами об исследованиях по различным направлениям физики элементарных частиц, ядерной физики, прикладных исследований, проводимых в INFN. В свою очередь руководители ОИЯИ и лабораторий Института выступили с обзорами о деятельности ОИЯИ. Комитет наметил перспективы сотрудничества между двумя научными центрами.

В ходе заседания было подписано соглашение о сотрудничестве между INFN (секция в городе Пиза) и ОИЯИ в рамках ранее заключенного рамочного соглашения между INFN и ОИЯИ.

Информация дирекции



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 05.03.2013 в 18.00.

Цена в розницу договорная.

Газета отпечатана в Издательском отделе
ОИЯИ.



На открытии выставки – П. Фре, В. А. Матвеев, Г. Стратан.
Фото Елены Пузыниной

«Галилео 400» в планетарии

4 марта в Московском планетарии открылась выставка «Галилео 400», организованная ОИЯИ при содействии Национального института ядерной физики (Италия) и Национального института физики и ядерной технологии имени Х. Хулубея (Румыния).

На торжественном открытии директор Планетария Фаина Борисовна Рублева отметила, что без Галилео Галилея трудно представить, как развивалась бы современная наука, это имя в истории человеческой цивилизации занимает особое место, и поскольку Планетарий посещает очень много детей, важно, чтобы они знали об этом. «Надеюсь, что эта выставка, – подчеркнула Ф. Б. Рублева, – станет первым шагом к сотрудничеству с ОИЯИ. У нас прекрасная площадка для популяризации научных достижений».

Академик В. А. Матвеев поблагодарил за возможность представить экспозицию «в этом замечатель-

ном месте, которое вызывает трепет и уважение к людям, создавшим Планетарий». – «Физики создали Большой адронный коллайдер в ЦЕРН, мы строим свой коллайдер NICA, – сказал Виктор Анатольевич. – Заглядывая внутрь атома, мы исследуем очень малые величины времени, изучаем рождение Вселенной, раскрываем свойства мира. И очень надеемся, что молодежь заинтересуется этими научными достижениями». На открытии выступили также профессор Георге Стратан (Румыния) и атташе по науке Посольства Италии Пьетро Фре.

Английская версия была организована в Университете Овидиуса (Констанца, Румыния) по случаю балканской конференции по прикладной физике. В италоязычном варианте выставка была представлена в Риме и Болонье. На русском языке «Галилео 400» экспонировалась в ОИЯИ и университете «Дубна».

Галина МЯЛКОВСКАЯ

К 150-летию В. И. Вернадского

С 11 марта в Научно-технической библиотеке открывается выставка литературы, посвященная 150-летию со дня рождения естествоиспытателя, выдающегося мыслителя, минералога и кристаллографа, основоположника геохимии, биогеохимии, радиогеологии и учения о биосфере В. И. Вернадского.

Владимир Иванович Вернадский получил мировую известность благодаря трудам, ставшим основой многих новых научных направлений в геохимии, биохимии, радиогеологии. Им были заложены основы современной экологии. Вернадский – автор работ по философии естествознания и науковедению, создатель учения о биосфере и ее эволюции, о воздействии человека на окружающую среду и о преобразовании биосферы в ноосферу – сферу разума. В создании учения о биосфере важное значение имела не только способность Вернадского к синтезу теоретических достижений различных областей естествознания, но и огромный практический опыт, накопленный им в многочисленных геолого-минералогических, почвенных и радиологических экспедициях. Приглашаем сотрудников Института посетить выставку.

Нейтринный треугольник: все углы известны

До прошлого года коллаборация Daya Bay была лишь одной из нескольких десятков научных групп, исследующих нейтрино. А по итогам 2012 года вошла в десятку самых результативных исследовательских проектов мира. «Измерение угла смешивания нейтрино θ_{13} » – такое, не совсем обычное, название у открытия, аналогу которому, по признанию специалистов, случаются раз в 30 лет. Объяснить, что скрывается за этими научными символами, проследить исторический путь к этому открытию и рассказать об экспериментах на атомной электростанции Daya Bay редакция попросила очевидца событий – кандидата физико-математических наук начальника сектора N1 научно-экспериментального отдела физики элементарных частиц Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ Д. В. НАУМОВА.

Дмитрий Вадимович, давайте начнем с небольшого обзора – когда ученые стали получать знания о нейтрино?

В конце 19-го – начале 20-го веков началось активное изучение радиоактивности. Радиоактивные распады были обнаружены сначала Анри Беккерелем, а затем Марией и Пьером Кюри. Позже распады разделили на три группы по типу взаимодействия – сильное, слабое и электромагнитное, а сначала просто называли буквами: альфа, бета, гамма. Сильные и электромагнитные распады (альфа и гамма) были понятны физикам того времени – законы сохранения энергии и импульса в них соблюдались. Как раз тогда создавалась квантовая механика, и все вполне укладывалось в общую канву квантования уровней. Однако при бета-распаде, с которым мы сейчас связываем слабое взаимодействие, вылетает электрон или позитрон с энергией, значение которой не дискретно, то есть оно может принимать любое значение от минимального до максимально возможного. Физики говорят в таком случае о спектре значений энергии. Непрерывность спектра электронов из бета-распадов ставила многих ученых в тупик, и Н. Бор, один из создателей квантовой механики, даже обсуждал возможность того, что энергия и импульс не сохраняются в микроскопических масштабах. К счастью, эту идею не поддержали другие физики.

