

КОНФЕРЕНЦИИ И СИМПОЗИУМЫ

40 лет Институту ядерных исследований

Научная сессия Отделения физических наук
Российской академии наук, 22 декабря 2010 г.

PACS number: 01.10.Fv

DOI: 10.3367/UFNr.0181.201109e.0973

22 декабря 2010 г. в Институте ядерных исследований Российской академии наук (РАН) в г. Троицке состоялась научная сессия Отделения физических наук РАН, посвящённая 40-летию юбилею Института ядерных исследований РАН.

Объявленная на web-сайте ОФН РАН www.grad.ac.ru повестка заседания содержала следующие доклады:

1. **Матвеев В.А.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Вступительное слово.*
2. **Гаврин В.Н.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Вклад результатов SAGE в понимание физики Солнца и физики нейтрино.*
3. **Домогацкий Г.В.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Байкальский нейтринный эксперимент.*
4. **Ткачёв И.И.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Наблюдение эффекта Грейзена–Зацепина–Кузьмина обсерваторией Telescope Array.*
5. **Куденко Ю.Г.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Нейтринный эксперимент T2K: первые результаты.*
6. **Садыков Р.А.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Направления исследований конденсированных сред на Нейтронном комплексе ИЯИ РАН.*
7. **Жуйков Б.Л.** (Институт ядерных исследований РАН, Москва). *Производство изотопов в ИЯИ РАН: реальность и перспективы.*

Статьи, написанные на основе докладов 1–5, 7, публикуются ниже.

Дополнительно также публикуется статья А.М. Ша- лагина "Мощные лазеры на парах щелочных металлов с диодной накачкой", написанная на основе доклада на научной сессии Общего собрания Отделения физических наук РАН (13 декабря 2010 г.), посвящённой 50-летию создания лазера, основные материалы которой опубликованы в УФН 181 (8) 867 (2011).

PACS numbers: 01.52.+r, 01.65.+g, 14.60.-z
DOI: 10.3367/UFNr.0181.201109f.0973

Институту ядерных исследований РАН
40 лет

В.А. Матвеев

Институт ядерных исследований РАН (ИЯИ) был создан решением правительства СССР в декабре 1970 г. по инициативе Н.Н. Боголюбова и М.А. Маркова при поддержке президента АН СССР М.В. Келдыша с целью создания современной экспериментальной базы и проведения исследований в области физики элементарных частиц, фундаментальной ядерной физики, физики космических лучей и нейтринной астрофизики.

Директором института со дня его образования до 1986 г. являлся академик А.Н. Тавхелидзе.

В 1978 г. институт приступил к сооружению на территории научного центра АН СССР в г. Троицке Московской области комплекса на основе сильноточного линейного ускорителя протонов и отрицательных ионов водорода с проектной энергией 600 МэВ и током 0,5 мА, на базе которого в настоящее время завершается



Административно-лабораторный корпус ИЯИ РАН в Троицке.

В.А. Матвеев. Институт ядерных исследований РАН, РФ
E-mail: matveev@inr.ac.ru

сооружение Центра нейтронных и изотопных исследований и Комплекса протонной терапии.

Институт обеспечил строительство на Северном Кавказе в Эльбрусском районе Кабардино-Балкарской Республики Баксанской нейтринной обсерватории с комплексом нейтринных телескопов в подземных лабораториях глубокого заложения и наземных установок большой площади для исследования широких атмосферных ливней и космических лучей высоких энергий. В 1978 г. здесь был введён в строй крупнейший в то время подземный сцинтилляционный телескоп для исследования проникающих сквозь толщу земли потоков атмосферных нейтрино и поиска нейтринного излучения при коллапсе массивных звёзд в Галактике.

23 февраля 1987 г. на этом телескопе и одновременно на трёх других крупномасштабных нейтринных установках — KamiokaNDE-II (Япония), IMB (Irvine–Michigan–Brookhaven) (США) и российско-итальянской установке под Монбланом LSD (Liquid Scintillation Detector) (Италия) — впервые был обнаружен нейтринный сигнал при взрыве сверхновой 1987А в Большом Магеллановом Облаке на расстоянии около 150 кпк от Земли.

В 1991 г. в подземной лаборатории (глубина заложения 4800 метров водного эквивалента) Баксанской нейтринной обсерватории было завершено сооружение уникального, не имеющего аналогов в мире Галлий-германиевого нейтринного телескопа с жидкометаллической галлиевой мишенью массой около 60 т. Проводившееся на этом телескопе в течение уже более 20 лет российско-американским объединением учёных (эксперимент SAGE — Soviet–American Gallium Experiment) исследование потоков солнечных нейтрино позволило впервые экспериментально подтвердить термоядерную природу энергии Солнца и внести важный вклад в открытие фундаментального явления осцилляций нейтрино.

