

ЭНЕРГИЯ



№№ 16-17
ноябрь
1998 г.

-сентябрь

Л.М.Барков

Как много еще предстоит познать!

«История развития физики элементарных частиц» или Размышления юбиляра — так была обозначена тема одного из недавно состоявшихся институтских семинаров, где «главным действующим лицом» выступал академик Лев Митрофанович Барков, несколькими днями раньше отметивший свое семидесятилетие. Конференц-зал был непривычно полон, в нем царила редкое для научных семинаров взаимопонимание между выступающим и аудиторией.

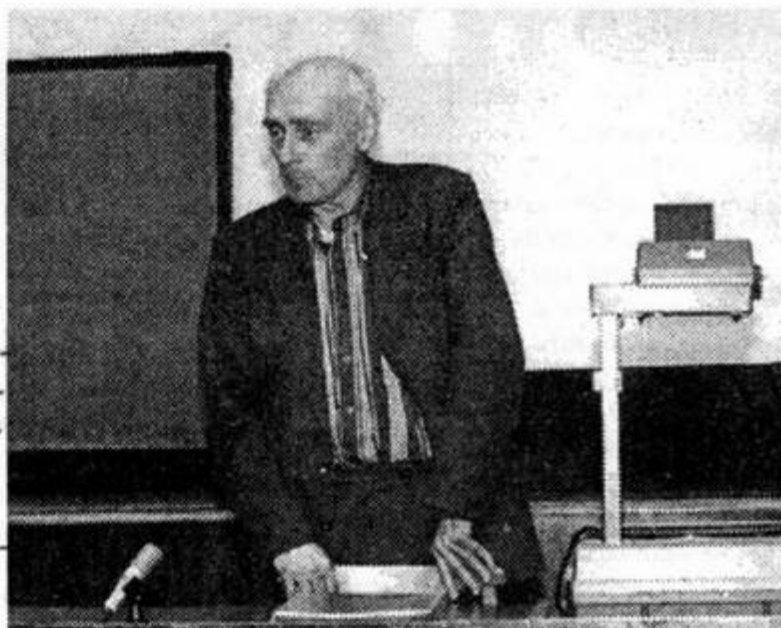


Фото В. Петрова

— Первое взаимодействие, которое относится к физике элементарных частиц — это открытие 300 лет назад Ньютоном закона Всемирного тяготения. Легенда гласит, что эксперимент состоял в простом созерцании падения яблока. Энергия же гравитационного взаимодействия двух протонов на расстоянии порядка размеров самого протона пренебрежимо мала по сравнению с любым другим известным взаимодействием. Поэтому гравитационные силы для всех известных элементарных частиц также можно считать пренебрежимо малыми, но при переходе к частицам теории Великого Объединения в миллиарды миллиардов раз более массивных чем протон, их роль становится решающей. Около 200 лет назад был открыт закон Кулона, согласно которому две одинаково заряженные частицы отталкиваются с силой, обратно пропорциональной квадрату расстояния. Кулон сделал очень хорошие крутильные весы и проверил закон с приличной точностью. Если говорить про элементарные частицы, то величина кулоновского взаимодействия двух протонов составит уже 1 МэВ — это серьезная величина даже по сравнению с ядерными взаимодействиями. Кулонов-

ские силы существенно влияют на соотношение числа протонов и нейтронов в ядрах. Примерно полтора века назад был открыт эффект Фарадея, с помощью которого Баркову и Золотареву удалось позднее измерить несохранение четности в атомных переходах. Фарадей также открыл электромагнитную индукцию, объединил электрические и магнитные силы и высказал предположение, что свет — это электромагнитная волна. Максвелл все это научно изложил в своих уравнениях так, что из них свет как электромагнитная волна уже мог быть легко получен. Затем на границе веков была открыта радиоактивность атомов, Томпсон открыл электрон, а Планк — постоянную, названную его именем, которая потом определила на несколько десятилетий развитие физики. Эйнштейн в 1905 году открыл фотон — переносчик электромагнитного взаимодействия, а также исключительно важную для физики элементарных частиц Специальную Теорию Относительности (СТО). Изучая рассеяние альфа-частиц на золотой фольге, Резерфорд в 1912 году обнаружил, что в атоме есть массивное ядро и тем самым доказал планетарную модель атома. В 1915 году Эйнштейн предложил Общую Теорию

Относительности (ОТО), которая пока не используется в физике элементарных частиц, но в перспективе может стать основным инструментом в теориях типа Великого Объединения. Квантовая механика дала исчерпывающую картину строения атомов, и к моменту моего появления на свет физикам уже не в первый раз, показалось, что все основные законы природы поняты. Но уже когда мне было четыре года, Чедвиком был открыт нейтрон, и сразу стало ясно, что ядра сделаны из нейтронов и протонов. В то же время была выдвинута гипотеза о существовании нейтрино и теория бета-распада Ферми, а также с помощью камеры Вильсона в космических лучах открыт позитрон. Космические лучи в те времена в изучении элементарных частиц играли решающую роль. В 1935 году Юкава предсказал существование кванта поля ядерных сил с массой современного пи-мезона. Из квантового соотношения неопределенности следовало, что только частица такой массы, испускаемая и тут же поглощаемая, может обеспечить существование короткодействующих ядерных сил.

Продолжение на стр. 2

Продолжение. Начало на стр. 1

В 1936 году в космических лучах был открыт мюон с подходящей массой, но он оказался ядерно неактивным. Дальше произошло событие, которое кардинальным образом повлияло на всю дальнейшую судьбу физики элементарных частиц. В 1939 году Ган и Штрасман открыли деление ядер. После того, как было обнаружено, что при делении вылетает несколько нейтронов, возникла мысль о возможности цепной реакции и ядерном взрыве. Однако, началась война, и эти работы на Западе были засекречены. У нас в стране в начале войны заниматься этими вопросами возможности не было. Но тут уместно вспомнить один факт из моей биографии. Летом 1943 года после седьмого класса во время летних каникул я отправился чернорабочим в картографическую экспедицию в Челябинскую область. А недавно, совершенно неожиданно, я обнаружил, что Челябинск-60, один из крупнейших центров по производству ядерного оружия, находится как раз на том самом месте, где мы в середине войны тщательно снимали карту местности. К этому времени Курчатов собрал в лабораторию ЛАН-2 (Лаборатория Академии Наук-2) специалистов по ядерной физике и начал работы по созданию ядерного оружия. В 1947 году я поступил переводом на второй курс вновь организованного физико-технического факультета МГУ (в будущем МФТИ) и сразу попал на практику в Курчатовский институт. Это был сектор Мещерякова, который в это время работал над сооружением Дубненского 460 МэВ-ного протонного ускорителя, долгие годы бывшего лучшей машиной в мире. В секторе Мещерякова в Москве в качестве прототипа использовался маленький циклотрон по размерам примерно как наш ВЭП-1, на нем проверялись радиотехнические новшества будущего ускорителя. Но мы студенты об этом ничего не знали, так как эти работы были совершенно секретные. Однажды мы пришли в лабораторию и увидели, что вдоль стены лежит шестиметровая труба. Окружающие многозначительно смотрели на нас до тех пор, пока мы сами не догадались, что это пробник гигантского ускорителя. Через несколько лет мы работали на нем в Дубне, в институте Мещерякова, в глуши, среди лесов и болот, в обстановке строжайшей секретности. Незадолго до этого в 1947 году группа Пауэрла и Ок-

киалини с помощью фотоэмульсионной методики открыла предсказанные Юкавой кванты поля ядерных сил — пионы. Использованные ими фотопластинки английской фирмы Илфорда широко использовались для регистрации заряженных частиц в секторе Мещерякова и в секторе Гуревича, куда я перешел после переезда Мещерякова в Дубну. В частности, Илфордовские пластинки использовались для измерения спектров нейтронов деления в моей дипломной работе. Помимо Илфордовских фотопластинок, особенно в работах в Дубне, широкое применение

Л.М.Барков

Как много ещё предстоит познать!