В 1930 году В. Паули был первым, кто догадался, что в распаде может образовываться третья частица, которая улетает незамеченной. Благодаря ей и наблюдается непрерывный спектр электронов в бета-распадах: энергия и импульс делятся между дочерним ядром, электроном и (анти)нейтрино. Он сделал оценки для своей гипотетической частицы – она должна быть нейтральной, с массой, много меньшей массы протона, и очень слабо взаимодействующей, потому и незаметной. Паули назвал эту частицу нейтроном, однако в 1932 году Д. Чедвиком был открыт настоящий нейтрон, он оказался тяжелее протона и явно не годился на роль незаметной улетающей частицы. В середине 30-х годов Энрико Ферми вернулся к этой

идее, создав теорию бета-распада и попутно назвав «нейтрон Паули» итальянским словом «нейтрино», что означает маленький нейтрон.

С тех пор прошло почти 80 лет. Расскажите кратко, как развивались исследования нейтрино.

С момента предсказания Паули до экспериментального обнаружения нейтрино прошло 26 лет. За это время Ферми создал теорию бета-распада с участием нейтрино (я бы все-таки отметил, насколько разнятся вклады этих ученых – у Паули был гениальный провидческий ход, а Ферми сделал из этой идеи теорию, которую потом проверили и подтвердили). Согласно этой теории, вероятность того, что нейтрино провзаимодействует с другой частицей, оказалась очень мала, поэтому экспериментально обнаружить ее довольно сложно. Например, теоретически нужно поставить бок о бок миллиард Солнц, чтобы нейтрино провзаимодействовало хотя бы один раз. С другой стороны, это очень хорошо для астрофизиков – ведь нейтрино несет в себе информацию о самых глубоких внутренних областях звезды, куда нам иным способом никак не добраться. Например, из-за многократных перерассеяний в веществе Солнца фотону требуется почти 10 тысяч лет, чтобы выбраться из середины нашего светила на поверхность.

Теоретики оценили вероятность взаимодействия нейтрино и ужаснулись его малому значению по сравнению с электромагнитными или сильными взаимодействиями. Бытовало даже мнение, что нейтрино вообще никогда не удастся зарегистрировать и оно останется только красивой гипотетической частицей, объясняющей непрерывность бета-спектра. Однако согласно поговорке «глаза боятся, а руки делают», оказалось, что достаточно поставить в нескольких метрах от реактора бак с парой сотен литров воды и растворенным в ней хлоридом кадмия, проложить его тремя слоями жидкого сцинтиллятора, окружить фотоумножителями, – и можно увидеть взаимодействия антинейтрино от реактора.

Почему именно около реактора?

Потому что в реакторе в избытке рождаются совершенно «бесплатные»



нейтрино (точнее, антинейтрино). До некоторого времени до них никому не было дела. Поэтому, если нет намерения строить специальный нейтринный источник, то проводить эксперименты на атомных станциях – самый удобный вариант. В 1956 году был проведен ставший классическим эксперимент Ф. Райнеса и Ч. Коуэна на реакторе в Хэнфорде, когда в пластиковом баке с водой они увидели взаимодействие антинейтрино с веществом. Интересно, что Райнес дожил до Нобелевской премии, а Коуэн, к сожалению, нет. На этом примере я обычно в своих лекциях советую молодым ученым: во-первых, беречь здоровье и заниматься спортом, а во-вторых, не останавливаться в своих исследованиях – никто не может заранее загадать, что за этим последует. Райнес и Коуэн открыли так называемое электронное нейтрино ν_e .

Следующий тип нейтрино был открыт в 1962 году Л. Ледерманом, М. Шварцем и Дж. Штейнбергом. Они понимали, что, согласно теории Ферми, пимезон в большинстве случаев при распаде рождает мюон и нейтрино или антинейтрино, в зависимости от знака заряда пиона. Надо было ответить на вопрос – отличаются ли эти нейтрино от тех, что видели Райнес и Коуэн? Было решено поставить эксперимент, в котором регистрировались бы нейтрино из распадов пиона. Идеино эксперимент выглядел просто – пучок пионов направляется в длинный канал, где и происходит распад (пион живет примерно 26 наносекунд). Получившиеся в результате распада мюоны задерживаются толстой стальной стеной, а нейтрино ее преодолевают и попадают в детектор. Оказалось, что эти нейтрино, взаимодействуя с веществом детектора, всегда порождают мюоны, а не электроны. Таким образом, выяснилось, что существуют по крайней мере два типа нейтрино – электронные ν_e и мюонные ν_μ .

Как же регистрируют нейтрино, если они так слабо взаимодействуют?

Есть несколько способов. Например, *(Продолжение на 4-5-й стр.)*

(Окончание. Начало на 3-й стр.)

