

рекомендуемые в качестве стандартов: H^1 (n, p); Li^6 (n, α); B^{10} (n, α); Au^{197} (n, γ); U^{235} (n, f) и He^3 (n, p). Признано, что необходимо дальнейшее уточнение сечений указанных процессов, например U^{235} (n, f), особенно в области 0,1–1 Мэв, или Li^6 (n, α) при энергии выше 100 кэв. Подробно стандартные реакции будут обсуждаться на специальном совещании МАГАТЭ, которое состоится в ноябре 1972 г.

В настоящее время значительно увеличился объем работы по оценке ядерных данных, которая ведется с широким использованием ЭВМ. Ряд стран, в том числе и СССР, передают свои оцененные данные в МАГАТЭ для обмена. Однако в комитете существует договоренность об обмене оцененными данными только для перечисленных выше стандартов. Ввиду этого не был положительно решен вопрос об издании международного бюллетеня, который освещал бы проводимые и планируемые работы по оценке. Подкомитет МКЯД по расхождению в наиболее важных ядерных данных и по оценке ядерных данных решил перестроить свою работу, распределив ответственность за эти величины между членами подкомитета: за три месяца до очередного заседания МКЯД каждый член подкомитета должен послать председателю обзор данных по закрепленной за ним величине, чтобы на заседании МКЯД можно было обсудить всю совокупность данных.

На состоявшемся во время заседания МКЯД тематическом семинаре по неупругому рассеянию быстрых нейтронов было заслушано восемь докладов, посвященных методическим разработкам, измерениям, оценке и теоретическим расчетам данных; наибольшее внимание было уделено новым исследованиям U^{238} .

Четыре центра в мире (в Брукхейвене, Вене, Обнинске, Сакле) собирают, систематизируют, обрабатывают и хранят ядерные данные, организуют их оценку и обмен ими. Обмен экспериментальными данными ведется на основе системы EXFOR; комитетом было принято предложение о включении в эту систему данных о продуктах деления. Обсуждались также результаты совещания четырех центров в октябре 1971 г. и различные аспекты обмена данными, в частности сроки получения и причины задержки ответов на запросы. Увеличение потока информации за последние годы можно проследить по числу записей в сборниках СИНДА: 1969 г. — 55 тыс., 1971 г. — 75 тыс., май 1972 г. — 87 тыс. записей.

На заседании подробно обсуждалось намеченное на конец этого года первое издание мирового списка запросов на измерения ядерных данных (WRENDA) и порядок его последующих изданий. Было решено обратиться к странам — участницам и в реакторный отдел МАГАТЭ с просьбой начать постоянную работу по технико-экономическим обоснованиям допустимых величин погрешностей реакторных и защитных пара-

метров, обусловленных неточностями в ядерных данных. Было уточнено, что под ошибкой во WRENDA понимается одно стандартное отклонение. Комитет одобрил и рекомендовал для быстрого распространения представленный подкомитетом по гарантиям и подготовленный в настоящее время на основании данных СССР, США и ФРГ лист запросов на ядерные данные для разработки технических методов системы гарантий, а также обсудил работу, проводимую по составлению подобного листа для термоядерных реакторов.

В повестке дня МКЯД были вопросы по нейтронным ядерным данным. Комплексные расчеты реакторов деления и защиты от излучения, инженерные проработки термоядерных реакторов, технические методы системы гарантий, активационный анализ, применение радиоизотопов и ускорителей в медицине, биологии, промышленности, а также астрофизика и ядерная физика требуют сбора и хранения, систематизации, компиляции и оценки большого количества ядерно-спектроскопической информации нейтронного характера. Кроме того, не существует еще и системы международного обмена этой информацией. МАГАТЭ создало международную рабочую группу по данным о структуре ядра и ядерных реакциях. В марте 1972 г. группа провела в Вене свое первое заседание, на котором рассматривалось современное состояние дел в области компиляции и оценки нейтронных ядерных данных в разных странах и обсуждались области применения этих данных. Затем подготовительный комитет (Канада, СССР, США, Франция) намечил тематику международного симпозиума по применению ядерных (нейтронных и нейтронных) данных в науке и технике, который будет проведен МАГАТЭ в марте 1973 г. в Париже. На заседании МКЯД все обсуждение в сущности свелось к одному вопросу, а именно, будет ли эта группа подкомитетом МКЯД или самостоятельной ячейкой в решении всех дел, за исключением некоторых рекомендаций финансового характера. Решение было отложено до следующего заседания МКЯД с тем, чтобы иметь возможность учесть информацию, которая появится при подготовке и проведении симпозиума.