нашел разработанный Алперсом метод эмульсионных камер, составляемых из толстослойных слоев ядерной фотоэмульсии, изготавливаемых в секторе Гуревича. Однажды нас познакомили с отчетами Максимова о странных частицах. Как позднее оказалось - это был Бруно Понтекорво (отсюда и Бруно Максимович). Странность странных частиц состояла в том, что, рождаясь с большой легкостью, при распаде эти частицы летели в сотни миллионов раз дольше, чем им полагалось. В отчетах Понтекорво предлагалось проверить гипотезу о рождении странных частиц парами с сохранением странности (рождается странная и антистранная частица, но не рождаются две частицы с одинаковой странностью) на Дубненской машине. Эти эксперименты им были выполнены, и я чуть было не рассказал о них на семинаре в Римском университете в 1955 году (в то время они не были опубликованы в открытой печати). В 1956 году было открыто несохранение пространственной Р-четности, предсказанное Ли и Янгом. Они проанализировали эксперименты с каонами, из чего следовало, что четность может не сохраняться. Ландау свято верил в закон сохранения четности и обещал повеситься, если четность не сохраняется. Как только в опытах с бета-распадом поляризованного кобальта было доказано несохранение четности, стали проверять несохранение четности в других процессах. В секторе Гуревича в ядерных фотоэмульсионных камерах изучались пимю-е-распады. Полученный результат на многие годы определил наиболее

точное знание констант несхраняющего четность слабого взаимодействия. Я прямо не участвовал в этих экспериментах, но импульсные магнитные поля высокой напряженности для них делал. Примерно в это время Ферми, изучая взаимодействие пионов с протонами, обнаружил резонансное поведение сечения. Перед этим ожидалось, что кроме пиона никаких других переносчиков ядерных сил не будет, а все сечения будут плавными. На каоны и лямда-гипероны в этом плане не обращали внимания, так как сохранение странности в сильных взаимодействиях уже было до-

казано. После открытия Ферми резонанса со спином $3/2$ и изотопическим спином $3/2$ (четыре зарядовых состояния) количество открываемых новых резонансов множилось с каждым годом.

Появились пузырьковые камеры. В них идеально были видны приходящие от ускорителей частицы, их взаимодействия, распады вторичных частиц, их угловые распределения, импульсы, плотность ионизации, в общем, все, что угодно. Сразу с началом работ с пузырьковыми камерами мы загорелись идеей соорудить царь-пузырьковую камеру, работающую в импульсном магнитном поле. Пока ее конструировали в КБ и изготавливали в центральной мастерской, мы упражнялись на маленьких макетах и поняли, что заказанное нами нужно выбросить, что и было сделано. Новую конструкцию сначала нарисовали на миллиметровке, а потом отдали в КБ. С ней работали в Дубне на 10 ГэВ-ном царь-ускорителе, чтобы получить Д-мезон, открытый в Дубне. Оказалось, что это не Д-мезон, а один из каонных резонансов. Но все это была хорошая экспериментальная школа. В 1964 году в распадах нейтральных каонов было обнаружено несохранение комбинированной пространственно-зарядовой СР-четности, сохранение которой предсказывал Ландау после скандальной истории с Р-четностью. Предшествующее этому открытию изучение физики нейтральных каонов продемонстрировало целый ряд удивительных явлений, в которых благодаря несохранению странности и Р-четности в слабых взаимодействиях возникают нейтральные каоны с разной СР-четностью. В это время я был секретарем семинара Гуревича и по его просьбе вел переговоры с потенциальными докладчиками. Поскольку большинство отказывалось готовить доклады во время, мне приходилось бежать вечером перед семинаром

Поздравляем!

Ученая степень кандидата физико-математических наук присуждена:

Ачасову Михаилу Николаевичу, лаб.3-0,

Кузьмину Александру Степановичу, лаб.3-11,

Ли Роману Николаевичу, ТО,

Шайсултанову Рашиду Жумажановичу, ТО

в библиотеку, читать статью один раз, брать ее до утра домой и уже в 10 часов рассказывать ее на семинаре. Это была отличная тренировка. 1965 год — встречные пучки — совершенно потрясающий прорыв! А перед этим теория унитарной симметрии и ее превращение в кварково-партоновую модель строения сильно взаимодействующих частиц. Модель кварков висела на волоске от гибели, когда встал вопрос о том, существует ли в природе омега-минус гиперон, который согласно модели кварков должен состоять из трех странных кварков, находящихся в одном состоянии, что невозможно для частиц с полуцелым спином. Когда экспериментально обнаружили омега-минус гиперон со странностью три и кварковая модель укрепила свои позиции, вспомнили, что три одинаковые частицы с полуцелым спином не могут находиться в одном состоянии. Выход из положения был найден: эти кварки должны быть разных цветов. Так была построена современная Квантовая Хромо-Динамика (КХД). Сначала мало кто в нее верил, но со временем теория подтвердилась. Так, на встречных электрон-позитронных пучках без цвета не объяснить отношение выхода адронов к числу мюонных пар. В 1969 году Вайнберг и Салам предложили теорию, единым образом описывающую не только электрические, магнитные и световые явления, но и слабые взаимодействия. Согласно их теории помимо безмассового фотона существуют массивные кванты векторного поля, ответственные за слабые взаимодействия. Два заряженных тяжелых мезона объясняют все наблюдавшиеся ранее слабые распады частиц, такие как бета-распад и распады пионов, каонов, гиперонов. Модель предсказывала также существование не наблюдавшихся ранее взаимодействий, таких как упругое и квазиупругое рассеяние нейтрино и появление винтовых структур в обычных атомах. Эти процессы во взаимодействиях

нейтрино увидели в ЦЕРНе и США только в 1973 году, и остро встал вопрос о несохранении четности в атомных переходах из-за предсказанного моделью несохраняющего четность слабого взаимодействия между электроном и нуклонами ядра. Теоретик Хриплович и экспериментаторы Барков и Золоторев решили проверить, будут ли пары висмута вращать плоскость поляризации. Расчеты показали, что если атом имеет такую винтовую структуру, как предсказывает модель Вайнберга-Салама, то плоскость поляризации света повернется на одну десятимиллионную долю радиана, если работать на линии перехода, где эффект наибольший. Так как методикой измерения поворота плоскости поляризации мы занимались при работе с мегагауссными полями, нам казалось, что задача нам по силам. Когда была детально разработана постановка эксперимента, мы стали просить лазер. С опозданием в два года искомым дешевый перестраиваемый лазер на красителях получили, включили и поняли, что надежды на выделение узкой линии, необходимой для проведения эксперимента, не оправдали себя. Пришлось много поработать, изобрести новую систему монохроматизации и сканирования частоты лазера, прежде чем удалось количественно измерить эффект. Наши американские и английские конкуренты к этому времени уже точно показали, что эффект равен нулю и модель Вайнберга-Салама неверна. А у нас эффект был не нулевой. До последнего момента мы не