если энергия нейтрино большая (в несколько раз больше массы протона), то они могут провзаимодействовать с протоном или нейтроном, образуя пионы, каоны и другие частицы. С хорошим детектором (их сейчас много – например, дрейфовые камеры или фотоэмульсии) это можно увидеть. Или другой способ, который используют как раз в Super-Kamiokande. Нейтрино рассеивается на электроне, тот приобретает большую кинетическую энергию и летит почти со скоростью света в вакууме. Интересно, что сам свет с длиной волны из видимого диапазона при этом движется в среде в n раз медленнее, чем в вакууме (n – показатель преломления среды). Выходит, что электрон или другая заряженная частица может двигаться в среде почти со скоростью света, при этом сам свет движется медленнее. Тогда возникает интересное явление – электрон начинает излучать свет вдоль узкого конуса. Оно называется «черенковское излучение» и используется во многих современных физических установках. В Super-Kamiokande по стенкам огромной бочки с водой установлены фотоумножители, которые «видят» черенковский свет от электронов или мюонов (или других заряженных частиц), и становится понятно – здесь было взаимодействие нейтрино или антинейтрино. Есть и другие способы обнаружения нейтрино, но общая особенность детектирования этой частицы в том, что всегда детектор должен быть очень большой, чтобы получить как можно больше событий. Сегодня речь уже идет о проектах с десятками килотонн и даже мегатонн вещества! При этом детектор должен быть очень чувствительным, чтобы не потерять информацию на микроскопическом уровне. В этом смысле нейтринная физика предъявляет очень серьезные требования к технологиям.

В этом можно убедиться на примере открытия третьего типа нейтрино. Это было сделано совсем недавно – в 2000 году. В США был проведен эксперимент DONUT. Тау-нейтрино взаимодействовали в специальном фотоэмульсионном детекторе, рождая тау-лептон – короткоживущий лептон, который перед распадом успевает пройти путь длиной несколько сотен микрон и оставить маленькую часть трека в фотоэмульсии. Дочерние треки тау-лептона идут под большим углом к исходному, делая такой изломанный трек исключительной меткой распада тау-лептона. Обнаружение таких событий в DONUT привело к открытию тау-нейтрино – ν_τ .

Итак, к началу нашего века стало известно о трех типах нейтрино, каждый из которых всегда рождается вместе с соответствующим лептоном – электроном, мюоном или тау-лептоном. Таким образом, каждому нейтри-

но приписывается свое квантовое число – аромат (или «флэйвор»). Эксперименты указывали на то, что аромат нейтрино сохраняется.

Между обнаружением второго и третьего поколений нейтрино прошло почти 40 лет. Что происходило в нейтринной физике в эти годы?

В процессе проведения новых экспериментов физики все чаще высказывали сомнения в том, что аромат нейтрино сохраняется. Некоторые эксперименты регистрировали меньшее число нейтрино, чем ожидали согласно теоретическим вычислениям. Одной из гипотез, объясняющих такой дефицит в числе нейтринных взаимодействий, были нейтринные осцилляции. Согласно этой гипотезе, в пучке, состоящем изначально только из электронных, например, нейтрино, появляется примесь мюонных и тау-нейтрино с одновременным уменьшением доли электронных. Вероятность появления этой примеси зависит периодическим образом от расстояния между источником и детектором. Тогда уменьшение доли исходных нейтрино естественным образом объясняло бы наблюдавшийся дефицит в числе взаимодействий.

Почему нейтрино осциллируют?

Дело в том, что три типа нейтрино ν_e , ν_μ и ν_τ не являются привычными частицами в том смысле, что у них нет определенной массы! Есть другие три типа нейтрино, у каждого из которых есть определенная масса. Для них нет красивого названия, и их пока называют просто ν_1 , ν_2 и ν_3 . Так вот, нейтрино ν_e , ν_μ и ν_τ являются квантовой смесью состояний ν_1 , ν_2 и ν_3 , каждое из которых входит в флэйворное состояние со своей долей. Эти доли удобно выражать математически через углы смешивания θ_{12} , θ_{23} , θ_{13} . Получается, что ν_e , ν_μ и ν_τ состоят из трех волн, каждая из которых колеблется со своей частотой и амплитудой. Теперь становится понятно, что если в начальный момент времени это сложное волновое образование выглядело как, например, ν_e , то в последующие моменты времени эти волны сложатся так, что появляется примесь ν_μ и ν_τ , что и могут измерить экспериментаторы как дефицит в числе ν_e , или же как появление новой примеси ν_μ и ν_τ .

Вероятность таких переходов аромата нейтрино будет периодической. Измеряя соответствующие вероятности осцилляций, можно узнать значения этих углов смешивания. Если бы углы оказались равными нулю, это бы означало, что никакого смешивания нет. Однако экспериментально показано, что угол θ_{12} составляет около 34 градусов, а θ_{23} близок к 45, то есть смешивание есть, и значительное. Таким образом, электронное нейтрино почти наполовину состоит из ν_1 и примерно по одной четверти примеси от ν_2 и ν_3 . Каждое массивное нейтрино (ν_1 , ν_2 и ν_3) вносит свой вклад, близкий к одной трети, в квантовое состояние под названием «мюонное нейтрино». А тау-нейтрино состоит почти наполовину из ν_2 и наполовину из ν_3 с маленькой примесью ν_1 . В процессе изучения осцилляции ν_μ в ν_e был измерен угол θ_{12} , а в осцилляциях ν_μ в ν_τ измерили θ_{23} . Последний, неизвестный до 2012 года, угол смешивания θ_{13} был открыт в эксперименте Daya Bay.

