

Обзор методов определения глубины выгорания и воспроизведения горючего в твэлах без их разрушения сделан в докладе В. Мак-Гоннагла (США). Рассмотрены методы:

активации фольги или проволоки, анализа γ -спектров продуктов деления, γ -сканирования, измерения мгновенных и запаздывающих нейтронов, измерения захватного γ -излучения, пропускания нейтронов через образец, спектрометрии по времени замедления, использования стабильных изотопов.

Описанию γ -спектрометров, применяющихся для определения выгорания урана, посвящены доклады М. Хигацбергера и др. (Австрия), Н. Расмассена и др. (США), А. Фуджа и др. (Англия). В первых двух докладах выгорание определяется регистрацией γ -излучения Cs^{137} , в последнем — регистрацией γ -излучения $Zr^{95} - Nb^{95}$. Описываются устройства для непрерывного сканирования твэлов, а также рассматриваются радиоактивные продукты деления, γ -излучение которых может быть использовано для определения глубины выгорания.

В докладе П. Вейнцирла и др. (Австрия) описан разрабатываемый метод определения содержания Pu^{239} в облученных твэлах путем пропускания через них тепловых и надтепловых нейтронов.

Ядерная безопасность

Вопросы ядерной безопасности получили незначительное отражение в работе симпозиума.

Международная конференция по ускорителям во Фраскати

С 9 по 16 сентября 1965 г. во Фраскати (Италия) проходила очередная (пятая по счету) Международная конференция по ускорителям*. В ее работе приняло участие 240 делегатов из 19 стран, которые представили свыше 130 докладов по различным вопросам, связанным с ускорительной техникой.

Хотя со времени предыдущей, Дубненской, конференции прошло немногим более двух лет, в области ускорителей достигнут заметный прогресс. Этот прогресс касается не только улучшения работы существующих и проектирования новых ускорителей, но, что более важно, постановки новых физических экспериментов. На конференции во Фраскати были впервые рассмотрены результаты исследований по (e, e) -расщеплению, полученные в Стенфорде (США) и Новосибирске на встречных пучках электронов. Методическое значение этих экспериментов трудно переоценить: они развеяли сомнения относительно возможности осуществления встречных соударений. Сейчас форсируются работы по сооружению электрон-позитронного накопительного кольца «Адоне» на 1,5 ГэВ во Фраскати, а в Орсэ (Франция) и Новосибирске готовы к запуску аналогичные накопители (правда, на меньшие энергии). В ближайшее время ЦЕРН приступит к строительству протонных накопительных колец на 28 ГэВ.

Явление сверхпроводимости много лет занимает мысли специалистов в области ускорительной техники.

* Первые две конференции (1956 и 1959 гг.) состоялись в Женеве, третья (1961 г.) — в Брукхейвене (США) и четвертая (1963 г.) — в Дубне.

В докладе Ю. Фручарда (Франция) рассмотрены методы обеспечения ядерной безопасности на регенерационном заводе в Маркуле; в докладе Ф. Тинги (США) обсуждаются научные, технические и административные проблемы обеспечения ядерной безопасности, порядок решения технических и административных вопросов на предприятиях, использование учетных данных и инвентаризаций для предупреждения возможных случаев возникновения критичности.

Методы и результаты расчета критических параметров систем, состоящих из сплава высокообогащенного урана и воды, растворов урана в цилиндрах, обернутых кадмием, решеток урановых материалов без замедлителя и с частичным замедлителем, приведены в докладе М. Рейбера и Л. Джозефа (США). Некоторые расчетные данные сравниваются с экспериментальными.

В докладе А. В. Камаева (СССР) описаны методы обеспечения ядерной безопасности при работе с делящимися веществами неизвестной концентрации, а также при работе с применением поглотителей нейтронов. Приведены результаты экспериментов по определению критических параметров водных растворов урана, содержащих одиночные стержни, решетки стержней и цилиндрические перегородки с бором и кадмием.

В целом симпозиум отразил факт появления новой и своеобразной отрасли знаний в области атомной энергии — учета и контроля ядерных материалов. Поэтому решение МАГАТЭ об издании трудов симпозиума можно только приветствовать.

