

В один из дней участники совещания разбились на две рабочие группы, в задачу которых входило более детально рассмотреть статус оцененных данных, сопоставить их со сформулированными в докладах требованиями, выработать общие рекомендации по дальнейшей работе в рамках программы координированных исследований и конкретные по измерению и оценке данных для отдельных изотопов. Одна из рабочих групп обсуждала нейтронные данные, вторая — данные о распаде. Затем были составлены таблицы, отражающие современное состояние точности ядерных данных и сопоставляющие их с точностью, требуемой при расчетах в различных областях ядерной технологии, а также в геологии, медицине, космохронологии и т. п. Отмечены изотопы, для которых полностью или частично отсутствуют данные, нужные для расчетов.

Последнее заседание было посвящено докладам представителей рабочих групп, принятию общих рекомендаций совещания и частных рекомендаций рабочих групп. Из общих рекомендаций можно отметить следующие: международная деятельность по измерению и оценке ядерных данных для актиноидов одобрена;

МАГАТЭ предложено организовать следующее заседание через четыре года, считая этот срок оптимальным

для пересмотра современного состояния ядерных данных и проведения необходимых оценок;

заседания групп по программе координированных исследований предложено проводить каждый год. Следующее заседание рекомендовано провести в июне 1980 г. в Вене перед или после заседания международного комитета по ядерным данным;

издание журнала «Actinide Newsletter», подготавливаемое С. Раманом (США, Ок-Ридж), поддержано, оно признано полезным, предложено его издавать ежегодно.

Совещание показало, что в настоящее время деятельность по измерению, сбору и оценке ядерных данных для актиноидов приобрела значительный размах во всех развитых странах, причем основное внимание уделяется широкому международному сотрудничеству в рамках МАГАТЭ. Это объясняется, с одной стороны, потребностями в ядерных данных при решении задач ядерной энергетики и технологии и некоторых прикладных проблем, с другой стороны, международная кооперация позволяет иметь доступ к полному набору данных, экономя тем самым значительные материальные ресурсы каждого отдельного государства.

КУЛАКОВ В. М.

## Советско-шведский семинар по захоронению радиоактивных отходов

Семинар состоялся в Швеции в марте 1979 г. Его программа включала посещение Института стекла в Векшё, Управления геологической службы в Упсале, Геологического полигона в Финшене, цеха битумирования на АЭС «Форсмарк», организации по проектированию ядерной безопасности в Стокгольме.

В Швеции до получения правительственного разрешения на эксплуатацию построенной АЭС необходимо представить и защитить проект окончательного захоронения либо радиоактивных отходов от регенерации твэлов, либо отработавших твэлов. Сейчас в стране шесть действующих и шесть строящихся АЭС. АЭС «Форсмарк» не поставлена под загрузку, так как нет разрешения на пуск, хотя один блок на 900 МВт (эл.) смонтирован в 1977 г., заканчивается сооружение второго такого же блока, зарезервирована площадка для третьего блока мощностью 1040 МВт (эл.). Для разработки типового проекта окончательного захоронения отходов или отработавших твэлов в 1976 г. под эгидой Национального совета по обращению с радиоактивными отходами создана организация по проектированию ядерной безопасности (KBS). С ней по контракту работают шведские промышленные фирмы, институты и университеты, а также иностранные организации и компании, в том числе из США, Франции и ФРГ. В 1978 г. силами шведских и иностранных специалистов разработаны проекты окончательного захоронения отработавшего (нерегенерированного) топлива и остеклованных отходов от регенерации. Сейчас в Швеции обе эти концепции прорабатываются как альтернативные. Право окончательного решения в выборе способа захоронения принадлежит правительственному комитету по радиоактивным отходам.

Первый проект, озаглавленный «Обращение с выгоревшим ядерным топливом и окончательное захоронение остеклованных отходов высокого уровня активности», состоит из пяти томов по следующим рубрикам: общие положения; геология; хранилища; анализ безопасности; обзор иностранной деятельности.