Являются ли смешивание и осцилляции чем-то уникальным, присущим только нейтрино?

Нет, это общее явление. Оно присуще также и кваркам. Более того, в адронной физике еще раньше наблюдали осцилляции нейтральных каонов, D-мезонов. Особенность осцилляций нейтрино в том, что они проявляются в макроскопических масштабах – на протяжении сотен и тысяч километров. Причина этой особенности только в том, что у нейтрино очень маленькая масса, а также в том, что массы трех типов нейтрино θ_1 , θ_2 и θ_3 близки друг к другу.

Расскажите подробнее об открытии нейтринных осцилляций – как возникли предпосылки, гипотезы, подтверждения. Ведь нейтрино долгие годы считалось одной из самых загадочных частиц, ее упоминали в песнях, научно-фантастических произведениях.

Первой предпосылкой был дефицит числа электронных нейтрино, летящих от Солнца, который был обнаружен в эксперименте Дэвиса в Хоумстэйке еще в семидесятых годах прошлого века. Всерьез об осцилляциях заговорили во второй половине 90-х годов. Измерение первых двух углов было

Цифры и факты

– Каждый из восьми детекторов эксперимента Daya Bay – трехзонный. Внутренняя зона заполнена 20 тоннами жидкого сцинтиллятора с примесью гадолиния, еще 20 тонн жидкого сцинтиллятора без примеси располагаются в средней зоне и 40 тонн минерального масла служат внешним буфером от радиоактивного фона.

– Первый подземный зал с детекторами находится примерно в 300 м от Daya Bay, второй – в полукилometре от Ling Ao, а третий – приблизительно в 2 км от обеих электростанций.

– За 126 дней эксперимента в Daya Bay было зарегистрировано более 200 000 взаимодействий антинейтрино. Из них почти 30 000 событий было зарегистрировано в дальних детекторах.

связано в основном с экспериментом Super-Kamiokande. У японцев на тот момент нейтринная программа была развита лучше всех. Электронные нейтрино летят от Солнца во все стороны, в том числе к Земле, их довольно много. Через каждый квадратный сантиметр за секунду их пролетает 10 миллиардов, мы все живем в потоках нейтрино. Есть теоретическая модель Солнца, в рамках которой рассчитывается количество солнечных нейтрино, и есть эксперименты, которые их регистрируют. Между теорией и экспериментом возникло расхождение – эксперимент видел примерно в два раза меньше нейтрино, чем было предсказано. Физики назвали это явление проблемой солнечных нейтрино, много лет она у всех была на слуху, делалось множество предположений.

Одной из версий была гипотеза о нейтринных осцилляциях. Предполагалось, что электронные нейтрино на пути от Солнца превращались в другие типы нейтрино. Их невозможно было увидеть, потому что у нейтрино не хватало энергии для рождения мюона или, тем более, тау-лептона. Это была красивая, но не единственная гипотеза. Она существовала наравне с парой десятков других предположений. Думаю, однако, было бы уместно вспомнить о том, что идею нейтринных осцилляций высказал академик Б. М. Понтекорво, работавший в ОИЯИ. Что поразительно, он высказал идею о возможном дефиците нейтрино от Солнца еще до проведения самого эксперимента! Но, как я уже сказал, были и другие гипотезы, объясняющие загадку солнечных нейтрино.

Точку в этом споре поставил эксперимент SNO (Канада), в котором вместо воды применили тяжелую воду D_2O . Казалось бы, что такого – вместо водорода дейтерий? Всего лишь еще один нейтрон, но разница оказалась огромна! Дело в том, что нейтрино может взаимодействовать с веществом двумя способами – с рождением заряженного лептона (электрона, мюона, тау-лептона) или же оставаясь нейтрино (нейтрино прилетело, провзаимодействовало, и оно же улетело). Первый способ называется заряженным током, а второй нейтральным током. Заряженный ток хорош тем, что в нем есть флэйворная метка нейтрино, а в нейтральном такой метки нет, поскольку все нейтрино одинаково охотно взаимодействуют по каналу нейтрального тока. Этот кажущийся недостаток для осцилляционных экспериментов, на самом деле, – отличная штука! Действительно, если солнечные электронные нейтрино из-за осцилляций превратились в смесь электронных, мюонных и тау-нейтрино, то вся эта смесь все равно будет одинаково взаимодействовать по каналу нейтрального тока, давая тем самым экспериментаторам возмож-



Вид на реакторный корпус Daya Bay

ность узнать полное число нейтрино в пучке, независимо от их осцилляций! Оставалось только придумать эффективный способ, как такие нейтральные токи видеть экспериментально. Вот для этого и решили использовать тяжелую воду.