А. В. КАМАЕВ, Ф. М. КУЗНЕЦОВ

ускорителям во Фраскати

Последние очень интересные исследования П. Вильсона и др. (Стэнфорд) показывают, что сверхпроводящий ускоритель — реальность. Возможности такого ускорителя будут в ближайшее время продемонстрированы на секции длиной ~1 м.

Большинство представленных на данную конференцию проектов новых ускорителей на высокие энергии доведено по существу до уровня технического задания. Это значит, что их строительство может быть начато практически сразу же после решения вопроса о финансировании.

Работа конференции началась с обсуждения протонных синхротронов на сверхвысокие энергии. В проекте протонного синхротрона на 300 ГэВ с интенсивностью пучка 10^{13} частиц/сек, разработанном в ЦЕРНе, имеется ряд интересных решений. Поскольку изменение частоты обращения протонов в процессе ускорения оказывается очень малым (инъекцию предполагается осуществлять из промежуточного ускорителя — «буstera» на 8 ГэВ), решено применять волноводные ускоряющие структуры, работающие на постоянной частоте 183 Мгц (кратность 4500). Стоимость ускорителя составит не менее 1600 млн. швейцарских франков, а его строительство займет примерно девять лет.

Проектируемый в Беркли (США) протонный синхротрон на 200 ГэВ основан на тех же принципах, что и синхротрон ЦЕРНа. Это каскадный ускоритель, в котором инъектором служит линейный ускоритель на 200 МэВ, а бустером — протонный синхротрон на 8 ГэВ. В этом ускорителе в отличие от ускорителя ЦЕРНа будет применена ферритовая настройка уско-

ряющих резонаторов как в большом кольце, так и в бустере. Стоимость ускорителя оценивается в 290 млн. долл.

Сотрудники Радиотехнического института АН СССР представили доклад, в котором были изложены некоторые проблемы, связанные с разработкой сверхбольших ускорителей с автоуправлением, и приведены ориентировочные параметры ускорителя на 1000 ГэВ и его модели на 1 ГэВ.

Большой интерес вызвало сообщение о ходе строительства Серпуховского ускорителя на 70 ГэВ. По словам Ю. М. Адо (Серпухов), строительство этого крупнейшего в мире протонного синхротрона должно быть завершено через два года, после чего он будет сдан в эксплуатацию.

Стоимость большого ускорителя является, как известно, одной из его основных характеристик, которая зависит не только от конструкции, но и от типа ускорителя. В связи с этим заслуживает внимания доклад японских физиков, в котором приведено сравнение стоимости каскадных и обычных (без бустера) синхротронов на энергию 50—100 ГэВ. Из доклада следует, что даже при таких относительно низких энергиях каскадный ускоритель по крайней мере вдвое дешевле обычного синхротрона на ту же энергию.

Усовершенствование существующих ускорителей ведется в основном по пути увеличения интенсивности и более эффективного использования ускоренного пучка. Для лучшего использования ускоренного пучка в некоторых лабораториях (например, в Кембридже, США) планируется создание специальных переключателей, которые должны равномерно распределять пучок по различным каналам с частотой, необходимой для работы экспериментального оборудования.

Увеличения интенсивности можно добиться как за счет коррекции магнитного поля ускорителя и повышения частоты повторения циклов, так и за счет перехода на высоковольтную инжекцию (применение высоковольтной инжекции позволяет, как известно, существенно поднять предел по пространственному заряду). Проблема высоковольтной инжекции может быть решена по-разному. Например, в ЦЕРНе помимо обычной схемы с использованием линейного ускорителя на 200 МэВ рассматривается так называемая TART-схема (Twin Accelerator Ring Transfer scheme) инжекции, при которой в кольце главного ускорителя (в данном случае синхротрона ЦЕРНа на 28 ГэВ) располагается промежуточный (бустерный) ускоритель с большой апертурой, ускоряющий протоны до 600 МэВ. Ускоренные в бустере протоны инжектируются затем в основной ускоритель. Утверждается, что таким путем удается повысить интенсивность машины ЦЕРНа в 12 раз.