Институт создал на озере Байкале на глубине свыше 1 км первый в мире стационарный глубоководный нейтринный телескоп для исследований естественных потоков нейтрино высоких энергий и поиска новых тяжёлых частиц — сверхтяжёлых магнитных монополей, нейтралино и др. На базе этой установки в настоящее время развивается проект создания глубоководного нейтринного телескопа объёмом до 1 км³.

Институт является одним из общепризнанных лидеров в исследовании проблем нейтринной астрофизики, физики космических лучей сверхвысоких энергий, в исследовании взаимосвязей физики частиц, астрофизики и космологии.

Кроме названных выше широкой известностью в мире пользуется расположенная в соляных шахтах в г. Артёмовске (Украина) 100-тонная сцинтилляционная установка "Коллапс", явившаяся прототипом созданной в сотрудничестве РАН и Национальным институтом ядерной физики Италии крупномасштабной нейтринной установки LVD (Large Volume Detector) в подземной лаборатории Гран-Сассо.

Большую известность в научном мире получила также рекордная по чувствительности установка "Троицк-ню-масс" для поиска массы электронного антинейтрино при прецизионном исследовании спектра распада газообразного трития на широкоапертурном сверхпроводящем магнитном спектрометре. Сейчас эта установка модернизируется с целью повышения её чувстви-

тельности по массе нейтрино до значения, лучшего, чем 1 эВ.

В институте сформировались и активно действуют научные школы Н.Н. Боголюбова, М.А. Маркова, А.Н. Тавхелидзе, И.М. Франка, Г.Т. Зацепина, А.Е. Чудакова и др. Весомы достижения теоретиков института, упомянем, в частности, предсказание обрезания спектра космических лучей сверхвысоких энергий (эффект Зацепина–Кузьмина–Грейзена), открытие особенностей осцилляций нейтрино в веществе (эффект Михеева–Смирнова–Вольфенштейна), теоретическое открытие явления монополярного катализа протонного распада (эффект Рубакова), открытие закономерностей степенных асимптотик эксклюзивных процессов (формулы кваркового счёта Матвеева–Мурадяна–Тавхелидзе), вычисления многопетлевых радиационных эффектов в квантовой хромодинамике (Четыркин, Ткачёв, Катаев, Ларин), исследование проблемы барионной асимметрии Вселенной и, в частности, учёт нетривиальной структуры основного состояния в теории квантованных калибровочных полей (Кузьмин, Рубаков, Шапошников), исследование проблемы ортопозитрония (Гниненко, Красников), исследование загадок физики космических лучей сверхвысоких энергий (Березинский, Кузьмин, Рубаков, Троицкий и др.).

Учёные ИЯИ внесли важный вклад в исследование редких распадов пионов и каонов на базе созданной ими крупной установки "Истра" на пучке протонного ускорителя У-70 Института физики высоких энергий в Протвино, а также в изучение проблем релятивистской ядерной физики на пучках ускорителей Объединённого института ядерных исследований (Дубна) и SPS (Super-Proton Synchrotron) в ЦЕРНе. Ведут исследования параметров нейтринных осцилляций в экспериментах OPERA (Oscillation Project with Emulsion-tRacking Apparatus) (Италия) и K2K (KEK-to-Kamioka) (Япония), а также космических лучей на Кавказе, Тибете, в Забайкалье, Японии, США.

Институт ядерных исследований РАН впервые вошёл в сотрудничество с ЦЕРНом в 1993 г. в рамках эксперимента NOMAD (Neutrino Oscillation Magnetic Detector), внося вклад в создание электромагнитного спектрометра. В настоящее время институт является активным участником экспериментов CMS (Compact Muon Spectrometer), ALICE (A Large Ion Collider Experiment), LHCb (Large Hadron Collider beauty experiment) на Большом адронном коллайдере (LHC), экспериментов NA61, NA62 на SPS, а также CAST (CERN Axion Solar Telescope).

В 2002 г. ИЯИ РАН учредил международную Премию им. академика М.А. Маркова за работы, внёсшие выдающийся вклад в фундаментальные физические исследования в областях науки, тесно связанных с научной программой института.

За прошедшие 40 лет институт стал одним из ведущих научных центров России и мира в области фундаментальной и прикладной ядерной физики, одним из пионеров активно развивающегося в мире в течение последних десятилетий направления "подземная и глубоководная нейтринная физика"¹.

¹ Более подробную информацию об ИЯИ РАН можно найти на сайтах www.inr.ru и www.inr.ac.ru.

Учёными института получены результаты фундаментального значения в области физики частиц, атомного ядра, нейтринной астрофизики, теоретической физики и космологии.

40-летие — это возраст зрелости. Институт, коллектив его сотрудников имеют большие планы развития в соответствии с новыми вызовами фундаментальной науки и потребностями инновационного развития экономики страны — экономики знаний.

Хочется пожелать всему коллективу института новых больших свершений, новых научных открытий.