Энергии солнечных нейтрино хватает, чтобы разорвать связи между нейтроном и протоном в дейтерии, и экспериментаторам оставалось только посчитать число таких развалов. Оказалось, что число нейтрино, которое было подсчитано по таким событиям, находится в прекрасном согласии с теорией, в то время как число событий, идущее по каналу заряженного тока, почти в два раза меньше теории. Так было доказано, что нейтрино от Солнца осциллируют. Важный вклад в решение проблемы солнечных нейтрино внесли эксперименты KamLAND и Борексина (и в том и в другом принимали участие сотрудники ОИЯИ). Таким образом был измерен угол θ_{12} . Не будем подробно останавливаться на том, как был измерен другой угол θ_{23} . Отмечу лишь, что основной вклад в этот вопрос внесли эксперименты Super-Kamiokande и MINOS.

Три вида нейтрино открыты, осцилляции доказаны, два вида смешивания наблюдались, два угла измерены. Переходим к Daya Bay, где был измерен третий угол. Что представляет собой этот эксперимент?

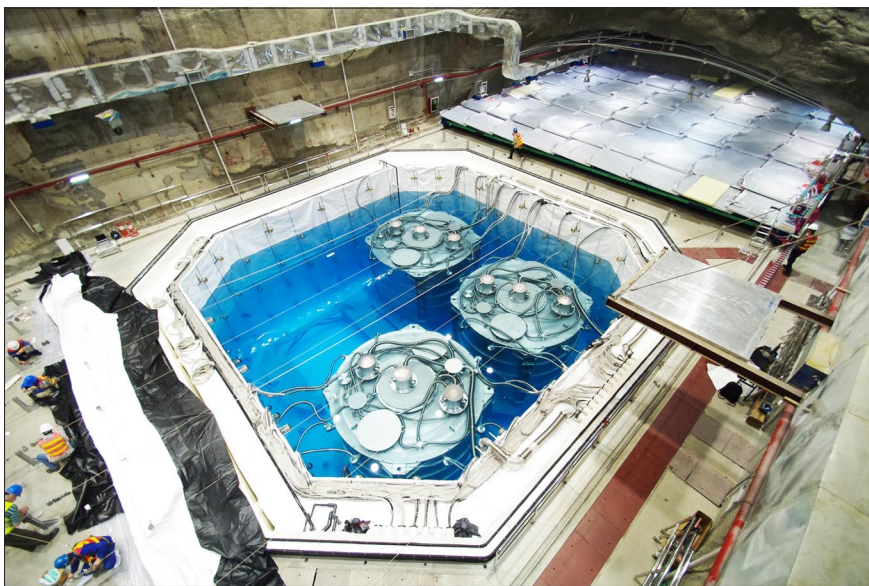
На юге Китая, в 52 километрах севернее Гонконга, расположены три реакторных комплекса – Daya Bay, Ling Ao и Ling Ao 2. В каждом из них по два реактора для производства энергии. Расчеты показали – чтобы обнаружить эффект осцилляций нейтрино за счет третьего угла смешивания, надо поставить детектор на расстоянии 1,5–2 км от реактора и измерить дефицит антинейтрино. Исходя из величины этого дефицита, можно вычислить последний из неизвестных

углов θ_{13} . Но тут встает вопрос: а не возникает ли дефицит из-за того, что реактор излучает немного меньше антинейтрино, чем мы думаем, или же вероятность взаимодействия этих антинейтрино с протоном на самом деле чуть меньше наших сегодняшних предположений? Как нам избавиться от того, что наши знания о физических процессах всегда имеют ограниченную точность? Чтобы этого избежать, был применен способ, который сегодня становится в нейтринной физике стандартным – поставить дополнительные «ближние» детекторы. В них те же потоки и сечения, но нет вкладов от осцилляций нейтрино, которые становятся существенными только с увеличением расстояния. С реакторами такой эксперимент проводился впервые, и он сразу же дал результат.

Приходилось слышать мнение, что эксперимент был очень хорошо подготовлен. Использовался опыт предыдущих исследований?

Да, конечно. Например, в создании сцинтиллятора. Для увеличения эффективности детектирования нейтронов (при взаимодействии антинейтрино с протоном рождаются позитрон и нейтрон) в жидкий сцинтиллятор добавляют гадолиний. Однако со временем химическое соединение с гадолинием может выйти из раствора с жидким сцинтиллятором, образуя непрозрачную смесь, и детектор перестает нормально работать. К сожалению, именно это случилось с реакторным экспериментом Chooz во Франции, и они были вынуждены остановиться буквально в шаге от открытия. Им удалось только сказать о том, что $\sin^2 2\theta_{13} < 0,15$. Разумеется, этот опыт был учтен при проектировании эксперимента Daya Bay – был создан жидкий сцинтиллятор, сохраняющий свою прозрачность многие годы. Кроме этого, была разработана автоматическая

(Окончание на 6-й стр.)



Три детектора в дальнем экспериментальном холле ЕНЗ

система регулярной калибровки детекторов, которая позволила нам существенно снизить систематические погрешности по сравнению с предшественниками. В итоге на Daya Bay ненулевое значение угла θ_{13} было доказано впервые. Сегодня измеренное значение $\sin^2 2\theta_{13} = 0,089$ исключает нулевое значение этого угла почти на восемь стандартных отклонений! Этот результат был подтвержден позднее реакторными экспериментами RENO, Double Chooz. Отмечу, что годом ранее открытия Daya Bay ускорительные эксперименты T2K и MINOS получили указание на ненулевое значение угла θ_{13} .

