

# Ядерные релятивистские технологии – будущее энергетики XXI века

**Краткое предисловие.** Чуть больше года назад в редакции еженедельника «Дубна» собрались представители международной коллаборации «Энергия плюс трансмутация», чтобы поделиться своими впечатлениями об успешно проведенном ноябрьском сеансе 2009 года на Нуклотроне и наметить планы на будущее. (К сожалению, по разным причинам в обсуждении не смогли присутствовать участвовавшие в сеансе представители Германии, Греции, Беларуси и Украины). Напомним некоторые высказывания участников сотрудничества, опубликованные газетой.

**В. Вагнер, Институт ядерной физики, Ржеж, Чехия:** «...Пусть наш эксперимент не так масштабен, как некоторые другие на Нуклотроне, но это хорошая практика для начинающего физика. Все познается в сеансах! Например, наш аспирант М. Майерле из Университета Любляны (Словения), который проходил длительную стажировку в ИЯФ (Ржеж) и приезжал на эксперименты в Дубну, считает именно ОИЯИ своей первой научной родиной».

**Профессор М. Шута, Институт ядерных проблем,**

**Сверк, Польша:** «Этот проект уже включен в программу МАГАТЭ, в которой участвуют 19 стран... Австралийские, чешские, польские вчерашние студенты, а теперь аспиранты, никогда не забудут, что их первая научная работа выполнялась именно в Дубне».

**С. Р. Хахеми-Нежад, профессор Университета Сиднея, Австралия:** «Я уже не раз приезжаю на сеансы и испытываю огромную благодарность, во-первых, ко всем членам команды, работающей на установке и занимающейся измерениями, во-вторых, персоналу ЛФВЭ, обеспечивающему работу ускорительного комплекса, в-третьих, всем сотрудникам, умело и грамотно поддерживающим инфраструктуру этого международного научного центра. И еще я полностью согласен с коллегами в том, что здесь передается эстафета от поколения к поколению, от учителей – студентам».

**О том, как развивалось это сотрудничество в минувшем году, о планах и перспективах, по просьбе редакции рассказывает Михаил КАДЫКОВ, соруководитель проекта и руководитель коллаборации.**



бланкетом, окруженная замедлителем из полиэтилена, – установка «Энергия плюс трансмутация»; свинцовая мишень с графитовым замедлителем – установка «Гамма-3» (около тонны сверхчистого графита для этой установки передана в ОИЯИ Беларусь); новая мишень – из природного урана со свинцовым отражателем – установка «Квинта» (проект «ядерные релятивистские технологии» – ЯРТ). Несомненно, такой широкий спектр научных задач должен был способствовать привлечению новых участников из заинтересованных стран. На тот момент наряду с упомянутыми уже странами полноправными членами коллаборации являлись также страны-участницы ОИЯИ Армения, Болгария, Казахстан и Монголия и сотрудничающие с ОИЯИ Сербия и Индия. И вот закончился 2010 год. Можно подводить некоторые итоги. Что же важного произошло за год? Что удалось сделать? А что, может быть, и не получилось?

Наиболее значимым событием, наверное, следует считать, что на ПКК по физике частиц в июне 2010 года был рекомендован к принятию с первым приоритетом на 2011–2013 гг. новый проект «ЭИТ – РАО» (Энергия и трансмутация радиоактивных отходов), нацеленный на комплексное исследование возможностей применения принципиально новой схемы электроядерного метода, основанной на использовании ЯРТ. Таким образом, после пятилетнего перерыва в ОИЯИ офи-

циально возобновились исследования в области электроядерной энергетики.

Схема ЯРТ базируется на генерации существенно более жесткого, по сравнению с делительным, спектра нейтронов. Предполагается, что такой спектр сможет обеспечить эффективное производство энергии, утилизацию отработанного ядерного топлива (ОЯТ) и трансмутацию долгоживущих компонент радиоактивных отходов.

**И**дея ЯРТ состоит в возврате к квазибесконечной активной зоне из природного (обедненного) урана или тория, как это и предполагалось в работах по электроядерному бридингу, выполненных в разные годы в ОИЯИ. Такие активные зоны глубоко подкритичны. Только в глубоко подкритичной системе можно перейти к спектру нейтронов, который определяется внешним источником, то есть получить существенно более жесткий, по сравнению с делительным, спектр нейтронов. Это позволит экономически эффективно «сжигать» для производства энергии базовый материал активной зоны – природный (обедненный) уран или торий без использования урана-235, – и одновременно использовать большой набор конкурирующих между собой неупругих реакций для целей трансмутации долгоживущих радионуклидов.

