

брикетов наблюдалось возникновение межкристаллитной пористости в виде сферических полостей, во внешней части поры имели вид лент.

Интересны изменения микроструктуры оболочки, особенно нержавеющей стали. В первоначально однородной структуре аустенита наблюдается выпадение сфероидальных карбидов и σ -фазы в области высокого нагрева. В более холодных областях количество σ -фазы меньше, и удается заметить только выпадение карбидов. Вблизи места разрушения наблюдается много межзеренных трещин, которые, как это видно при большом увеличении, представляются в виде цепочек пор, собравшихся на границах вблизи частиц σ -фазы. Делается вывод, что низкая пластичность стали есть следствие ядерной реакции $B^{10}(n, \alpha)Li^7$, причем гелий при повышенной температуре образует пузырьки — поры, располагающиеся по границам зерен. Несколько меньшую роль в охрупчивании стали играет выпадение карбидов и σ -фазы.

Рентгенографическое исследование показало, что параметр решетки смеси монокарбидов урана и плутония уменьшается при облучении. Полагают, что это происходит вследствие образования твердых растворов с осколками. Величина отношения U/Pu увеличивается по радиусу таблетки на 11—13%, что, правда, объясняется выгоранием плутония. Диффузия Pu не обнаружена.

Доклад Б. Брэдбери и др. (Великобритания) «Поведение под облучением смеси монокарбидов урана и плутония» посвящен влиянию метода изготовления (дуговая плавка или спекание) и содержания углерода в монокарбиде. Миниатюрные твэлы в виде запаянных трубок из нержавеющей стали с горячим облучались в реакторах DIDO и DFR до выгорания 8 ат. % (урана

и плутония). Изучалось распухание, миграция продуктов деления (Xe и Kr) и теплопроводность.

Из приведенных данных по выделению газовых осколков после легкого облучения следует, что в этом отношении твердый раствор (U, Pu)C не слишком отличается от UC, а также от UO₂ или от (U, Pu)O₂. Карбиды, полученные дуговой плавкой, удерживают газ не лучше, чем приготовленные спеканием, а при повышенных температурах (> 1200°С) смогут оказаться даже хуже. Присутствие свободного металла усиливает выделение газовых осколков, особенно при температурах ниже 1200°С. Твердый раствор (U_{0,85}Pu_{0,15})C в форме тонкого порошка с плотностью 60% теоретической, по-видимому, удерживает газовые осколки при центральной температуре 1270°С до выгорания 5,5%. Предварительные данные показывают, что газовыделение из спеченных карбидов, облученных в тепловом реакторе до выгорания 10,6% при оценочной центральной температуре 850°С, весьма мало.

Оболочки из сплавов на основе Ni, как теперь известно, испытывают значительное радиационное охрупчивание, которое совместно с термическими напряжениями и давлением распухающего горячего оказывается причиной их разрушения. В порошкообразных образцах спекание горячего уменьшает напряжения при распухании, и разрушения не происходит.

Сопоставляя все доклады, можно прийти к выводу, что сейчас еще трудно сделать выбор между тремя видами горячего для быстрых реакторов. Каждый вид горячего может быть дополнительно усовершенствован. При этом большая роль должна быть отведена конструкции твэлов и выбору материала оболочки.

С. Т. КОНОВЕВСКИЙ

Посещение советскими учеными научно-исследовательских центров Великобритании

В соответствии с соглашением между Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР и Управлением по атомной энергии Великобритании об обмене научными делегациями делегация советских физиков в декабре 1965 г. посетила научно-исследовательские центры Великобритании. Целью визита было ознакомление с работой и конструкцией ускорительных установок и программой научных исследований по физике элементарных частиц и ядерной физике больших и малых энергий. Делегация посетила отделение ядерной физики в Харуэлле, Резерфордскую лабораторию высоких энергий, лабораторию ядерной физики Оксфордского университета, лабораторию ядерной физики в Дарсбери, Манчестерский университет, Кембриджский университет, астрофизическую обсерваторию, а также некоторые фирмы, выпускающие приборы для физических лабораторий.

Научно-исследовательские работы в области низких энергий, выполняемые в Великобритании на «малых» ускорителях, можно разделить на два главных направления: 1) исследования, основной целью которых является получение констант, необходимых для реакторостроения; 2) исследования, не имеющие в настоящее время прикладного значения.