Каким образом измерялся угол θ_{13} ? Когда и где состоялось официальное признание открытия?

Daya Bay – это международная коллаборация, она состоит из физиков Китая, США, Тайваня, Гонконга, Чехии и России. Россия представлена ОИЯИ. Нам необходимо было сначала создать детекторы, ближние и дальние, установить их и начать набор данных. Примерно через 55 дней с начала набора данных ближними и дальними детекторами было решено проанализировать первую порцию данных. В современной физике, когда ученые ищут то, что еще не открыто, применяют так называемый «слепой анализ». Это скорее попытка избежать, скажем так, самообмана, потому что когда люди искренне хотят обнаружить какой-нибудь эффект и при анализе данных видят что-то похожее, потом бессознательно начинают критерии отбора настраивать таким образом, чтобы этот эффект усилить. Это естественное психологическое явление, которое, тем не менее, часто приводит к неправильным результатам. Поэтому использу-

ется метод слепого анализа: физики анализируют данные, но часть информации (в данном случае речь идет о массе детектора, о мощности реактора, о некоторых эффективностях) от анализаторов данных утаивается.

В данном случае использовались номинальные параметры, которые должны были бы быть в идеале. Такая обработка – довольно длительная процедура, ученые обмениваются результатами, выводами, ищут потенциальные проблемы. И только после того, как мы все проанализировали и убедились, что у нас нет систематических ошибок (или мы их не можем идентифицировать), открывается «черный ящик». В действительности люди, которые все это засекретили, говорят – берите эту информацию, применяйте ваш анализ (а в нем уже ничего нельзя изменить!), производите окончательные вычисления, докладывайте окончательный научный результат. И когда все это было сделано, стало очевидно, что мы систематически в дальнем детекторе видим дефицит событий, который надо интерпретировать как проявление осцилляций. Это происходило на внутреннем, закрытом совещании, где присутствовали только члены коллаборации.

Время было действительно горячее, совещание проходило в феврале 2012 года, и мы все очень напряженно работали. В итоге 8 марта 2012 года коллаборация Daya Bay объявила, что угол θ_{13} отличен от нуля, со статистической значимостью $5,2\sigma$. Как говорится, «и на следующий день они проснулись знаменитыми». Было сделано действительно очень важное научное открытие. Такие открытия происходят, пожалуй, раз в 30 лет, это один из трех основополагающих параметров в понимании физики нейтрино.

И статья с этими результатами имеет сегодня уже более 400 цитирований, прибавляя в числе ссылок буквально каждый день.

Что участники коллаборации планируют делать дальше?

Если говорить про первую фазу Daya Bay, то набор и анализ данных продолжается. У нас сейчас вновь горячая пора – делаем новый анализ, который учитывает энергетическую зависимость. До этого анализировали только полное число событий, а теперь хотим посмотреть, как они распределены по энергиям, потому что осцилляции очень зависят от энергии, и это нам поможет уточнить параметры осцилляций. За ближайшее время набора данных, в течение трех лет, у нас очень сильно уменьшится статистическая ошибка и точность измерений будет гораздо лучше, чем у кого бы то ни было. Это и станет, наверное, окончательным результатом измерения θ_{13} с самой маленькой ошибкой, с беспрецедентной точностью.

Но уже сегодня готовится новый проект, ведь открытые вопросы в нейтринной физике еще остаются. Три угла измерены, так же как и две разницы квадратов масс, которые измеряются в осцилляциях между первым – вторым и вторым – третьим поколениями. Но до сих пор неизвестно, первое нейтрино тяжелее, чем третье, или наоборот. Это так называемая проблема иерархии масс нейтрино. И вторая фаза эксперимента Daya Bay как раз ставит своей целью эту иерархию масс определить. Для этого нужно будет поставить детектор на расстояние 60 километров от реактора, там должна будет проявиться разница между двумя сценариями смешивания. Это глобальная задача, и мы с нуля начинаем новый цикл. Аналогично почти 10 лет назад в 2004 году начинался эксперимент Daya Bay. Сейчас мы начинаем такой же новый цикл – с 2012 года готовим новый эксперимент, который даст результат только в 2025 или, если повезет, в 2023 году. Вторая стадия, может быть, даже будет называться по-другому, потому что будут использоваться другие реакторы, уже точно известно, что в другом месте, южнее Гонконга. Форма детектора будет сферической (в Daya Bay использовали 8 цилиндрических детекторов), диаметр 37 метров, заполнена жидким сцинтиллятором. Эксперимент несет много технологических вызовов, поскольку требуются улучшения почти по всем параметрам – очень хорошая точность восстановления энергии, положения, однородность детектора. То есть с точки зрения технологических инноваций это будет следующий шаг, который требует отдельной подготовки и специальных исследований.

Беседу вела Галина МЯЛКОВСКАЯ

«Мы вместе прошли этот путь»

В библиотеке семейного чтения на Черной речке в субботу 2 марта состоялось торжественное открытие Центра межнационального общения.