В настоящее время KBS имеет соглашение с французской фирмой SOGEMA о регенерации шведского отработавшего ядерного топлива в 80-х годах. После регенерации топлива отходы в виде остеклованных блоков предполагается выдерживать 10 лет во Франции в контейнерах из хромоникелевой стали, после снижения тепловыделения до

1000 Вт на контейнер транспортировать в Швецию, где в специально построенном промежуточном хранилище на глубине 30 м будут выдерживать 30 лет при воздушном охлаждении до тепловыделения менее 525 Вт на контейнер. Промежуточное хранилище рассчитано на 9000 контейнеров, что соответствует количеству отходов от регенерации отработавшего топлива 13 шведских АЭС в течение 30 лет. Конструкция промежуточного хранилища аналогична конструкции хранилища в Маркуле. После общей 40-летней выдержки остеклованные блоки будут окончательно захоронивать в свинцово-титановых капсулах на глубине 500 м в туннели, на дне которых на расстоянии 4 м одна от другой будут располагаться скважины глубиной 5 м. После загрузки контейнеров скважины и туннель предполагают заполнять смесью кварцевого песка и бетона. По лабораторным исследованиям срок службы контейнера при неограниченном контакте с водой оценен в 30000 лет. При окончательном захоронении на 500 м контакт контейнера с водой оценен 0,2 л/м<sup>2</sup> в год, срок службы 60000 лет.

В проекте приведены требования к транспортным системам, промежуточному и окончательному хранилищам, дан долгосрочный прогноз радиационной безопасности при захоронении в скальные породы.

Второй проект «Обращение и окончательное захоронение нерегенерированного выгоревшего ядерного топлива», выпущенный в двух томах, рассматривается как альтернативный первому. Предполагают регенерированные топливные сборки после промежуточного хранения в течение 40 лет помещать на окончательное захоронение в скальные породы. Сборки капсулируют в медные контейнеры (диаметр 770 мм, высота 4700 мм, толщина стенки 200 мм), внутри их заливают свинцом. Суммарная масса контейнера 20 т, в том числе 2 т топлива, 2,5 т свинца и 15,5 т меди. Общее число контейнеров 9000. Прорабатывается также капсулирование твэлов в канистры из окиси алюминия, получаемые горячим изостатическим прессованием при 1350°C и давлении 100 МПа. Длина предполагаемых канистр 3 м, диаметр 0,5 м, масса 2 т. Их изготавливают в лаборатории высоких давлений фирмы ASEA в Робертфорсе. Канистра вмещает 144 твэла BWR или 174 твэла PWR, скрученных в виде плоской спирали. Окончательное захоронение предполагают проводить как и по первому проекту, но скважины для медных контейнеров предусматривают обкладывать прессованными блоками бентонита.

Как и в первом проекте, здесь анализируют количество отработавшего топлива в контейнере, приводят исходные данные для проектирования и описания хранилищ, свойства материалов канистр и буферных материалов, анализ безопасности.

В настоящее время программа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ KBS составлена на 10 лет и включает полевые геофизические, геохимические, гидрогеологические исследования; изучение остеклованных отходов и отработавшего топлива; анализ безопасности;

работу экспериментальной станции в шахте Стрира (Далларна) на глубине 400 м, а также экономические исследования и проектные работы.

Следует отметить высокую научно-техническую проработку шведскими специалистами вопросов, связанных с окончательным захоронением высокоактивных отходов. В основу проектов положено 120 отчетов по научно-исследовательским работам.

ЗАВЯЛЬСКИЙ Л. П.

## Национальная конференция США по ускорителям заряженных частиц

Национальная конференция по ускорителям заряженных частиц в США, проводимая раз в два года, привлекает внимание значительного числа ученых, специалистов, связанных как с разработкой и совершенствованием ускорителей, так и с их использованием для физических и прикладных исследований. Последняя конференция проходила 12—14 марта 1979 г. в Сан-Франциско. В ее работе участвовали около 900 специалистов, в том числе около 170 из других стран. На двух пленарных и 12 секционных заседаниях было представлено более 250 докладов по широкому кругу вопросов ускорительной науки и техники. Значительное место в работе конференции было отведено использованию ускорителей для прикладных целей.

Одним из главных направлений работ на действующих протонных ускорителях является повышение интенсивности пучков ускоренных частиц. Большое число докладов касалось исследований динамики частиц в ускорителях в условиях сильного влияния собственного электромагнитного поля пучка. Например, в докладах ЦЕРНа обсуждается успешно проведенная коррекция основных квадратичных бетатронных резонансов и структурного резонанса в бустере на энергию 800 МэВ, резистивная стеночная неустойчивость бетатронных колебаний в ускорителе на 28 ГэВ при интенсивности  $1,2 \cdot 10^{13}$  протонов в цикле, сильная неустойчивость типа «голова — хвост» в ускорителе на 400 ГэВ, а также нестабильность пучка, возбуждаемая паразитными модами колебаний в ускоряющих резонаторах. Работа этого ускорителя при интенсивности  $2 \cdot 10^{13}$  протонов в цикле обеспечивается подавлением таких эффектов. Следует отметить, что на ускорителе удалось кратковременно повысить энергию протонов до 500 ГэВ. Эксплуатировать его можно будет на энергию до 450 ГэВ. Вызвали интерес доклады специалистов Лаборатории национальной ускорителя им. Э. Ферми (FNAL) об использовании отрицательных ионов водорода для перезарядной инжекции в бустер. Применение перезарядной инжекции позволило повысить интенсивность основного ускорителя до  $3,9 \cdot 10^{13}$  протонов в импульсе (проект  $5 \cdot 10^{13}$ ). В Брукхейвенской национальной лаборатории (BNL) прорабатывается ускорение поляризованных протонов в ускорителе на 33 ГэВ. Считается возможным сохранить 70% поляризации до 23 ГэВ и 50% до 26 ГэВ при интенсивности  $10^{12}$  протонов в импульсе. Стоимость работ оценивается в 2,9 млн. долл.