В 1972 г. МАГАТЭ выделило 15 тыс. долл. на приобретение развивающимися странами образцов и мишеней для исследований по ядерным данным. Комитет ознакомился с полученными запросами и одобрил процедуру распределения образцов и мишеней, подчеркнув при этом, что поддержка должна оказываться работам, отвечающим спискам запросов.

Третья конференция МАГАТЭ по ядерным данным намечена на 1974 г. В ноябре 1973 г. состоится первое заседание ее подготовительного комитета.

Следующее заседание МКЯД будет проведено в Вене в октябре 1973 г.

Г. Б. ЯНЬКОВ

Вторая Международная конференция по импульсной плазме с высоким β

Вторая конференция по импульсной плазме с высоким β проходила с 3 по 6 июля 1972 г. в Институте физики плазмы им. Макса Планка в Гархинге (ФРГ). В работе конференции приняли участие 143 физика из 11 стран, в том числе из Советского Союза.

Было заслушано 64 доклада, обсуждение которых проводилось на семи неперекрывающихся по времени секциях.

На первой секции в основном рассматривались быстрые тороидальные Z- и θ -пинчи. С особым интересом

был заслушан доклад о результатах экспериментов на тороидальном секторе (1/3 полной длины) «Сциллака» — пинча, большой диаметр которого равен 5 м (Лос-Аламос, США). Цель эксперимента — компенсация тороидального дрейфа плазмы с помощью дополнительных спиральных ($l = 1$) обмоток и «гофрировки» магнитного поля круговыми проточками стенок камеры ($l = 0$). Опыты показали, что с выключенными корректирующими полями время жизни плазмы τ в системе составляет 1—2 мксек. При тщательном подборе величин и конфигурации компенсирующих полей удалось увеличить τ примерно до 10 мксек. Эта величина уже сравнима со временем вытекания горячей плазмы через торцы сектора «Сциллака».

Остальные доклады этой секции посвящены тороидальным системам с продольным током. В некоторых из них конфигурация магнитных полей аналогична конфигурации, создаваемой в квазистационарных устройствах типа токамак. Эксперименты, как правило, сводятся к проверке критерия Крускала — Шафранова для плазмы с $\beta = (0,1 \div 0,5)$.

Вторая секция была посвящена теории устойчивости и равновесия. На этой секции заслушано девять докладов, в основном по выяснению причин большей устойчивости (экспериментальный факт) систем с высоким β по сравнению с устройствами с $\beta \ll 1$. Доклады представлены двумя группами ученых из Гархинга и Лос-Аламоса. Интересна разница в методах работы этих групп. Первые ведут исследования, если можно так выразиться, в классическом стиле: анализируют описывающие процесс уравнения и пытаются найти решения для скоростей развития неустойчивостей, спектров колебаний и т. д. в аналитическом виде. Ученые Лос-Аламоса, используя возросшую мощность современных ЭВМ, «пробивают» решения весьма сложных систем уравнений численными методами и таким способом ищут новые эффекты. Характерным в этом отношении является доклад Фрайдберга и Льюиса, в котором из численного решения кинетического уравнения было показано, что в плазме с большим β скорость развития неустойчивостей с $m \geq 2$ оказывается существенно меньше скоростей, вычисленных с помощью линеаризованной системы уравнений идеальной магнитной гидродинамики.

На третьей секции рассматривались линейные θ -пинчи. Появились модификации этой системы: θ -пинч с мультипольным магнитным полем и «отрицательный» θ -пинч [$B_z(t) = B_0(1 - \cos \omega t)$]. Заметных преимуществ в создании плотной и горячей плазмы эти устройства пока не дают.

Следует отметить, что в докладах по прямым θ -пинчам особенно отчетливо обозначилась роль численного эксперимента. Он становится важным методом исследования плазмы. В настоящее время опыты планируются так, что непосредственные измерения и численный расчет дополняют друг друга. Таким способом был подведен энергетический баланс на установке «Изар II» (ФРГ) (θ -пинч длиной 1 м, диаметром 10 см, с энергетическим запасом батареи 500 кДж) и показано, что потери энергии плазмы определяются электронной теплопроводностью и истечением плазмы, подобным течению газа в соплах Лавала.

Несколько неожиданными были результаты измерений на пятиметровом линейном θ -пинче, работающем от батареи «Сциллака» (Лос-Аламос). Оказалось, что включение магнитных пробок приводит к быстрому развитию неустойчивости плазменного столба. Эти данные противоречат экспериментам, проведенным на

«Сцилле IV» (Лос-Аламос), и причины эффекта изучаются.