Следует отметить возрастающий интерес к получению данных, необходимых для расчета быстрых реак-

торов. В Харуэлле очень удобными для этих исследований являются импульсный генератор Ван де Граафа (IBIS) и линейный электронный ускоритель.

Импульсный генератор Ван де Граафа, ускоряющий частицы до энергии 3 Мэв, дает импульсы протонов или дейтронов длительностью 10 нсек* с интервалом 1 мксек. Ток в импульсе равен 10 ма. Используя различные мишени на этой установке, можно получать моноэнергетические нейтроны в большом интервале энергии. На ней проводится опыт по изучению углового и энергетического распределения рассеянных нейтронов и γ -квантов.

Линейный ускоритель электронов в Харуэлле можно назвать фабрикой нейтронных эффективных сечений. Урановый размножитель U²³⁵, называемый бустером, который установлен после ртутной мишени, имеет коэффициент размножения 10. Энергия ускоренных электронов равна 42 Мэв. При токе 400 ма число нейтронов в импульсе достигает 10¹⁸. Длительность импульса может быть доведена до 1—3 нсек. Кроме бустера имеются мишени, на которые пучок электронов выводится импульсным магнитом. Длительность импульса на каждой мишени может быть различной, что

* Благодаря дополнительной фокусировке длительность импульса на мишени сокращается до 1 нсек.

позволяет одновременно выполнять разнообразные эксперименты. Для измерения нейтронных эффективных сечений по времени пролета используются различные пролетные базы и многоканальные временные анализаторы. Записанные на ленту данные обрабатываются с помощью электронно-счетной машины. Измерения полных нейтронных эффективных сечений, сечений радиационного захвата, деления и рассеяния в широком интервале энергий дают возможность определить параметры резонансных уровней.

Измерения нейтронных сечений проводятся также на генераторе Ван де Граафа. Недавно на Харуэллском синхротроне, ускоряющем протоны до энергии 166 Мэв, был получен пучок медленных нейтронов, что позволило использовать и этот ускоритель для изучения нейтронных эффективных сечений.

В Харуэлле закончено строительство 70-двоймового циклотрона с переменной энергией, предназначенного для исследования радиационных эффектов. Этот циклотрон может ускорять различные ионы с массами до 40 атомных единиц. Внутренний пучок протонов при энергии 50 Мэв будет иметь ток 1 ма (100 мка в выведенном пучке). Имеется девять мишеней (одна внутренняя), которые находятся в изолированных друг от друга помещениях. Этот циклотрон обладает преимуществами по сравнению с реакторами типа МТР: обеспечивает сокращение сроков экспериментов, дает возможность исследовать эффекты при дозах облучения, недостижимых на МТР, позволяет исследовать эффекты, вызванные только заряженными частицами, и т. д. На этом циклотроне намечается производство тяжелых элементов для радиохимии и метода меченых атомов. Планируются исследования спектра масс осколков деления, углового распределения осколков деления, выхода изомеров при делении и другие исследования процесса деления тяжелых ядер.

Из работ, не имеющих прикладного значения и выполняемых на «малых» ускорителях, следует прежде всего отметить работу группы Дж. Фримана. В этой работе, выполненной с использованием тандема, позволяющего ускорять частицы до энергии 12 Мэв, измерены точные значения ft ряда чисто фермиевских β -распадов: $O^+, T = 1 \rightarrow O^+, T = 1$. В этом случае матричный элемент перехода известен и равен $M_F = \sqrt{2}$ для любого ядра. Иными словами, должно выполняться соотношение

$$G_V |M_F|^2 ft = \text{const},$$

откуда можно определить векторную константу β -распада G_V . Для определения f нужно точно измерить граничную энергию β -спектра. Граничная энергия β -спектров находилась из значения порога соответствующей (p, n) -реакции. Необходимо подчеркнуть преимущество тандема: при высокой монохроматичности пучка ускоренных частиц эти ускорители дают возможность получить частицы больших энергий. Использование тандема позволило Дж. Фриману проинвестировать измерения порога (p, n) -реакций и, следовательно, граничной энергии β -спектров с точностью до 3–4 кэв. Значения ft для $O^{14}, Cl^{34}, Sc^{42}, V^{46}, Mn^{50}, Co^{54}$ хорошо совпадают друг с другом в пределах погрешности измерений. Значение ft для Al^{26} ниже общего среднего примерно на 1–1,5%, что выходит за пределы статистических ошибок. Среднее значение ft равно $3123 \pm 7 \text{ сек}$. Это значение изменено с учетом

необходимых поправок. Из среднего значения ft определена векторная константа β -распада:

$$G_V = (1,4034 \pm 0,0016) \cdot 10^{-49} \text{ эрг} \cdot \text{см}^3,$$

что дает $G_V/G_{\mu} = 0,978 \pm 0,001$; $\theta_{\text{набиббо}} = 0,21$ в отличии от согласии с ожидаемыми значениями.