– Необходимость в таком центре назрела давно, – подчеркнул заместитель главы города Н. Ю. Мадфес. – Мы бы хотели, чтобы здесь проводились интересные встречи, вечера. Эти мероприятия мы будем организовывать совместно с национальными землячествами ОИЯИ, представители которых вместе с руководителями национально-культурных автономий присутствуют здесь сегодня.

– Мы вместе прошли этот непростой путь, – отметил председатель региональной татарской национально-культурной автономии Московской области Ф. Ш. Мухтасаров. – Открытый сегодня центр будет выполнять просветительскую функцию,

знакомить молодежь с культурой разных народов. Сегодня – начало большого пути.

Собравшихся приветствовал начальник управления социальной инфраструктуры ОИЯИ А. В. Тамонов: «Я рад, что сегодня появился *ненаучный* центр, объединяющий все национальности. В этом районе проживает много сотрудников ОИЯИ, и хорошо, что центр, в котором можно пообщаться, почитать книги, находится в шаговой доступности». Дубненцев поздравила директор Дома дружбы города Пушкино Х. Р. Рамаева.

Центр межнационального общения торжественно открыли Н. Ю. Мадфес, Ф. Ш. Мухтасаров и пред-

седатель Совета руководителей национальных групп ОИЯИ В. Хмельовски. Директор нового центра – Л. В. Алексеева познакомила гостей с небольшой экспозицией, собранной из личных коллекций. Ее составили книги по этнографии и народным промыслам, куклы в национальных костюмах, фарфоровые статуэтки, сувениры из городов-побратимов Дубны. Коллекция центра была тут же пополнена новыми книгами и картинами, подаренными участниками церемонии. Звучали народные песни – русские, татарские, украинские. Заместитель главы города вручил благодарственные письма представителям предприятий, помогавшим открытию центра. А потом все собрались вокруг столов с национальной выпечкой – чак-чаком, блинами, пирожками и ароматным чаем.

Ольга ТАРАНТИНА

Новые проекты библиотеки ОИЯИ

Не отставая от времени, Универсальная библиотека ОИЯИ имени Д. И. Блохинцева находит новые формы осмысленного досуга. Вот уже год вслед за ведущими библиотеками страны она осуществляет все новые идеи и проекты, рассчитанные на разные возрасты.

РЕГУЛЯРНО. В прошлом году библиотека запустила несколько проектов на регулярной основе. Каждую неделю устраиваются киносеансы (как правило, это некассовые, авторские фильмы, часто проверенные временем, имеющие международные награды); литературные вечера «ПроЧтение» и «Литературное кафе» (совместное чтение и обсуждение книг); детские интерактивные занятия «Почитайка». Постепенно вокруг проектов сложилась постоянная аудитория, но при этом они всегда открыты для новых людей и гостей.

СОВРЕМЕННО. Одно из новшеств – современные настольные игры. Вокруг них объединяются люди разных поколений, родители с подростками детьми, приезжие из разных городов. Оказалось, что ежемесячные игротки и наличие игр в свободном доступе – хорошее дополнение к книгам.

У нас и раньше проходили концерты и встречи с писателями, но они, в основном, привлекали зрителей старшего возраста. Сотрудничество с фестивалем «МузЭнерго» расширило эту аудиторию, послушать хорошую джазовую музыку с удовольствием приходят и молодые, и родители с детьми.

Профильная деятельность библио-

теки тоже не забыта. Мы стали налаживать прямые связи с издательствами, и в библиотеке появляются новые интересные книги: качественные путеводители, книги-лауреаты недавних литературных премий, бестселлеры для родителей, заметные новинки от небольших издательств, как детских, так и взрослых.

В КОНТАКТЕ. Всего за год вокруг библиотеки сложился круг неравнодушных активных людей, готовых помогать ей развиваться и удерживать свое место на карте досуговых заведений города, быть полезной и удобной для посетителей. Налаживать связи с читателями помогают социальные сети – у страниц библиотеки ВКонтакте и в Фейсбуке уже больше трех с половиной сотен заинтересованных подписчиков.

НАУЧНО. Закономерно, что именно библиотека ОИЯИ подхватила идею встреч с пересказами научно-популярной литературы – «Курилки Гутенберга». Такой формат, совмещающий лекцию и дискуссию, активно поддержали молодые ученые и специалисты, актив ОМУС в ОИЯИ, которые помогают популяризировать науку и придавать интерес каждой встрече. Сейчас разрабатывается несколько новых форматов, основан-

ных на тематических пересказах книг и статей и диспутов.

ЯРКО. Итак, за год стал складываться имидж Универсальной библиотеки как культурного центра, где происходят необычные и интересные события для взрослых, молодежи и детей. Наиболее заметно это проявилось, когда мы, единственные в Дубне, участвовали в общероссийской акции «Библионочь» – библиотечном аналоге «ночи музеев». Концерт, дискуссия, декламация, экскурсия в хранилище, чаепитие – марафон, который длился с шести вечера до четырех утра, стал, безусловно, одним из самых ярких и необычных событий минувшей весны.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО. Помимо этого, продолжается поиск новых и развитие традиционных подходов к культурно-просветительской деятельности: лекции о путешествиях с показом фотографий («Лекции на дебаркадере»), мастер-классы по разным видам рукоделия, квесты по библиотеке для детей и взрослых, организация фонотеки, диспуты, круглые столы... Мы ищем, придумываем, пробуем, предоставляем площадку для самых разных идей и иногда делаем «открытия». Неслучайно Универсальную библиотеку ОИЯИ имени Д. И. Блохинцева иногда полушутя называют «культурной лабораторией» Института. Во всякой шутке есть доля шутки...