К проектам больших ускорительных установок, реализуемых в настоящее время, относится ускоритель DOUBLER (FNAL) на энергию 1000 ГэВ (окончание 1982 г.) и установка ISABELLE (BNL) со встречными протон-протонными пучками  $400 \times 400$  ГэВ со светимостью до  $10^{33} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$  (окончание 1986 г.). В ЦЕРНе планируется к 1982 г. получить в действующем ускорителе на 400 ГэВ протон-антипротонные встречные пучки  $270 \times 270$  ГэВ со светимостью около  $10^{30} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ . Антипротоны будут накапливаться в специальном кольцевом накопителе с использованием стохастического охлаждения. Специалисты FNAL представили также доклады о проектах протон-

антипротонных пучков, но с использованием электронного охлаждения. Проекты установок DOUBLER и ISABELLE основаны на использовании сверхпроводящих магнитов. После длительных модельных исследований в BNL и FNAL в основном отработаны рабочие образцы магнитов и в настоящее время в FNAL ведется их исследование с пучком частиц.

Большой интерес вызвал доклад об эксплуатации установки PETRA (ФРГ) со встречными электрон-позитронными пучками  $19 \times 19$  ГэВ и планах ее развития. Удвоение ВЧ-мощности позволит в 1981 г. повысить энергию частиц до 23 ГэВ, переход в конце 80-х годов на сверхпроводящие резонаторы должен увеличить энергию до 30 ГэВ. К большим установкам относится также установка PEP (США, Станфорд) для встречных электрон-позитронных пучков  $19 \times 19$  ГэВ. Первые опыты с пучком планируются в октябре 1979 г.

Обычная система организации встречных  $e^+e^-$ -пучков при энергии 100 ГэВ и выше становится сложной и дорогой. Стоимость проекта встречных  $e^+e^-$ -пучков энергией  $\sim 80$  ГэВ оценивается  $\sim 1$  млрд. швейц. фр. Альтернативой обычной схемы при такой энергии могут быть линейные системы встречных пучков, изучение которых ведется в некоторых центрах США и других стран.

На конференции были представлены доклады о различных аспектах генерации интенсивных импульсных пучков и изучении процесса коллективного ускорения частиц.

Исследование поведения ядерного вещества в экстремальных условиях, изучение многобарионного взаимодействия, а также перспективы использования пучков ионов для медико-биологических и прикладных целей — все это стимулирует интерес, проявляемый во многих крупнейших физических центрах мира к получению пучков тяжелых ионов высокой энергии. Сегодня в пяти центрах (Дубна, Беркли, Сакле, Дармштадт, Токио) имеются или проектируются ускорители тяжелых ионов на энергию выше 1 ГэВ/нукл. Специфика ускорения ионов до такой энергии во многом определяется источниками многозарядных ионов, эффективностью систем ускорения ионов при малой энергии и др. Это нашло отражение в докладах, представленных на конференции по этой тематике. Прогресс достигнут французскими специалистами, разрабатывающими электронно-лучевой источник многозарядных ионов типа Донца. При плотности тока  $\sim 10^5 \text{ А/см}^2$  и времени ионизации 6—10 мс на выходе источника получено  $5 \cdot 10^9$  ионов  $\text{N}^{7+}$ ,  $3 \cdot 10^9$  ионов  $\text{Ar}^{18+}$  и  $\text{Ar}^{17+}$ . Предполагается, что в конце 1979 г. источник будет задействован на ускорителе «Сатурн II». На получение рекордной энергии ионов до 4,5 ГэВ/нукл. рассчитан ускорительный комплекс тяжелых ионов, проект которого разрабатывается ОИЯИ и ИАЭ им. И. В. Курчатова. В качестве источника ионов на первом этапе будет использоваться уже работающий на синхрофазотроне криогенный электронно-лучевой источник. В ближайшие годы планируется приступить к реализации проекта NUMATRON (Япония). Ускорительный комплекс проектируется на получение пучков ионов до