В связи с реконструкцией Брукхейвенского синхротрона (США) рассмотрена возможность использования в качестве инжектора промежуточного накопителя (так называемая bootstrap-схема). В этой схеме ускоренные до 500 МэВ в основном кольце протоны выводятся и инжектируются в установленное рядом с ускорителем накопительное кольцо. После нескольких циклов накопленные в кольце частицы вновь инжектируются в основной ускоритель, где доводятся до кучной энергии. Ожидается, что переход на инжекцию с энергией 500 МэВ даст 10^{13} протон/имп. Средний радиус вспомогательного кольца в $13/12$ раза больше радиуса основного кольца; апертура такая же, как и у основного ускорителя; напряженность поля 2700 э. Общая стоимость bootstrap-схемы 11 млн. долл.

Одно из важных мест в работе конференции занимали *электронные синхротроны*. Кроме сообщений о реконструкции действующих установок обсуждались проекты новых синхротронов.

Проект Корнеллского синхротрона (США) на 10 ГэВ был разработан два с половиной года назад. В настоящее время ведутся строительные работы (для проведения магнитных измерений изготовлено восемь блоков магнита). Чтобы снизить радиационные потери, радиус орбиты был выбран равным 100 м; максимальная напряженность магнитного поля 3,3 кэ. Полное напряжение, требующееся для ускорения электронов и компенсации потерь на излучение, составляет при максимальной энергии электронов 10,5 МэВ на оборот. Это напряжение создается при помощи четырех резонаторов, представляющих собой отрезки диафрагмированного волновода. Для их питания предполагается использовать клистронные генераторы с частотой 714 Мец и полной мощностью 135 квт. Инжектором синхротрона будет служить линейный ускоритель на 200 МэВ, что позволит получить интенсивность 10^{11} электрон/имп. Магнит синхротрона состоит из 192 блоков Ш-образной формы длиной 3,43 м каждый и имеет шесть прямолинейных промежутков для размещения ускоряющих резонаторов и экспериментального оборудования. Блоки вместе с обмоткой помещаются в кожух из нержавеющей стали, который запаивается и отжигается вместе с магнитом; полезная апертура 5×7 см; частота повторения циклов 60 гц. Полная активная мощность, потребляемая ускорителем при максимальной энергии, 800 квт, из них на долю магнита приходится 396 квт. Стоимость ускорителя вместе с экспериментальными залами составит примерно 12 млн. долл.

Французский проект электронного синхротрона на 12 ГэВ* еще не вышел из стадии предварительных разработок: в конце 1965 г. должны быть изготовлены лишь модели магнитов и резонаторов. Средний радиус ускорителя 146 м, напряженность магнитного поля (при максимальной энергии) 4 кэ. Общая стоимость ускорителя, включая зарплату сотрудникам, оценивается в 222 млн. французских франков.

Обращает на себя внимание сообщение И. Дриса о строительстве в Бонне (ФРГ) синхротрона на 2,3 ГэВ, которое предполагается закончить в конце 1966 г.

Повышенный интерес у участников конференции вызвали *неустойчивости пучков в ускорителях и накопителях*. Особенно подробно обсуждалась поперечная «стеночная» неустойчивость, обусловленная конечной проводимостью стенок камеры. Сгусток частиц, пролетая вблизи проводящих стенок, индуцирует на их поверхности заряды и токи, которые создают внутри камеры электрические и магнитные «поля изображений». После пролета сгустка поперечное электрическое поле изображений исчезает за время порядка времени релаксации, а поперечное магнитное поле убывает очень медленно (как $t^{-1/2}$); это поле воздействует затем на сгусток при последующих оборотах. Если сгусток совершает когерентные бетатронные колебания, то средняя работа сил остаточного поля, действующих на электроны сгустка, отлична от нуля, в результате чего происходит раскачка (или затухание) колебаний. В рассматриваемом случае раскачка имеет место при

* До недавнего времени во Франции в качестве национального проекта фигурировал протонный синхротрон на 60 ГэВ.

частоте бетатронных колебаний $k - \frac{1}{2} < v < k$, где k — целое число; при $k < v < k + \frac{1}{2}$ происходит

дополнительное затухание когерентных колебаний сгустка. На этот эффект оказывают влияние различного рода запоминающие системы (резонаторы с поперечным электрическим полем, системы активной обратной связи и т. п.).