На отдельном заседании рассматривались бесстолкновительные ударные волны. Этот метод создания высокотемпературной плазмы предполагается использовать либо для заполнения магнитных ловушек стеллараторного типа, либо, если время жизни плазмы окажется достаточно большим, в качестве самостоятельного источника нейтронов. В последнем случае скинное время должно быть большим и необходимо знать физику тонких токовых оболочек. В обоих случаях необходима большая энергия ионов. Входящей цилиндрической ударной волне она пропорциональна $E \cdot n_0^{-1/2}$, где E — напряженность электрического поля в плазме, а n_0 — начальная плотность газа. В доложенных работах (в основном немецких ученых) напряжение на обходе катушек менялось от нескольких десятков до 500 кВ, начальная плотность варьировалась от $3 \cdot 10^{10}$ до $5 \cdot 10^{12}$ см⁻³. Скорость сжатия в этих опытах достигала 10^8 см/сек, и, вследствие того что холодный газ являлся мишенью, нейтронный импульс начинался задолго до кумуляции плазмы на оси системы. В стадии сжатия температура плазмы достигала 10 кэВ, плотность равнялась 10^{14} см⁻³, $\beta = 0,5$. Для ширины токовой оболочки как в теоретических, так и в экспериментальных работах приводится довольно широкий диапазон значений. Экспериментальные величины колеблются от (3—8) c/ω_{pe} (Гархинг) до c/ω_{pi} (Юлих). Из теоретических работ только одна дает хорошее согласие с опытом. В ней рассматривается раскаты нелинейной ионно-акустической волны, движущейся навстречу разрядному току. Показано, что в широком диапазоне параметров критической величиной токовой скорости является значение $2 \cdot \sqrt{\frac{m_e}{m_i}} \times \sqrt{Vt_e}$, а ширина оболочки равна c/ω_{pi} .

Весьма активно работали на конференции исследователи систем с плазменным фокусом. Помимо запланированного заседания, на котором было представлено наибольшее число докладов, проведено дополнительное обсуждение динамики токовых оболочек и механизмов создания высокотемпературной плазмы и генерации быстрых частиц. По первому вопросу (динамика) есть практически полная ясность: тщательное сопоставление экспериментальных результатов с расчетом показывает их полное совпадение вплоть до момента максимального сжатия. О нагреве этого пока сказать нельзя. Обсуждаются по крайней мере три причины появления разогретой плазмы к моменту максимальной интенсивности нейтронного излучения (второй импульс): адиабатическое сжатие, турбулентный нагрев и диссипация магнитной энергии токовых вихрей (Бостик, США). Что же касается механизмов генерации быстрых частиц, то в докладах Н. В. Филиппова (СССР) и Бернарда (Франция) показано существование особых режимов, в которых возникают быстрые протоны. По мнению Бернарда, они характерны для разрядов с низким начальным давлением. Все эти неточности и разногласия, по-видимому, будут устранены в ближайшие годы — на конференции были продемонстрированы методики с разрешающим временем 1 нсек. Главное же заключается в том, что в общих чертах процесс сжатия плазмы в системах с плазменным фокусом хорошо рассчитывается вплоть до количественных оценок нейтронных выходов. Это позволяет перейти к проектированию и строительству новых, более мощных установок. Такое стремление поддерживается

не только желанием приблизиться в термоядерных исследованиях к критерию Лоусона, но и практическим интересом фирм, разрабатывающих импульсные рентгеновские и нейтронные источники. Во всяком случае во Фраскати (Италия) разработан проект установки на 1 Мдж, и в ближайшее время он будет осуществляться в рамках Евратома.

Основной темой шестой секции были θ -пинчи с прямоугольным сечением разрядной камеры («ленточные», «перстеньковые»). На Мадисонской конференции 1971 г. обсуждались только проекты экспериментальных установок и их теоретические основы, здесь же были сообщены первые результаты опытов. Оказалось, что плазма в этих устройствах довольно устойчива, и время ее жизни определяется временем диффузии магнитных полей. С большим интересом был заслушан и активно обсужден в кулуарах советский доклад (Ю. Ф. Наседкин, Г. Б. Левадный и др.) о проекте ленточного θ -пинча. От зарубежных он отличается большой величиной магнитных полей (100 кэс).

Последняя секция («Разное») была посвящена широкому кругу вопросов: от стабилизации неустойчивостей обратными связями до расчета импульсного термоядерного реактора. Особенно следует отметить непрекращающиеся поиски новых способов создания высокотемпературной плазмы. Наряду с уже известными предложениями по нагреву вещества электронными пучками и излучением лазеров обсуждались и новые идеи. Так, Ченг (США) пропускал 1 Ма через тонко-

стенную металлическую трубку, заполненную дейтерием. Перенапряжение, возникающее во время паузы тока при взрыве трубки, оказывалось достаточным для пробоя дейтерия. Током разряда газ разогревался до высокой температуры, а его разлет тормозился тяжелой оболочкой паров металла трубки. Зарегистрировано нейтронное излучение. Ченг считает, что при токе 25 Ма можно получить $n \cdot \tau \approx 10^{14}$.