калибровали величину и знак эффекта, чтобы не было подсознательного стремления приблизиться к теоретическим предсказаниям. После экспериментальных калибровок в начале 1978 года мы объявили на сессии Отделения ядерной физики АН СССР о том, что эффект имеет противоположный знак по отношению к теории Вайнберга-Салама. Тут же прислали теорию, предсказывающую объявленный результат. К счастью, быстро выяснилось, что в теоретической кривой для фарадеевского эффекта, по которой проводилась калибровка, был спутан знак. Мы оповестили научную общественность об этом и опубликовали результат эксперимента, подтверждающего модель Вайнберга-Салама. Позднее в СЛАКе в экспериментах по неупругому рассеянию электронов на ядрах на двухмиллионном линейном ускорителе был подтвержден именно наш результат. В свое время Будкер обсуждал с иностранцами, можно ли ожидать новых открытий на строящемся ВЭПП-3 и во Фраскати? Скептиков было много и Будкер говорил, что скорее всего удастся только поглубже проверить квантовую электродинамику. Но время показало, что в этой области энергий есть много новой и интересной физики. Сейчас найдено шесть кварков, последний, предсказанный стандартной моделью, почти в двести раз тяжелее протона. Самое время подумать, что делать дальше. Нарастивать энергию ускорителей при теперешнем состоянии экономики страны нереально. Может быть удастся усовершенствовать ускорители уже в освоенном диапазоне энергий, еще более реально проведение прецизионных эксперимен-

Окончание на стр. 7

С. Фадеев

Получение ультрадисперсных материалов с помощью ускорителей электронов

Производимые нашим институтом промышленные ускорители электронов типа ЭЛВ широко используются во многих отраслях промышленности в нашей стране и за её пределами. В последние годы институт выполнял, в основном, зарубежные контракты на такие ускорители. В настоящее время и этот рынок оказался насыщен. В нынешних условиях наиболее эффективный для нас путь — предложить покупателю высокорентабельные технологии с использованием ускорителей в новых областях техники. Интенсивный поиск таких технологий ведется в лаборатории 12 (зав. лаб. Р.А. Салимов). Одним из перспективных применений в будущем может оказаться производство с помощью мощного концентрированного пучка электронов ультрадисперсных порошков (УДП), состоящих из частиц с размерами намного меньше микрона. В настоящее время интерес к использованию таких порошков возрастает во всём мире. Только применение УДП позволяет обеспечить значительный рост качества в следующих направлениях и областях техники: получение многокомпонентной керамики, катализаторов, пигментов, присадок к смазочным маслам, магнитных жидкостей и магнитных носителей записи информации (в том числе кредитных карточек), абразивных порошков, носителей лекарственных форм и т.д. Сдерживающим фактором для широкого использования таких порошков являются традиционные способы их получения.

Современные промышленные ускорители электронов мощностью в десятки и сотни киловатт перспективны для ис-

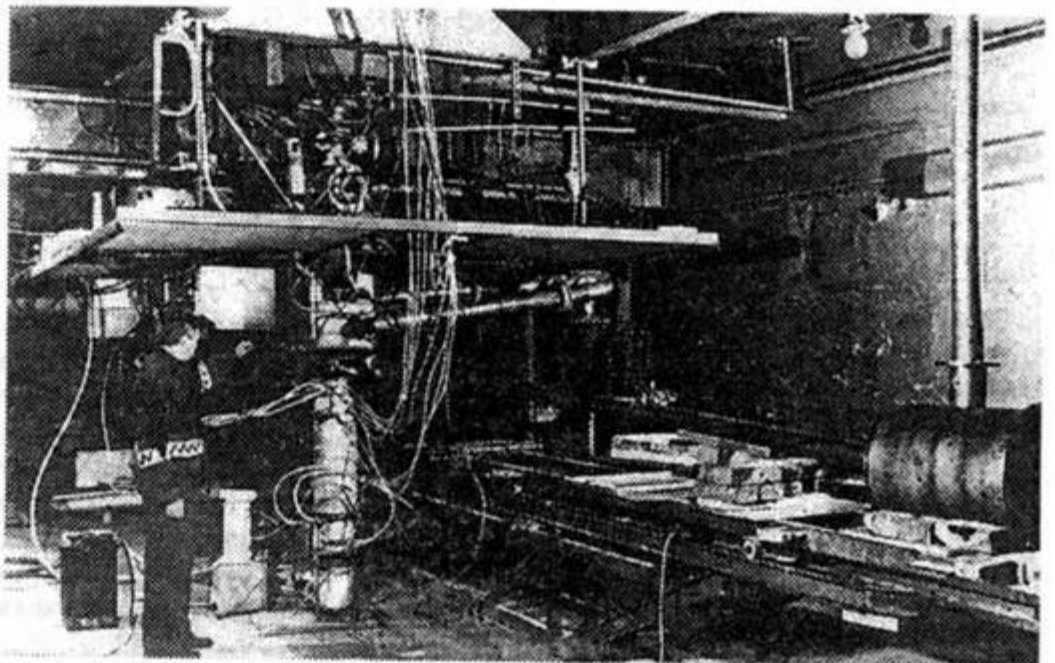
пользования в процессах с высоким энергопотреблением, в частности, как источник энергии в высокотемпературных процессах, где способны заменить собой традиционное термическое и другое оборудование. В этом случае отчётливо проявляются такие преимущества ускорителей как:

- химическая стерильность пучка ускоренных электронов,
- объёмный, а не поверхностный нагрев вещества,
- возможность легко реализовать любой режим нагревания и достаточно оперативно менять температуру процесса;
- высокий КПД трансформации энергии.

Сотрудниками лаборатории 12 нашего института совместно с коллегами из Института химии твердого тела, а также Института теоретической и прикладной механики предложен и реализован высокопроизводительный способ получения ультрадисперсных оксидов металлов и оксида кремния путем их

испарения из расплава. Необходимая для испарения высокая плотность мощности обеспечивается использованием в качестве теплового источника ускорителя ЭЛВ-б с выпуском в атмосферу концентрированного пучка электронов. Максимальную плотность мощности на поверхности испаряемого материала можно довести до 100 кВт/см^2 , но, как правило, наиболее технологичной и производительной является величина порядка $1-10 \text{ кВт/см}^2$. Такие значения плотности мощности позволяют довести до кипения любые известные на сегодняшний день вещества.

Для получения порошков была собрана установка, на которой произведено испарение и улавливание оксидов алюминия, кремния, магния и циркония с целью изучения как самого процесса образования ультрадисперсных порошков, оценки тепловложений и производительности процесса, так и наработки УДП в количествах, достаточных для исследования свойств образующихся порошков. Часть порошков была передана представителям российских и зарубежных фирм и орга-



низаций с целью проведения промышленных испытаний. Анализы порошков показали, что все образовавшиеся частицы имеют размер меньше 200 нм (1 микрон = 1000 нм), а 90% частиц — даже значительно меньше 100 нм. Это очень хороший результат.

На основании экспериментальных результатов были сделаны оценки по энергозатратам на получение различных материалов. По сравнению с традиционными и другими перспективными способами получения (например с помощью лазеров или плазмотронов) получение таких порошков при помощи промышленных ускорителей представляется более перспективным. Тем более что порошки, полученные, например, с помощью плазмотронов, состоят из частиц, очень сильно отличающихся по размерам и содержат крупные агломераты микронного размера.

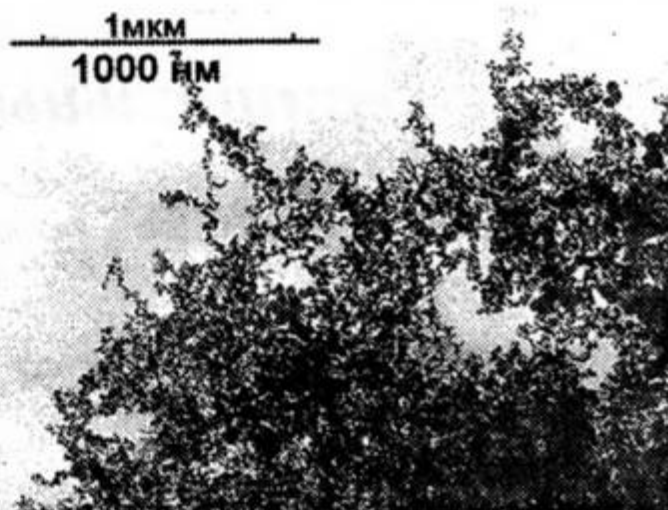
Уже сегодня на установке можно организовать производство (в том числе и для собственных нужд) малотоннажных партий различных оксидных порошков. Мировая цена таких порошков составляет 2-15 долларов за килограмм (в зависимости от материала и его качества). Стоит отметить, что установка с ускорителем ЭЛВ-6 в состоянии производить 2 - 12 кг/час различных порошков.