Большое внимание было уделено также вопросам электромагнитного взаимодействия встречных пучков. Были представлены как экспериментальные доклады, так и теоретические. В докладе Б. Тушека (Фраскати) были рассмотрены некоторые когерентные эффекты взаимодействия сгустков, связанные главным образом с конечной проводимостью стенок камеры. Некогерентным эффектам, обусловленным нелинейными резонансами высокого порядка, был посвящен доклад А. Н. Скрипского (Новосибирск). В этом докладе показано, что нелинейное поле пучка приводит к образованию многих устойчивых орбит для второго пучка. В результате, несмотря на затухание бетатронных колебаний, второй пучок остается размытым, так как часть частиц уходит на «паразитные» орбиты.

Продолжаются разработки, хотя и не такие интенсивные, как прежде, сильноточных ускорителей протонов на энергию $\sim 1 \text{ ГэВ}$ («мезонные фабрики»). В докладе Х. Вилакса (Швейцария) отмечается значительный прогресс, достигнутый в проектировании изохронного циклотрона на 500 МэВ в Цюрихе. Предполагается, что проектирование будет закончено в конце 1966 г. Срок строительства пять–шесть лет. Ускоритель состоит из секторного циклотрона-инжектора на 70 МэВ и кольцевого спирального циклотрона (70 — 500 МэВ). В настоящее время кроме проектирования осуществляется моделирование магнитного поля и ускоряющих резонаторов. К еще не решенным проблемам относятся вывод и получение вторичных пучков на мишени (проблема радиационной безопасности).

Как следует из доклада Дж. Мартина (Ок-Ридж, США), сейчас по крайней мере три лаборатории (в США, Канаде и Великобритании) занимаются разработкой циклотронов с разделенными орбитами. В частности, Ок-Риджская группа разрабатывает проект такого циклотрона на 800 — 1000 МэВ с током пучка $\sim 5 \text{ ма}$. Примерная схема установки следующая: линейный ускоритель-инжектор на 10 МэВ и трехкаскадный циклотрон с разделенными орбитами (10 — 50 , 50 — 350 и 350 — 800 МэВ), в котором каждый предыдущий каскад служит инжектором для последующего.

Новые методы ускорения были рассмотрены в нескольких докладах, среди которых можно отметить доклад Ф. Милза (Научно-исследовательская ассоциация университетов Среднего Запада, США), посвященный когерентному ускорению протонов в поле продольных плазменных колебаний. Основная идея состоит в том, чтобы поддерживать эти колебания, пропуская через плазму интенсивный ($\sim 100 \text{ а}$) пучок быстрых электронов. Согласование фазовой скорости со скоростью ускоряемых протонов должно осуществляться за счет пространственной вариации параметров плазмы. Автор доклада считает, что таким путем можно получить напряженность электрического поля порядка нескольких Мв/м .

Оживленную дискуссию вызвало сообщение Г. И. Будкера (Новосибирск) о пробкотронной ловушке для накопления позитронов, замедленных до тепло-

вых скоростей за счет потерь на ионизацию в газовой среде ловушки *.

Выход и сепарация пучков; поляризованные мишени. Быстрый вывод ускоренного пучка уже давно осуществлен на ускорителе ЦЕРН, поэтому на конференции основное внимание было уделено медленному выводу по так называемой схеме Пиччони. Такая схема вывода применена, в частности, на ускорителе «Нимрод» (Великобритания) и на Аргоннском синхротроне с нулевым градиентом поля (США). Как сообщили Л. Тенг (США), методом Пиччони из Аргоннского синхротрона удается вывести 30—50% ускоренного пучка.

Кроме метода Пиччони разрабатывается также резонансный метод вывода, осуществленный на синхротроне во Фраскати. Этим методом выведено 50% частиц за время порядка 4 мсек. Предварительные расчеты для Принстон-Пенсильванского ускорителя (США) показывают, что резонансный метод позволит вывести до 80% ускоренного пучка.