Интересным было сообщение Бориса и др. (США) о проекте установки со сверхсильным (2,5 Мэс) магнитным полем и положительным энергетическим балансом. Поле создается сжимающимся металлическим лайнером с начальным диаметром ~ 1 м и длиной 10 м. Энергетический запас индуктивных накопителей 200 Мдж. В настоящее время ведется подготовка к практической реализации проекта.

Закончилась работа секции и конференции докладом Рыби (США) о результатах самосогласованного расчета термоядерного реактора на основе двухстадийного тороидального θ -пинча. Проектная мощность реактора 1750 Мвт, тепловая нагрузка на стенку 3,5 Мвт/м²; параметры плазмы: $n \approx 10^{16}$ см⁻³, $T = (15 \div 30)$ кэв. Плазма в реакторе создается быстрым ударным нагревом и затем удерживается в течение 100 мсек медленным полем. Сквасность импульсов горения 10^2 . Отмечается ряд преимуществ импульсных реакторов перед стационарными (малые габариты, отсутствие потоков жидких металлов в магнитных полях и т. д.).

Ю. В. СКВОРЦОВ

VI Международная конференция по циклотронам

С 18 по 21 июля 1972 г. в Ванкувере (Канада) проходила VI Международная конференция по циклотронам. Было сделано около 80 докладов.

На этой конференции в отличие от предыдущих было представлено очень мало новых проектов. Она продемонстрировала неослабевающее внимание к ускорению тяжелых ионов и все возрастающий интерес к применению циклотронов в различных областях науки и техники, особенно в медицине и материаловедении.

Наиболее примечательным достижением циклотронной техники за последний год явилось ускорение тяжелых ионов в системе из двух циклотронов в ОИЯИ (Дубна). Инжектируя ионы, ускоренные в трехметровом циклотроне, в двухметровый и перезаряжая их в последнем, сотрудники Г. Н. Флёрова получили ионы ксенона с энергией 7 Мэв/нуклон и интенсивностью $2 \cdot 10^{10}$ частиц/сек⁻¹ и начали эксперименты по синтезу сверхтяжелых трансурановых элементов. Для той же цели в Орсе (Франция) создана установка «Алис», состоящая из линейного ускорителя-инжектора и двухметрового изохронного циклотрона, где получены ионы криптона с энергией 505 Мэв и интенсивностью $2 \cdot 10^8$ сек⁻¹. На конференции было доложено также об интенсивных работах по получению ускоренных тяжелых ионов на изохронных циклотронах в Беркли, Ок-Ридже и Техасском университете (США).

Два проекта гибридных ускорительных установок разработаны главным образом для получения ускоренных тяжелых ионов. Первый — проект Ок-Риджской

лаборатории, в котором предусматривалось инжектировать ионы в кольцевой циклотрон из тандема на 20 Мэв, несколько изменен. Теперь, кроме тандема, планируется использовать и работающий там изохронный циклотрон. В первом случае можно будет ускорять ионы урана до энергии 10 Мэв/нуклон, во втором — ионы тантала до 6 Мэв/нуклон.

Второй проект — проект кольцевого циклотрона Института Гана — Мейтнера в Берлине, где в качестве инжектора предполагается использовать работающий там электростатический ускоритель на 7 Мэв. Предполагается ускорять ионы от углерода до аргона с интенсивностью $\sim 10^{12}$ сек⁻¹ до энергии 20 Мэв.

В Мичиганском университете группа Блоссера провела предварительное исследование проекта компактного циклотрона с регулируемой энергией до максимальной энергии протонов 200 Мэв. В качестве модели использована работающая машина на 50 Мэв. Новый циклотрон будет более крутоспиральным, но с тем же зазором между полюсами, причем вместо трех секторов будет четыре. Характеристики выведенного пучка протонов: энергетический разброс $2 \cdot 10^{-4}$, горизонтальный эмиттанс 0,3 мм·град, вертикальный — 2 мм·град. Стоимость самого циклотрона составит около 2 млн. долл.

Продолжается сооружение пяти крупных циклотронов, о состоянии которых сообщалось на конференции:

1. Крупнейший циклотрон «Триумф» (Ванкувер, Канада) с диаметром полюсов ~ 17 м для ускорения отрицательных ионов водорода до 500 Мэв при интенсив-