А можно ли получать с помощью ускорителей ещё более мелкие частицы? Оказывается, можно. Но для этого нужно отказаться от испарения вещества при очень высоких температурах (3000-4000 градусов), так как в таких условиях совсем мелкие частицы размером в несколько нанометров очень быстро соединяются между собой в более крупные частицы и их уже невозможно разъединить. Поэтому были найдены вещества, состоящие из металла и органической компоненты. Эти вещества, на-

зываемые металлорганическими, разлагаются пучком электронов в воздухе при относительно низких температурах (меньше тысячи градусов) на оксид металла, воду и углекислый газ.

Для осуществления такого процесса была создана другая установка, в которой в качестве источника нагрева также использовался концентрированный пучок ускорителя ЭЛВ. Она интересна тем, что установленный под выпускным устройством ускорителя реактор, в котором происходит окисление паров металлорганических соединений, погружен в продольное магнитное поле, создаваемое соленоидом. Это уменьшает рассеяние выведенного в атмосферу электронного пучка и увеличивает время взаимодействия электронов пучка с паровоздушной смесью образующийся в результате взаимодействия ускоренных электронов с кислородом воздуха озон увеличивает окислительную способность воздуха и повышает производительность установки. Улавливание полученного ультрадисперсного порошка также производится сконструированным сотрудниками лаборатории электрофильтром.

Изменением концентрации паров в паровоздушной смеси удавалось значительно изменять дисперсионный состав получаемых УДП порошков. Так, наиболее крупные для такого технологического процесса порошки размером 10-50 нм получались при максимальной производительности процесса. Если требовалось получать частицы с основным размером до 10 нм, сильно уменьшалась концентрация паров на входе в реактор. На микрофотографии показан порошок оксида алюминия, полученного таким способом. Для срав-



нения рядом указан размер 1 микрон.

Себестоимость произведенных таким способом УДП порошков оксидов алюминия, титана и циркония, конечно, значительно выше, чем при испарении из расплава. Однако, не более, чем вдвое превышает мировые цены традиционных порошков, что вполне приемлемо для малотоннажных производств некоторых керамик, катализаторов и т.п., где стоимость сырья невелика по сравнению со стоимостью конечного продукта, а повышение качества изделий окупает повышенную стоимость порошков.

Нужно также отметить, что ультрадисперсные порошки, получаемые по электронно-лучевым технологиям, к тому же проявляют более высокую активность при спекании керамик по сравнению с порошками, полученными другими способами, а температуры начала спекания отличаются в меньшую сторону более чем на 150 градусов. Размер зерна керамики, полученной из образующихся УДП - субмикронного уровня, что не имеет аналогов в мировой практике в промышленном производстве.

Широкое внедрение этих технологий сдерживается, главным образом, неосведомленностью потенциальных потребителей и относительно высокими капитальными затратами на создание установок с использованием промышленных ускорителей электронов.

Терминальный класс работает

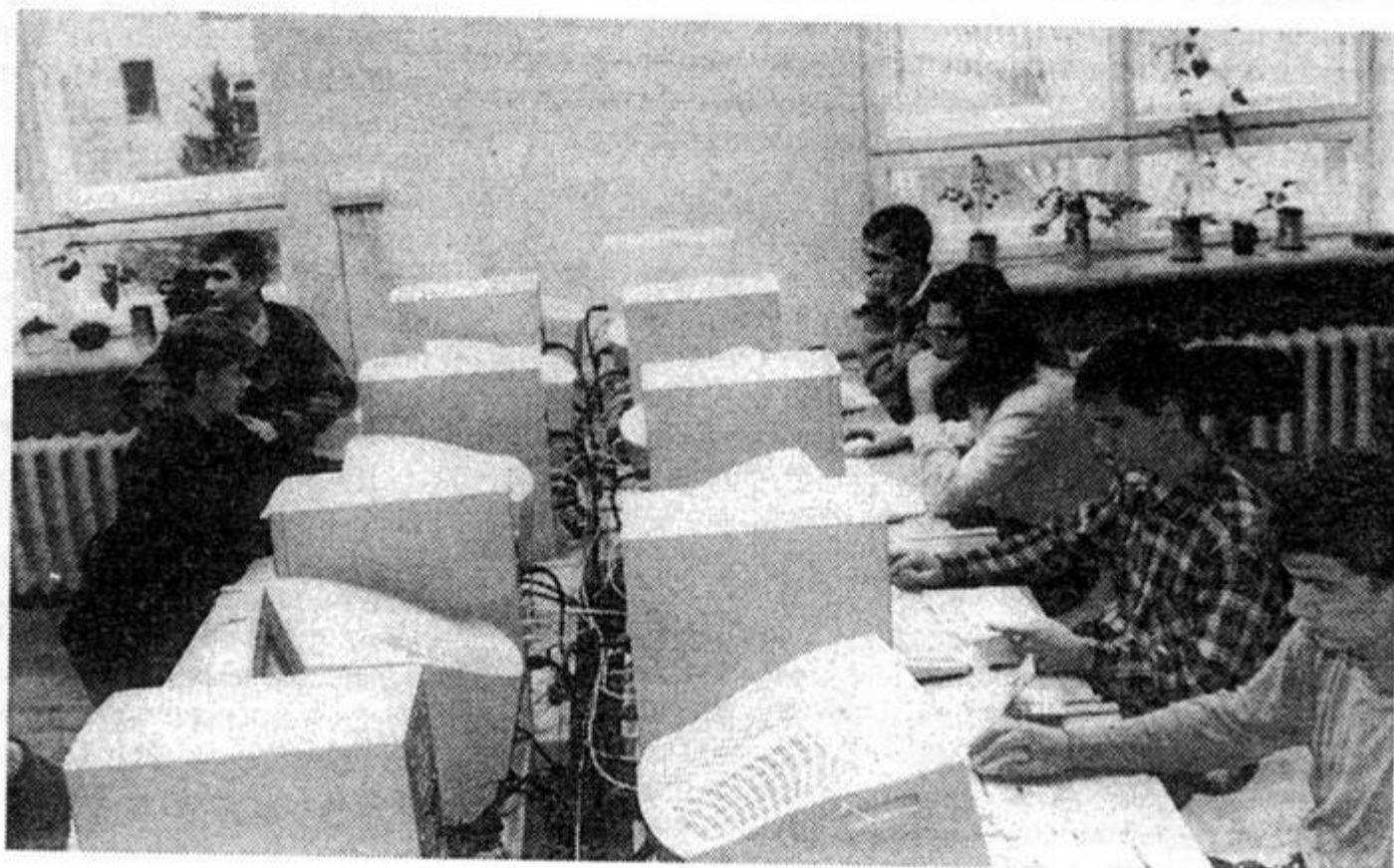
— Существует программа, которая называется «Интеграция», предполагающая финансирование со стороны Российского правительства комплексных объединений «ВУЗ НИИ». По первому этапу этой программы осуществлялось финансирование, что удивительно в наше время. Часть средств получил НГУ, другая часть распределена по институтам СО РАН, где работают кафедры НГУ. ИЯФ получил по этой программе около 200 тысяч рублей. Сумма довольно значительная по недавним еще временам. Нужно было проявить мудрость, чтобы правильно потратить эти деньги. Заведующие кафедр, собравшись вместе, приняли решение потратить всю сумму на приобретение специального оборудования для компьютерного терминального класса. Класс был смонтирован в начале 1998 года, а в сентябре занятия начались в новом помещении (к.508). Класс загружен, в основном, занятиями по расписанию различных кафедр — око-

1 сентября начались занятия в новом терминальном классе, созданном на базе нашего института. О том, что способствовало этому событию, и какие возможности для студентов, аспирантов и сотрудников ИЯФа оно открывает, наш корреспондент попросил рассказать профессора, доктора технических наук, заведующего кафедрой физико-технической информатики Владимира Ивановича Нифонтова.