PACS numbers: 26.65.+t, 95.55.Vj, 96.60.Vg
DOI: 10.3367/UFNr.0181.201109g.0975

Российско-американский галлиевый эксперимент SAGE

В.Н. Гаврин

1. Введение

С тех пор как Паули в 1933 г. постулировал существование нейтрино, оно остаётся одной из наиболее интересных частиц ядерной физики. Представление о нейтрино в теории β -распада, годом позднее развитой Ферми, оказалось настолько плодотворным, что нейтрино было уверенно внесено в число элементарных частиц задолго до его открытия [1].

К 1956 г., когда К. Коуэну и Ф. Райнесу с сотрудниками впервые удалось зарегистрировать свободное нейтрино, характеристики этой частицы в основном уже были получены из косвенных данных большого числа предшествовавших экспериментов с естественными и искусственными β -распадными и K -захватными изотопами, а также на ускорителях в исследованиях мезонно-нейтринных реакций.

Представление о нейтрино, сложившееся на основе этих исследований, несмотря на то что оставались открытыми вопросы о существовании массы нейтрино и его природе (дираковское или майорановское нейтрино), находилось в хорошем согласии со всеми экспериментальными наблюдениями до 1970-х–1980-х годов. В этот период были получены результаты первых солнечных нейтринных экспериментов, которые привели к изменению представлений о нейтрино и тем самым о ряде явлений в современной физической картине мира.

2. Проблема солнечных нейтрино

Первый солнечный нейтринный эксперимент, начавшийся в конце 1960-х годов, имел своей целью проверку теории строения и эволюции звёзд, которая является основой Стандартной солнечной модели (ССМ) [2].

Предполагалось, что энергия в Солнце вырабатывается в результате термоядерного превращения четырёх протонов в α -частицу по цепочкам реакций, в

которых происходит рождение двух позитронов и двух нейтрино. Считалось, что слабо взаимодействующие низкоэнергетичные нейтрино проходят сквозь Солнце и достигают Земли, не претерпевая изменений.

Таким образом, измерение энергетического спектра нейтрино должно было дать информацию об условиях, при которых протекают термоядерные реакции в Солнце. М.А. Марков в 1964 г. подчёркивал: "Широко распространено мнение, что энергетический баланс звёзд типа Солнца поддерживается ядерными реакциями, протекающими в глубинах небесного тела. Хотя гипотеза выглядит очень правдоподобной, всё же существование подобных процессов на Солнце пока не подтверждено экспериментом, и в принципе здесь возможны сюрпризы с далеко идущими последствиями" [3].

И действительно, в первом солнечном нейтринном эксперименте в США с хлорным детектором, имевшим 610-тонную хлорсодержащую мишень, наблюдалось значительно меньшее количество нейтрино, чем предсказывалось детальными моделями физических процессов в Солнце [4]. Эксперимент был начат в конце 1960-х годов и продолжался до середины 1980-х. В этом эксперименте была реализована замечательная идея Б. Понтекорво о возможности регистрации солнечных нейтрино радиохимическим методом посредством измерения скорости образования ^{37}Ag в реакции захвата нейтрино на ядрах ^{37}Cl в хлорной мишени [5]. Хотя различные ССМ предсказывали несколько разные скорости для хлорного эксперимента, скорости захвата во всех этих моделях значительно превышали наблюдаемую. Это разногласие стало широко известной "проблемой солнечных нейтрино", которая существовала более 30 лет.

В течение 20 лет хлорный эксперимент оставался единственным экспериментом по регистрации солнечных нейтрино. Хлорная мишень, использовавшаяся в этом эксперименте, чувствительна исключительно к наиболее высокоэнергетичным в нейтринном спектре Солнца нейтрино от распада ^8B и k части нейтрино от распада ^7Be . Реакции, в которых рождаются эти нейтрино, вносят незначительный вклад в вырабатываемую в Солнце энергию, и величины потоков данных нейтрино сильно зависят от температуры в центре Солнца. В рамках ССМ невозможно получить столь низкую величину потока этих нейтрино.

В результате возникло большое число так называемых нестандартных моделей, в которые для согласования с результатом хлорного эксперимента вводились некоторые механизмы понижения температуры в центре Солнца. Однако большинство из этих моделей сталкивалось с трудностями в описании других измеряемых параметров Солнца.

Альтернативным объяснением расхождения результатов хлорного эксперимента с предсказаниями ССМ могло быть существование нейтринных осцилляций. В хлорном эксперименте детектирование нейтрино происходит по реакции обратного β -распада, и поэтому хлорный детектор чувствителен только к электронным нейтрино. Если нейтрино при своём движении из центральных областей Солнца к Земле осциллируют (а значит, меняют аромат), то хлорный детектор может регистрировать только часть их потока.

Идея о том, что нейтрино, возможно, осциллируют, была высказана Б. Понтекорво [6] ещё в начале 1960-х, но она не получила общего признания, так как приводила к