В схеме ЯРТ предполагается повысить энергию первичного протонного/дейтронного пучка до 10–20 ГэВ. Это позволит на порядок

**Д**альнейшие планы и перспективы развития сотрудничества обсуждались тогда же на рабочем совещании в формате Дубна–Германия–Москва–Обнинск, где была рассмотрена возможность расширения состава коллаборации и, соответственно, осуществляемой ею физической программы за счет предлагаемого инициативной группой физиков Москвы (ЦФТП «Атомэнергомаш»), Дубны (ЛНФ ОИЯИ), Обнинска (ГНЦ РФ ФЭИ) и Беларуси (ИФ НАН Беларуси и ОИЭИЯИ-Сосны НАН Беларуси) проекта энергетики, основанной на ядерных релятивистских технологиях (ЯРТ).

Таким образом, предполагалось работать с тремя физическими установками, с тремя вариантами мишеней из тяжелых элементов. Это свинцовая мишень с урановым

снизить требуемый ток ускорителя при той же мощности пучка и значительно повысить долю энергии пучка, идущую на генерацию жесткого нейтронного поля в объеме активной зоны. Повышение энергии падающего пучка позволит задействовать важный дополнительный механизм повышения жесткости нейтронного спектра – мезообразование. При этом, в отличие от классических ADS-систем, существенно упростится решение проблем окна ввода пучка в активную зону и охлаждения нейтронопроизводящей мишени.

Схема ЯРТ представляется особенно привлекательной в связи с возможностью использовать ее для утилизации отработанных тепловыделяющих сборок (ТВС), содержащих отработанное ядерное топливо, без их сложной радиохимической переработки и разделения.

В ходе реализации проекта «ЭИТ – РАО» мы должны получить отсутствующие на сегодня совокупные данные и разработать расчетные методы, необходимые для начала проектирования демонстрационных опытно-промышленных установок на основе этой схемы. Полученные в рамках проекта результаты будут иметь не только сугубо прикладное, но и важное фундаментальное значение.

Очень важно, что именно в ОИЯИ сегодня имеются уникальные технические возможности для выполнения планируемых экспериментов: работающий ускоритель релятивистских частиц Нуклотрон, необходимый набор делящихся материалов и отработанные методики измерений. А актуальность тематики и широкий спектр научных задач, которые предстоит решать при осуществлении проекта, по сути уже сделали его общеинститутским – в нем активно задействованы как минимум четыре лаборатории ОИЯИ – ЛФВЭ, ЛНФ, ЛЯП, ЛИТ, а также ОРДВ, ОРБ и другие подразделения Института.

Предложенный на ПКК и утвержденный на осенней сессии Ученого совета ОИЯИ проект «ЭИТ – РАО» встретил полную поддержку всех участников предыдущего проекта «Энергия плюс трансмутация», чему в немалой степени способствовало проведенное в сентябре в Белграде (Сербия) рабочее совещание руководителей национальных групп коллаборации, где отдельный день был посвящен презентации уже упоминавшейся выше установки «Квинта». Каждая национальная группа определила свое конкретное участие



На снимке слева направо: М. Кадыков, С. Лерой (координатор проекта EUROTRANS), В. Кекелидзе, Б. Пейо (Сакле, Франция), С. Чубакова на кольце синхрофазотрона.

тие в будущих экспериментах в свете новой расширенной научной программы коллаборации. Новая перспективная физическая программа не могла не вызвать приток новых членов в коллаборацию. В течение 2010 года были оформлены протоколы о научно-техническом сотрудничестве между ОИЯИ и Центром физико-технических проектов «Атомэнергомаш» (Москва, Россия), Институтом энергетики специального назначения (Тольятти, Россия), Ужгородским национальным университетом (Ужгород, Украина), Институтом прикладной физики НАН Молдовы (Кишинев) и Институтом ядерного центра Республики Казахстан (Алматы, Казахстан). Активно включились в работу над новым проектом физики ПИЯФ (Гатчина) и ФЭИ (Обнинск). Официальному вступлению этих институтов в коллаборацию на настоящий момент мешают, как это часто бывает в России, «политические» течения внутри российской науки.