ты. Все желающие студенты и магистранты могут прийти сюда заниматься, согласовав предварительно свой визит с расписанием занятий.

Есть планы проводить в этом классе курсы для сотрудников различных служб института — своего рода компьютерный ликбез. Уже проведено два таких

курса длительностью 16 часов, где работе на компьютере обучались сотрудники отдела капитального строительства и отдела кадров. У нас есть довольно хорошие методические материалы по офисным курсам. Их можно размножить. Руководители различных подразделений могут воспользоваться этой возможностью. На базе этого же класса магистрантами кафедры выполняются работы по использованию компьютерного кластера для сверхбыстрых вычислений. На сегодняшний день в мире подобные программы активно развиваются. Суть проблемы в следующем: если есть какая-то суперзадача, то для ее решения необязательно покупать суперкомпьютер (он очень дорогой, для него нужно держать обслуживающий персонал, программистов). Поступают так: собирают в единый кластер под ОС LINUX, используя традиционный ETHERNET, большое число персональных компьютеров (в американских университетах собирают кластеры до 1000 компьютеров).





Если использовать специально разработанный диспетчер заданий (это бесплатный продукт, распространяемый по международной программе BEOWULF), то вычислительная производительность кластера растет пропорционально количеству включенных компьютеров. Этим компьютерам не нужны мониторы и дополнительные прилады — стоимость одного узла 600-700 долларов. Магистранты на базе кафедры физико-технической информатики в терминальном классе сейчас осваивают эту технологию. Компьютеров в классе сейчас всего десять. Если увеличить их количество хотя бы до 30, то производительность такого кластера будет около 10 Гигафлопс. Это будет самый производительный в Академгородке суперкомпьютер. А стоит он будет около 20 тысяч долларов. Такой супермашине нужна еще и суперзадача. Но учитывая, что физики всегда жадны на вычислительные мощности, есть резон подумать. Кроме того, и это немаловажно, кафедра должна

учить современной идеологии на современной аппаратуре.

К сожалению, второй этап гранта пришелся на то несчастное время, когда нашу страну охватил очередной кризис, и рухнул рубль, а выделили нам средства именно в рублях. Понятно, что это существенно ограничит наши возможности на втором этапе. Хотел бы отметить, что со стороны дирекции и ученого совета отношение к этим работам позитивное, и благодаря этому мы многое сумели сделать. Несмотря на все сложности, которые были в этот период в институте, в

вопросах ремонта и оборудования класса было полное понимание. Мы заказали хорошую мебель из естественного дерева, приобрели хорошие стулья, провели ремонт в комнатах, заменили электропроводку. И занятия в сентябре мы сумели начать вовремя. Кафедра вполне сможет освоить еще один класс. Можно провести учебные циклы по изучению профессиональных систем автоматизированного проектирования: радиотехнических, конструкторских, технологических и т.д. Планы наши направлены на улучшение компьютерной грамотности сотрудников института. Например, мы могли бы собрать физиков и провести курс по изучению языка СИ. Сейчас появляется много современных информационных технологий, возможности которых известны далеко не всем.

Словом, открытие терминального класса — это событие в жизни института, и значимость его нам всем еще предстоит ощутить.

Фото В. Крюкова

Л.М. Барков

Как много еще предстоит познать!

Окончание. Начало на стр. 1

тов на имеющихся установках. Примером могут служить работы по измерению аномального магнитного момента мюона, которые ведутся в нашем институте, или эксперименты по измерению массы электронного нейтрино. Последние эксперименты, проведенные Лобашевым, показали, что спектр электронов в бета-распаде трития ведет себя так, как если бы квадрат массы нейтрино был отрицательным. Единственно разумное объяснение состояло в предположении, что имеет место поглощение нейтрино из моря реликтовых нейтрино, которое нас окружает. Эксперимент продемонстрировал возможность измерять реликтовые нейтрино, оставшиеся в наследство от взрыва Вселенной. В последнее время появились сообщения, что наблюдались осцилляции нейтрино, то есть переход одного сорта нейтрино в другой. Осцилляциями нейтрино можно объяснить, почему измеренный поток нейтрино от Солнца меньше ожидаемого по расчету. Правда, могут быть и другие объяснения. Например, что внутри Солнца периодически меняется интенсивность термоядерных реакций, но мы видим только усредненное по времени излучение солнечной энергии. Это усреднение идет по продолжительному периоду времени, поскольку энергия от термоядерного синтеза из внутренних слоев Солнца доходит до его поверхности примерно за 10 миллионов лет. Физика за последние десятилетия совершила грандиозный прорыв в понимании строения совершенно нового мира элементарных частиц, который оказался удивительно богатым, сложным и интересным. Его познание продолжается и позволит в ближайшее время раскрыть до сих пор не понятые тайны мира, в котором мы живем, объяснить почему мир такой, какой он есть, и решить проблемы рождения и эволюции звезд, галактик, да и самой Вселенной. Как много было понято за прошедший век! А как много еще предстоит познать?

Извлечения

из территориальной программы государственных гарантий по обеспечению граждан Новосибирской области бесплатной медицинской помощью на 1998 год, утвержденной постановлением Главы Администрации Новосибирской области от 12.05.98 N303

Раздел 5

Условия оказания медицинской и лекарственной помощи

Продолжение.
Начало в №14-15 «Э-И»

1. Условия медицинской помощи в амбулаторно-поликлинических учреждениях

1.1 Гарантируется возможность выбора пациентом субъекта первичной медико-санитарной помощи в рамках договоров обязательного медицинского страхования и договоров на предоставление лечебно-профилактической помощи.

1.2 Объем диагностических и лечебных мероприятий для конкретного пациента определяется лечащим врачом.

1.3 При наличии очередности плановым больным гарантируется в течение 3 часов возможность приема врачом, проведение диагностических исследований и лечебных мероприятий.

1.4 Время, отведенное на прием больного в поликлинике, определяется расчетными нормативами, утвержденными Министерством здравоохранения РФ.

1.5 Направление пациента на госпитализацию в плановом порядке осуществляется лечащим врачом в соответствии с клиническими показаниями, требующими госпитального режима, активной терапии и круглосуточного наблюдения.

2. Условия медицинской помощи в больничных учреждениях

2.1 При наличии очередности гарантируется возможность плановой госпитализации в срок до 6 месяцев.

2.2 Больные размещаются в палатах, рассчитанных на 4 и более мест.

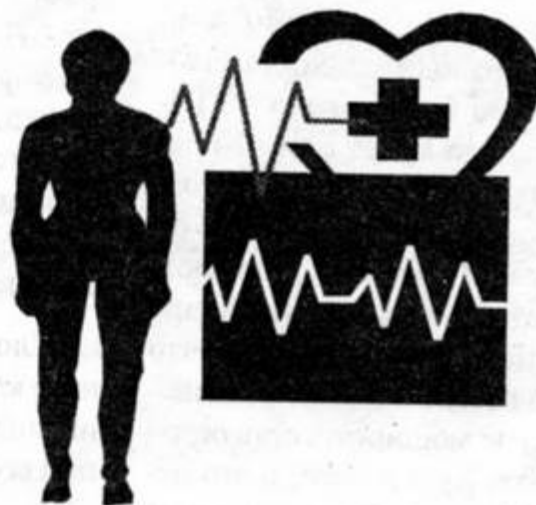
2.3 Больные, роженицы и родильницы обеспечиваются бесплатным лечебным питанием в соответствии с физиологическими нормами, утвержденными Министерством здравоохранения РФ.