Прогресс в разработке электростатических сепараторов, достигнутый в ЦЕРНе, касается в основном повышения напряженности электрического поля сепараторов. Были разработаны новые типы электродов — алюминиевый оксидированный катод и анод из нержавеющей стали, — которые позволили повысить рабочее напряжение сепаратора до 600 кв на зазоре в 5 см при длине сепаратора 3 м.

Большой интерес вызвал ВЧ-метод сепарации, осуществленный в ЦЕРНе в январе 1965 г. на пучке K -мезонов. Б. Монтею (ЦЕРН) доложил о возможной модификации этого метода. В предложенном им варианте сепаратора используются два ВЧ-дефлектора. Первый дефлектор модулирует выведенный пучок протонов в поперечном направлении, так что вторичные частицы оказываются разделенными по импульсу. Второй ВЧ-дефлектор, установленный после мишени, осуществляет сепарацию обычным образом. При таком варианте разделения общая длина сепаратора уменьшается примерно на одну треть.

В обзорном докладе по поляризованным мишениям (В. Хьюз, США) был обрисован круг физических задач для поляризованных пучков и рассмотрены различные методы получения поляризованных мишений. Отмечалось, что наибольшее распространение получили мишени с поляризованным водородом, входящим в соединение типа $\text{La}_3\text{Mg}_3(\text{NO})_{12} \cdot 24\text{H}_2\text{O}$.

По линейным (протонным и электронным) ускорителям было представлено сравнительно мало докладов. Это объясняется, по-видимому, тем, что незадолго перед конференцией во Фраскати в Вашингтоне состоялась конференция по ускорителям, где очень детально обсуждались вопросы, относящиеся к новым ускоряющим структурам, мощным электронным приборам, системам авторегулирования, юстировки и т. п.

Все протонные линейные ускорители на большие энергии состоят, как известно, из двух частей, отличающихся рабочей частотой и структурой ускоряющих резонаторов. В большинстве проектируемых ускорителей первая часть работает на частоте 200 Мгц , а вторая — на частоте 800 Мгц . (Переход на более высокие частоты, которые экономически выгоднее, связан с потерями частиц при резком изменении частоты.) В связи с этим ведутся поиски новых ускоряющих структур. Большинство предлагаемых структур представляет

* Аналогичное предложение было выдвинуто К. Робинсоном (K. R o b i n s o n. Magnetic Bottle for Producing Positrons and Polarised Electrons. Preprint CEAL-1016).

собой систему связанных резонаторов или ячеек. Лучшей в настоящее время считается система с боковыми резонаторами связи, которая работает на моде $\pi/2$. В такой системе соседние моды достаточно удалены от рабочей моды и мало влияют на ускоряющее поле.

В ЦЕРНе и Резерфордовской лаборатории (Великобритания), а также в ФРГ исследуются так называемые кросс-барные структуры. Основной целью этих работ является получение удобной с конструктивной точки зрения системы с постоянным диаметром трубок дрейфа при постоянном диаметре резонатора.

Большой интерес вызвал доклад о линейном электронном ускорителе на 2 ГэВ Харьковского физико-технического института. В дискуссии отмечалось, что этот ускоритель является в настоящее время «рекордсменом» по энергии среди линейных ускорителей.

Как следует из сообщения Станфордской группы, сборка двухмилльного ускорителя по существу закончена. В настоящее время проводится испытание отдельных секций. В начале 1965 г. начали действовать две из 30 ускорительных секций и получен пучок электронов с энергией 1,45 ГэВ и током 25 мА в импульсе (частота следования импульсов при этом была 360 гц). Работы по запуску ускорителя на полную мощность предполагается начать в апреле 1966 г., с тем чтобы уже в июле 1966 г. ускоритель был готов для проведения физических экспериментов. Управление ускорителем будет осуществляться при помощи электронно-вычислительной машины, которая также должна обслуживать систему формирования и транспортировки пучка.

Наибольшее распространение в качестве детекторов частиц высокой энергии получили в настоящее

время пузырьковые, искровые и стримерные камеры, черенковские счетчики, сцинтилляционные гадоскопы в сочетании с электронно-вычислительными машинами и т. п. В Брукхейвене проводятся исследования по созданию детекторов, основанных на использовании «переходного» излучения, возникающего при пролете частицы через границу раздела двух оптических сред.