Таким образом, на сегодняшний день международная коллаборация «Энергия и трансмутация РАО» объединяет 10 стран-участниц ОИЯИ, а также Австралию, Германию (три института), Грецию, Индию (два института) и Сербию. В общей сложности в коллаборации представлены 26 институтов и университетов из 15 стран. И я думаю, что в будущем этот список будет только пополняться. Люди приходят со своими идеями, с высокой квалификацией в данной области исследований и, что особенно отраднo, со своими наборами детекторов и приборов для измерений. Не исключено, что в скором будущем мы как принимающая сторона будем даже испыты-

вать организационные проблемы при приеме всех желающих участвовать в физических сеансах на Нуклотроне. Тем более что наряду с тремя работоспособными физическими установками, обеспечивающими различные условия проведения электроядерных исследований, в ближайшем будущем мы рассчитываем получить и четвертую, аналогов которой нет, да, наверное, и не будет в мире.

Конечно, такой интерес возник не на пустом месте. Основой нового проекта послужили физические результаты, полученные в июньском сеансе 2009 года на Нуклотроне. Здесь неоценима роль ЦФТП «Атомэнергомаш», на договорных с ОИЯИ условиях в кратчайшие сроки организовавшего создание новой физической установки из природного урана (впоследствии получившей название «Квинта»), проведение серии ее облучений на пучках Нуклотрона и, соответственно, последующую обработку полученных данных. В течение 2010 года эти результаты были доложены на Международной конференции по ядерным данным и 8-м Азиатском ADS-симпозиуме в Корее, а также на ISINN-18 и 20-й Балдинской конференции ISHEPP-XX в Дубне. Полученные данные дают основание для пересмотра сложившихся в мировом ADS-сообществе представлений о необходимости наличия центральной свинцовой мишени для генерации нейтронов и особенно о том, что оптимум энергии налетающего пучка для электроядерных установок лежит в области 1–2 ГэВ.

Последним же штрихом завершившегося года стала информация с декабрьской сессии РАН. Результаты по увеличению коэф-

(Окончание на 8-й стр.)

**(Окончание.  
Начало на 6–7-й стр.)**

фициента усиления мощности пучка не менее чем в два раза с ростом энергии налетающих частиц от 1 до 4 ГэВ, полученные на установке «Квинта», вошли в список наиболее значимых результатов российской науки в области ядерной физики 2010 года.

Немаловажно то, что новая международная коллаборация E&T-RAW пользуется поддержкой и дирекции ЛФВЭ, и дирекции Института. Стоит упомянуть и состоявшийся в июне 2010 года визит в ЛФВЭ Сильвии Лерой – координатора проекта EUROTRANS, крупнейшего в Европе, нацеленного на исследования в области получения энергии с помощью электроядерных установок и переработки РАО. В ходе визита была достигнута договоренность о координации работ в этой области исследований.

Как это зачастую бывает, в отношении каждого нового дела всегда найдутся и скептики, и недоброжелатели, и просто люди, любящие задавать «неудобные» вопросы. На-

пример, а зачем вообще ОИЯИ, славящемуся своими фундаментальными исследованиями, какая-то «прикладуха», да еще и с выходом на атомную энергетику? Все разъяснения можно найти на сайте нашей коллаборации <http://e-t.jinr.ru>, где выложен и полный текст проекта, и в более кратком виде научная программа, опубликованная в виде Сообщения ОИЯИ. Но уместнее всего, наверное, будет привести здесь выдержку из доклада безвременно ушедшего от нас академика А. Н. Сисакяна, который он готовил для своего выступления на форуме по экологии глобальной энергетики в июне 2010 года в Красноярске:

«Разработка электроядерных (ЭЯ) систем лежит на стыке физики высоких энергий, ускорительной техники и радиационной физики конструкционных материалов. Эти системы предназначены для трансмутации долгоживущих компонент РАО, а также для производства энергии.

Объединенный институт ядерных исследований имеет почти полувековой опыт исследований в облас-

ти физики процессов, происходящих в активной зоне ЭЯ систем, где на базе уникальных ускорителей релятивистских частиц были получены фундаментальные результаты. В настоящее время в связи с возрастающей актуальностью проблемы обращения с РАО мы планируем продолжить исследования в данном направлении в качестве инновационного «ответвления» нашего нового большого проекта ускорительно-накопительного комплекса NICA.

Эти работы планируется проводить в широкой международной кооперации с определяющим участием стран-членов ОИЯИ. Надеемся, что полученные результаты дадут новый импульс к практической реализации ЭЯ метода решения экологических проблем ядерной, а тем самым, и глобальной энергетики».

**Вместо эпилога.** Друзья и коллеги, партнеры по сотрудничеству сердечно поздравляют Михаила Кадыкова с пятидесятилетием. Желаем успешного продолжения нашей совместной работы, новых творческих свершений.