2.4 Предоставляется возможность одному из родителей или иному члену семьи (по усмотрению родите-

лей) находиться вместе с больным ребенком. Предусматривается обеспечение питанием и койкой этого лица, ухаживающего за ребенком до 1 года, а также за ребенком старше 1 года при наличии медицинских показаний для ухода.

3. Условия оказания лекарственной помощи

Объем и условия лекарственной помощи определяются Областным формуляром лекарственных средств и изделий медицинского назначения, рекомендуемых для применения в стационарах лечебно-профилактических учреждений Новосибирской области и Перечнем лекарственных средств и изделий медицинского назначения, рекомендуемых для прописывания и отпуска по бесплатным и льготным рецептам. Лекарственная помощь гражданам, проходящим лечение в стационарных условиях, обеспечивается бесплатно в соответствии с медико-экономическими стандартами за счет средств бюджета или обязательного медицинского страхования в зависимости от вида оказываемой помощи. Лекарственная помощь в амбулаторно-поликлинических условиях обеспечивается за счет личных средств граждан. Бесплатное и льготное обеспечение лекарственными средствами отдельным контингентам населения при лечении в амбулаторных условиях определяется действующим законодательством и обеспечивается за счет средств местных бюджетов городов и районов области.



E, \vec{p} — SCIENCE

Согласно современному знанию физики элементарных частиц, вселенная состоит из шести кварков, шести лептонов, называемых фермионами, и бозонов, которые служат связующим звеном при взаимодействии первых частиц. Протоны и нейтроны, входящие в состав обычных ядер, обладают массой около 1 ГэВ (10^{-24} г). Самым тяжелым фермионом, зарегистрированным к настоящему времени, является «легкий кварк». Масса этой частицы в 250 раз больше массы протонов (260 ГэВ). Массы других фермионов составляют от приблизительно 1/1000 до нескольких масс протона. С другой стороны, наилегчайшими известными фермионами являются нейтрино с массой, составляющей менее 100-миллионной массы протона (менее 10 эВ).

Почему фермионов так много?

Обычная материя (наше тело, звезды, галактики и т.д.) состоит из ядра, в состав которого входят протоны, нейтроны, и электроны. Иногда ядро преобразуется в другое с испусканием нейтрино электронного типа. Основными составляющими вселенной в настоящее время являются 4 типа фермионов, т.е. два типа кварков, которые составляют протон и нейтрон, электрон и нейтрино электронного типа. Другие фермионы могут существовать только при высоких энергиях,

Койчиро Нишикава

Эксперимент в КЕК по осцилляции нейтрино

наблюдаемых, например, в ускорительных экспериментах. Выходит, что другие фермионы по сути являются копиями четырех перечисленных типов фермионов. Однако их массы различны! Данная проблема известна как «проблема поколений». Мы просто не имеем никаких идей о том, почему так много фермионов с различными массами существует в природе.

Почему фермионы имеют такие значения масс?

Этот вопрос является одним из самых фундаментальных в физике элементарных частиц. Можно предположить с достаточной степенью уверенности, что исследования массы нейтрино приведут к таким представлениям, которые лежат за пределами современного понимания физики элементарных частиц. Если масса нейтрино строго равняется нулю, то это заслуживает нового, в настоящее время неизвестного принципа, «требующего», чтобы масса нейтрино была именно нулевой. (Масса фотона равняется нулю из-за сохранения электронного заряда.) Однако не существует неопровержимых причин, вследствие которых нейтрино должны быть не-

весомыми. Напротив, большинство теорий Великого Объединения (класс теорий, делающих попытку расширить границы современных знаний в области физики элементарных частиц), предсказывает наличие у нейтрино

массы, хотя и маленькой, которая «проявится» при гораздо более высоких значениях энергии, чем те, которые достижимы в настоящее время.

Каким образом можно вести поиск таких маленьких значений масс?

Как нейтрино осциллируют во времени?

Согласно квантовой теории физическая система (или частица) описывается разнообразными параметрами, называемыми квантовыми числами. Если частица задается одним квантовым числом, то она характеризуется также суперпозицией состояний с другими квантовыми числами. Очевидным является тот факт, что масса является одним из квантовых чисел. Нейтрино также обладают и другими характеристиками; одна из важнейших из них — тип. Известны три типа нейтрино: электронное, мюонное и тау-нейтрино. От типа нейтрино зависит, какой именно тип лептона родится в результате взаимодействия нейтрино с материей. Если нейтрино «родилось», например, от мюона, то оно имеет мюонный тип и, в

свою очередь, «родит» мюон при взаимодействии с материей. В целом, поток нейтрино может являться суперпозицией различных типов, каждый из которых движется в пространстве-времени по-разному, в результате чего образуются смеси, отличные от первоначальной. Данный процесс называется процессом осцилляции нейтрино. Чем меньше разница масс у разных типов нейтрино, тем медленнее осцилляции. Если перемещение происходит на длинные расстояния, становится возможным эти осцилляции измерить. Исследования осцилляции нейтрино считаются возможным средством для нахождения разности масс нейтрино, лежащей значительно ниже значения 1 эВ.

Область масс какого типа следует искать?

Хотя конкретных теоретических разработок, касающихся массы нейтрино, нет, но несколько факторов указывают на то, что его масса конечна. Одним из них является существование во вселенной темной материи. Этот вид материи не должен сильно взаимодействовать. В противном случае его можно было бы увидеть в ходе астрономических наблюдений. Нейтрино с конечной массой может являться хорошим кандидатом на роль подобного объекта. Если темная материя является следствием массивных нейтрино, то самое тяжелое нейтрино должно обладать массой, превышающей несколько эВ. В эксперименте на 800 МэВ-ном протонном линаке (LSND: жидкостно-сцинтилляционный детектор нейтрино, Лос-Аламос) изучались 30 МэВ-ные нейтрино на базе 30 м и была получена достаточно большая (несколько эВ) разница масс между ν_μ и ν_e . Другие указания на существование осцилляций нейтрино найдены в экспериментах с космическими лучами. Результаты, полученные на Kamiokande и Super-Kamiokande, касающиеся распространения нейтрино в атмосфере, обеспечили достаточно веские доказательства того, что нейтрино осциллирует в процессе своего распространения

от момента «рождения» в атмосфере до момента его регистрации на поверхностном уровне. Атмосферно-нейтринные результаты ясно показывают, что поток ν_μ уменьшается относительно потока ν_e . Длина осцилляций в атмосфере составляет от 10 км до 10000 км при энергии нейтрино, составляющей приблизительно 1 ГэВ. Эта область параметров может быть исследована с помощью высокоинтенсивного пучка нейтрино из протонного ускорителя с использованием массивных детекторов.

Дефицит солнечных нейтрино представляет собой другое возможное проявление осцилляций нейтрино. Результаты указывают на то, что значительная доля ν_e от солнца теряется, либо преобразуется в другой тип нейтрино, который взаимодействует с меньшим поперечным сечением, либо его взаимодействия в детекторе не происходят вообще. Указанных три экспериментальных результата дают следующие отчетливые различия масс:

1. LSND (ν_μ и ν_e): несколько эВ,
2. Атмосферное нейтрино (ν_μ и ν_e): около 0.01 эВ,
3. Солнечное нейтрино (ν_μ и ν_e): около 0.00001 эВ.

Коль скоро известно, что существует три типа нейтрино, следовательно, должно быть две разницы масс. Это означает либо то, что по крайней мере в одном из экспериментов получен ошибочный результат, либо то, что существует новый вид нейтрино. Мы полагаем, что чрезвычайно важным в настоящее время является дальнейшее исследование явления осцилляций нейтрино, используя для этого хо-

рошо определенные пучки нейтрино, рожденные в ускорительных экспериментах.