Особое внимание было удалено пузырьковым камерам, обладающим хорошим пространственным разрешением (положение трека определяется с точностью до 25 мк) и высокой точностью при определении импульса частицы. Дальнейшего повышения точности можно добиться, используя сверхпроводящие магниты с большой напряженностью поля. Как следует из доклада Л. Тенга, в Аргонской лаборатории уже работает 27,5-сантиметровая камера со сверхпроводящим магнитом (напряженность поля, создаваемого этим магнитом, составляет 42 кэ). Для повышения эффективности пузырьковой камеры при регистрации редких событий предполагается увеличить ее размеры и частоту повторения, а также использовать комбинацию камеры с гадоскопом.

На конференции отмечалась перспективность стримерных и проволочных камер, поскольку они позволяют сравнительно легко автоматизировать процессы управления и обработки полученных результатов.

В заключение хочется привести слова одного американского физика о значении ускорителей: «Жаль, что новые ускорители... оказались дорогими, но не строить их означало бы для науки отказаться от высшей из ее целей — от открытия законов природы».

А. М. ГРОМОВ, А. П. ФАТЕЕВ

Международный симпозиум по химии и радиоактивности атмосферы

В августе 1965 г. в Швеции на о. Готланд (г. Висбю) комиссия по атмосферной химии и радиоактивности Международной ассоциации по метеорологии и физике атмосферы провела Международный симпозиум по химии, циркуляции и радиоактивности атмосферы. В его работе приняли участие более 150 ученых из 20 стран, заслушавших 85 докладов. Советская делегация в составе 7 человек представила 8 докладов. Работы по радиоактивности атмосферы были посвящены в основном переносу радиоактивных примесей в стратосфере, мезосфере и тропосфере, переносу примесей через тропопаузу, поведению радиоактивных аэрозолей в стратосфере и в тропосфере. В некоторых докладах рассматривалась естественная радиоактивность атмосферы, т. е. поведение в атмосфере радона, торона и продуктов их распада, а также космогенных радиоактивных изотопов.

В докладе Р. Листа и др. (США) были приведены данные о распределении в стратосфере аэрозоля Cd¹⁰⁹, образовавшегося во время взрыва американской атомной бомбы в июле 1962 г. на широте 17° с. ш. на высоте 400 км, и аэрозоля Ru²³⁸, выброшенного в атмосферу над Индийским океаном в апреле 1964 г. на высоте 40 км в результате аварии американской космической установки. Оказалось, что концентрации Cd¹⁰⁹ в стратосфере южного полушария намного больше, чем в северном полушарии. Опускание аэрозоля этого

изотопа с высоты 32 до 20 км происходило в южном полушарии (32° ю. ш.) в течение 7—9 месяцев. Cd¹⁰⁹ достиг высоты 20 км на широте 32° ю. ш. примерно через год, на широте 65—45° с. ш. через полтора, а на широте 9—30° с. ш. через два года после взрыва. Аэрозоль Ru²³⁸ на высоте 25 км впервые был обнаружен на широте 34° ю. ш. в марте 1965 г. Концентрации этого изотопа в 1965 г. в стратосфере в южном полушарии были примерно на порядок выше, чем в северном. В докладе Х. Фили и др. (США) сделана оценка среднего времени пребывания в атмосфере различных изотопов по временному изменению их количества в стратосфере. Для Sr⁹⁰ и Mn⁶⁴ период полуыведения за 1963—1965 гг. равен примерно 10 месяцам, для C¹⁴ — полтора года. В северной полярной части стратосферы максимум концентрации C¹⁴ располагался выше (19—21 км), чем продуктов деления (17—18 км). Скорость перехода атомов C¹⁴ из северного полушария в южное оказалась меньше, чем аэрозольных продуктов деления. И. Л. Кароль (СССР) предложил метод оценки коэффициента вертикальной турбулентной диффузии и упорядоченных вертикальных токов в стратосфере по величине отношения концентраций RaD/RaF.

Из докладов, посвященных переносу радиоактивных примесей в нижней стратосфере и в тропосфере, следует отметить сообщение Д. Лала (Индия). В нижней стратосфере северного полушария концентрация Na²²