Мария КЛИМОВА

Проект Михаила Турецкого – арт-группа «Сопрано 10» выступит в Дубне 28 марта в ДК «Октябрь».

Сегодня «Сопрано 10» – единственный женский музыкальный коллектив, у которого нет никаких репертуарных ограничений: от «Ромашки спрятались» до «Турецкого марша» Моцарта, от классической «Casta Diva» до бессменных хитов Фредди Меркьюри, от популярности песен «АВВА» до мюзикла «Призрак Оперы», от любимых советских и ретро-шлягеров до мировой поп-музыки.

Однажды Михаил Турецкий, народный артист России и руководитель арт-группы «Хор Турецкого», решил, что готов работать с женщинами. В результате серьезного кастинга, на котором оценивались сценическое мастерство, профессионализм и внешние данные, из более чем 120 девушек выбрали сначала 40. В итоге в проекте остались лучшие из лучших – артистичные, творческие, разносторонне одаренные певицы. Родилось новое Созвездие. Созвездие голосов «Сопрано 10».

Михаил Турецкий: «Сопрано» опережает свое время. Это был серьезный кастинг на артиста, на внутренний мир. Я искал настоящих певиц, заложниц профессии. И я их нашел. Так зажигаются звезды! Мы вместе с моим музыкальным холдингом продолжаем поднимать престиж качественной музыки в России. Боремся за продвижение культуры в массы. Лечим души людей, которым надоела музыкальная бессмысленность и халтура. Высшее музыкальное и актерское образование в лучших вузах страны. Талант, умение быть в тренде и чуткость к

Так зажигаются звезды!



окружающему миру. Владение музыкальными инструментами. И главное – искренность и неравнодушие.

Заставляющее трепетать колоратурное (высоко за облаками), манящее меццо (томно-низкое), рассыпающееся жемчугом драматическое, проникающее в душу фолк, переворачивающее с ног на голову драйв, а еще фанк, рок, джаз, романтик – и все это Сопрано. В превосходной десятой степени. Потому что они могут все. С музыкальным сопровождением и а капелла. С драйвом, печально, радостно, до слез и до улыбок, громко, тихо, вкрадчиво, – всему миру и лично вам. А еще с ними живой бэнд – рыжая барабан-

щица, нереальный пианист и brutальные гитаристы. В профессиональной биографии проекта – гастрольные туры по России и зарубежью, покоренная столица, участие в самых престижных мероприятиях, музыкальных фестивалях и fashion-вечеринках.

Музыкальная дерзость профессионалов позволяет «Сопрано» делать из своих концертов незабываемое блестящее шоу, значимое культурное событие – настоящий праздник. Ведь они вместе с Михаилом Турецким, открывшим жанр «арт-группа» в музыке, продолжают пропагандировать хороший музыкальный вкус, яркость и талант.

Контактный телефон 215-48-20.

ВАС ПРИГЛАШАЮТ

ДОМ КУЛЬТУРЫ «МИР»

9, 16 марта

17.00 Фестиваль «Первые шаги в искусстве».

10 марта, воскресенье

17.00 Абонемент «Золотой фонд мировой музыкальной культуры». **Народный артист СССР Эдуард Грач, камерный оркестр «Московия».** «Времена года» – А. Вивальди, П. Чайковский, А. Пяццолла.

До 15 марта – выставка молодых художников Дубны («Студия-47»).

С 14 по 15 марта – выставка-продажа «Мир камня».

ДОМ УЧЕНЫХ

14 марта в 19.00 – Художественное объединение «Мир искусства», Лектор – старший научный со-

трудник Третьяковской галереи Л. В. Головина.

ЗАЛ АДМИНИСТРАЦИИ

23 марта, суббота

17.00 Вечер романа «Это было у моря...» Дубненский симфонический оркестр, Ирина Крутова – победитель международного конкурса «Романсиада», концертмейстер – лауреат международных конкурсов Оксана Петриченко. **Тел: 212-85-86, 8-915-408-30-07**

БИБЛИОТЕКА ОИЯИ

12 марта, вторник

19.00 Киноклуб: арт-хаус, авторское кино, фильмы-лауреаты престижных премий.

15 марта, пятница

Прочтение: ЖЗЛ (читаем биографии и мемуары).

17 марта Дом ученых организует экскурсию в музей «Дом иконы».

В музее 2500 памятников христианского искусства, представлены выдающиеся экземпляры Палеха, Мстёры, ценные образцы иконописи горнозаводского Урала; коллекция окладных икон эпохи модерн, образцы западноевропейской живописи, фаюмские портреты II–IV веков.

Стоимость экскурсии для членов ДУ 500 рублей, для всех желающих – 700 рублей (включая проезд и входной билет). **Запись состоится 5 марта в 17.30 в Доме ученых.**