Преимущества эксперимента

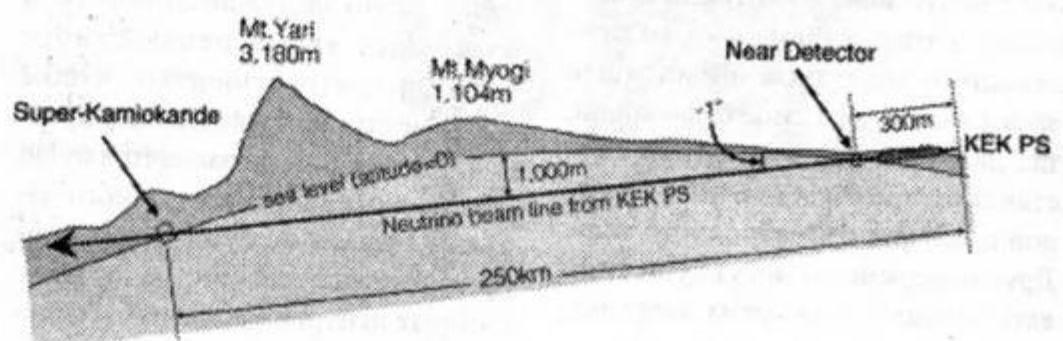
Ниже приводится обобщенный список преимуществ проведения эксперимента по осцилляции нейтрино с длинной базой при объединении KEK-PS и Super-Kamiokande.

(i) Для проведения эксперимента используется самый массивный детектор нейтрино, существующий в мире, — Super-Kamiokande. Фоном, создаваемым космическим излучением и представляющим одну из трудностей при проведении экспериментов с низкой скоростью счёта, можно пренебречь благодаря тому, что детектор располагается под землёй, что, в свою очередь, делает легкой синхронизацию.

(ii) Энергия пучка нейтрино от KEK-PS хорошо подходит для техники водяных детекторов Черенкова. Так как энергия пучка нейтрино обычно составляет 1-2 ГэВ, то большинство реакций является квазиупругими, либо с рождением единственного пиона. Тогда с ними легко можно справиться с помощью водяного детектора Черенкова.

(iii) Электрон, являющийся сигналом для $\nu_\mu - \nu_e$ осцилляций, можно легко распознать в области низких энергий из-за маленькой энергии π^0 (нейтрального пиона) и низкой множественности событий.

(iv) Пучок нейтрино является однородным на протяжении широкой угловой области как по форме спектра, так и по потоку. При низких энергиях над этими распределениями доминирует кинетика распада пионов. В этом же случае начинает иметь смысл сравнение ближних и



дальних детекторов, даже несмотря на то, что они покрывают слегка различные угловые области.

(v) Вероятность P того, что нейтрино одного типа вызовут колебания другого типа, вычисляется по формуле

$$P = \sin^2 2\theta \cdot \sin^2 [1.27 \cdot L \text{ (км)} \cdot \Delta m^2 \text{ (эВ/c}^2)^2 / E \text{ (ГэВ)}],$$

где L - расстояние между источником нейтрино и детектором, E - энергия нейтрино, Δm^2 — разница квадрата массы исследуемых типов нейтрино. Для заданного угла смешивания θ осцилляция принимает максимальное значение при

$1.27 \cdot L \text{ (км)} \cdot \Delta m^2 \text{ (эВ / c}^2)^2 / E \text{ (ГэВ)} = \pi / 2$. Таким образом, чтобы исследовать небольшую область Δm^2 , нужно, чтобы L/E было большим, т.е. базисная линия была длинной. Для меньших расстояний эту же самую область Δm^2 можно исследовать при более низких значениях энергии нейтрино.

В эксперименте используется два водяных детектора Черенкова и мелкозернистый детектор.

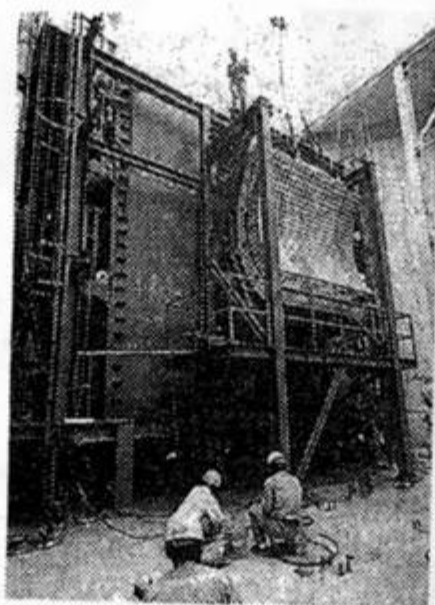
Расстояние между Довером и Парижем составляет приблизительно 250 км, между Лондоном и Парижем — около 330 км, между Калькуттой и Даккой — 250 км. Из-за сферической формы Земли линия пучка нейтрино на -1 градус должна быть направлена вниз для того, чтобы достичь детектора Каміока.

Килотонный водный детектор Черенкова

(Ближний детектор 1):

Общая масса детектора составляет 1000 тонн; чувствительный объем при этом составляет 40 тонн.

Расстояние до мишени, генерирующей нейтрино, составляет 300 м. В задачу данного детектора входит измерение взаимодействия нейтрино сразу же после их рождения на основе тех же методов, что и в детекторе Super-Kamiokande.



Процесс установки ближнего детектора

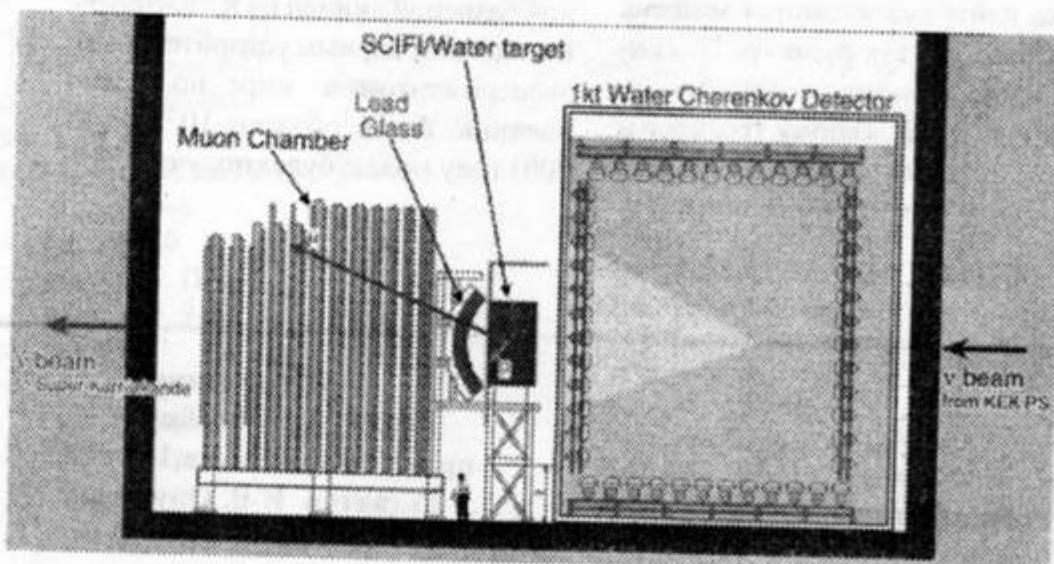
Мелкозернистый детектор (Ближний детектор 2)

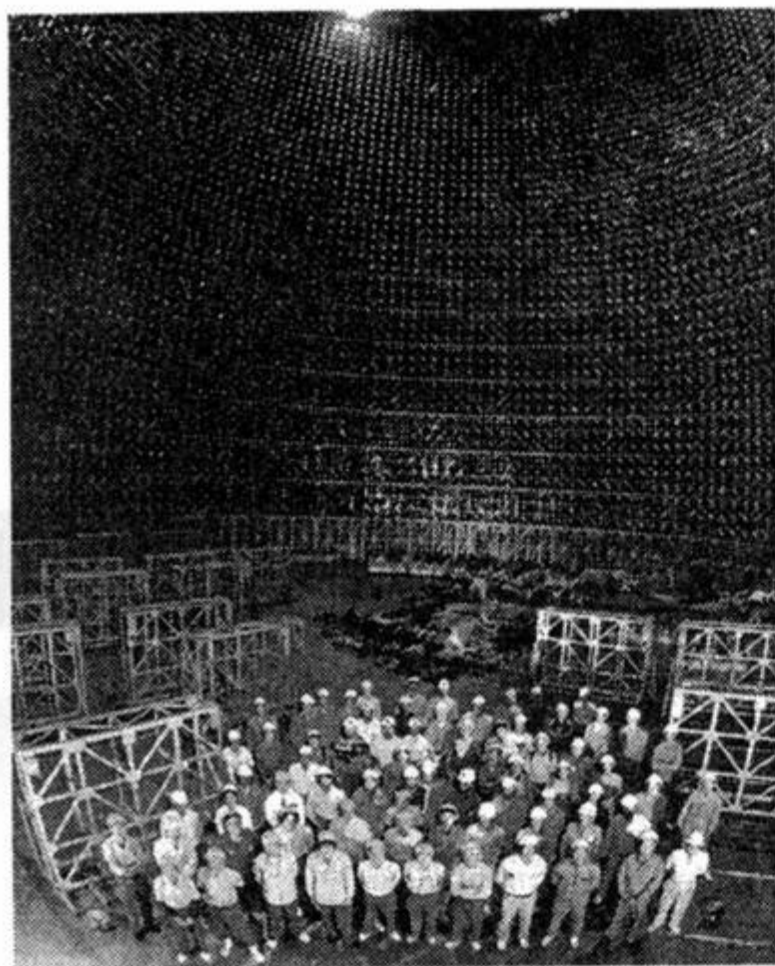
Сразу за килотонным водяным детектором Черенкова размещается 4-тонный чувствительный детектор. Он состоит из водяных трубок со сцинтилляционными волоконными пластинами, используемыми для слежения за заряженными частицами, сцинтилляторов для проведения временных измерений, блоков осциллографического стекла для измерений энергии электронов и железа с дрейфовыми камерами для измерения энергии мюонов. Данный детектор предназначен главным образом для измерения потока, спектра и состава ν_μ и ν_e в нейтринном пучке. С помощью этого детектора также можно измерять мюонный импульс до примерно 3 ГэВ/с разрешение ближнего детектора гораздо лучше чем то, которое возможно на килотонном детекторе.

Детектор Super-Kamiokande, Дальний Детектор

Чувствительный объем детектора составляет 22000 т, расстояние от источника — 250 км. Этот детектор является главным для наблюдения за осцилляцией нейтрино в области небольших значений Δm^2 . Расположение детекторов было измерено с помощью Глобальной Навигационной Спутниковой Системы (GPS) с точностью порядка 1 метра. Поэтому не представляется сложным выставить всю детекторную систему в целом с угловой точностью лучше 1 мрад.

На установке КЕК-PS получают интенсивный пучок ν_μ с очень маленькой примесью ν_e , составляющей меньше 1%. Распределение энергии в пучке ν_μ достигает пика при 1 ГэВ и расширяется до 4 ГэВ. Среднее значение энергии составляет 1.4 ГэВ. В области таких энергий выравнивание линии пучка и детекторов не является критическим благодаря тому, что углы распада пионов достаточно велики. Например, при рассогласовании центральной оси каждого из компонентов в 1 мрад происходит менее чем 1%-е уменьшение потока нейтрино. В течение 12 месяцев при условии хорошей организации мониторинга в детекторе ожидается более 40000 нейтринных событий в 4-тонном объеме ближнего детектора. Также ожидается 400 нейтринных событий в 22000-тонном объеме детектора Super-Kamiokande в случае, если осцилляции нейтрино отсутствуют. Если результаты наблюдений





пор, который будет использоваться в экспериментах.

Ближний детектор: существующий 1000-тонный детектор, который уже использовался ранее в других экспериментах, был усовершенствован и передвинут.

Окончательная установка ближнего детектора планируется в конце 1998 г., а съём данных планируется начать в январе 1999 г. Данный график

статочную статистику при условии, что ускоритель сможет сбрасывать на мишень $6 \cdot 10^{12}$ протонов при каждом выводе пучка в течение 12 месяцев пучкового времени.

Автор статьи, Койчиро Нишикава, является представителем группы, работающей над осуществлением эксперимента по осцилляции нейтрино.

От редакции KEK NEWS.

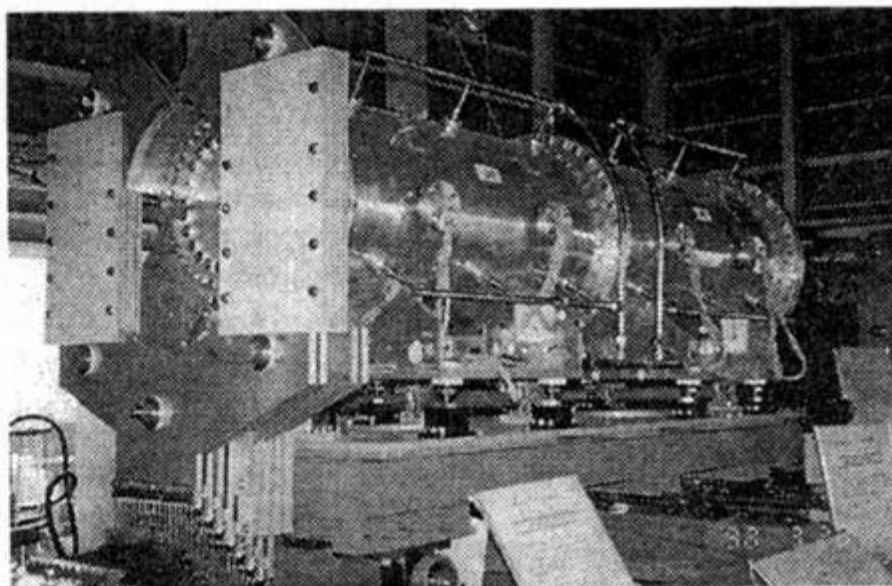
Во время проходившей с 4 по 9 июня конференции «Neutrino 98» было сделано сообщение о том, что были получены доказательства осцилляции нейтрино. Теперь осуществляемый проект выглядит более многообещающим и интересным.

KEK NEWS, vol.2, №1

ний за нейтрино в атмосфере вызваны осцилляцией нейтрино, то ожидается большое сокращение числа событий. Тем не менее их вполне достаточно для того, чтобы с уверенностью подтвердить или опровергнуть результаты по атмосферному нейтрино.

Настоящее положение дел

Пучок KEK-PS: для быстрого вывода 12 ГэВ-ного протонного пучка на KEK-PS конструируются кикерные магниты. Они должны быть изготовлены летом 1998 г. и их установка будет завершена к концу 1998 г. Другими основополагающими компонентами для получения пучка нейтрино являются мишень и система из двух рупоров. Эта система уже сконструирована и подвергнута интенсивному тестированию. На фотографии изображён только что сконструированный ру-



Недавно установленный рупор

работ делает эксперимент по изучению осцилляций нейтрино с длинной базисной линией на KEK-Super-Kamiokande первым ускорительным экспериментом в мире по исследованию Δm^2 в области 10^{-2} эВ². К 2001 году можно будет получить до-

Перевод Н. Эйдельман