Большое внимание уделяется изучению изобарических аналоговых состояний. Установлено существование изобарических аналоговых состояний даже у самых тяжелых ядер, что является весьма примечательным фактом. Аналоговые состояния могут возникать в (p, n) - (d, n) - и (d, p) -реакциях, (p, p) - и (d, p) -реакциях. В случае (d, n) -реакции угловое распределение нейтронов определяет угловой момент и четность состояния, т. е. кроме Q -реакции определяются квантовые характеристики состояния. Исследования аналоговых состояний проводятся в Великобритании на многих «малых» ускорителях.

Для исследования энергетических состояний ядер, обогащенных протонами, можно использовать (He^3, n) -реакцию. Такие исследования проводятся на ускорителе IBIS в Харуэлле. Анализ угловых распределений производится на основе теории искаженных волн. В Манчестерском университете на генераторе Ван де Граафа, позволяющем ускорять частицы до энергии 6 Мэв, (He^3, n) -реакция используется для измерения Q -реакций, приводящих к образованию зеркальных ядер. На этом же ускорителе проводятся исследования (He^3, α) - и $(\alpha, p\gamma)$ -реакций с целью изучения сечений и угловых корреляций.

С помощью линейного ускорителя тяжелых ионов в Манчестерском университете обнаружено изомерное состояние Re^{183m} ($I = 25/2$). Изомер синтезируется в реакции $Ta^{181}(\alpha, 2n) Re^{183m}$. Период полураспада этого изомера равен 0,95 мсек. Схема распада исследуется с помощью германиевого γ -спектрометра и β -спектрометра. На этом же ускорителе проводятся исследования ротационных полос нейтронодефицитных ядер в области $110 < A < 122$, в частности изотопов $He^{118-122}$. Пока ротационная полоса не обнаружена. Если отрицательный результат подтвердится, то это будет интересным фактом. Работу предполагается закончить в течение ближайших 3–6 месяцев. Кроме того, готовятся другие эксперименты: по кулоновскому возбуждению высоколежащих ядерных уровней в различных ядрах под действием многозарядовых ионов, по зависимости Γ_n/Γ_f от отношения N/A при фиксированном значении параметра Z^2/A , зависимости Γ_n/Γ_f от углового момента, по упругому и неупругому рассеянию тяжелых ионов, в частности, исследование системы $Cl^{12} - Cl^{12}$.

Программа научных исследований на протонном синхротроне на 166 Мэв в Харуэлле сосредоточена главным образом на изучении (p, p) - и (n, p) -рассеяния, рассеяния протонов ядрами, проводится также изучение изменения поляризации протонов при рассеянии протонов на водородной мишени (выведенный из синхротрона пучок протонов может быть поляризован рассеянием на внутренней алюминиевой мишени до $47,1 \pm 0,49\%$, кроме того, имеется поляризованная водородная мишень), изучении тормозного излучения при рассеянии протонов и т. д. Как указывалось выше, синхротрон используется и как интенсивный источник нейтронов малой энергии. Нейтроны в широком интервале энергий получают при испарении их ядрами, которые бомбардируются протонами высокой энергии. Интенсивность пучка нейтронов в импульсе (длительность импульса 10 нсек) состав-

ляет $5 \cdot 10^{18}$. Предполагается, что синхронциклотрон будет модернизирован с целью увеличения интенсивности внутреннего протонного пучка от 2 до 10 мка, уменьшения длительности импульса с 10 до 2 нсек и обеспечения возможности ускорять кроме протонов α -частицы и ядра He^3 .

На линейном ускорителе протонов, позволяющем ускорять частицы до энергии 50 Мэв (Резерфордская лаборатория), поляризованные протоны могут быть получены в самом ионном источнике, так что в ускорителе происходит ускорение поляризованного пучка протонов. На поляризованном пучке протонов с использованием поляризованной водородной мишени исследуют асимметрию рассеяния протонов с энергией 50 Мэв с целью изучения спиновой зависимости $p-p$ взаимодействия. Кроме того, исследуют изменение поляризации протонов при рассеянии. На этом ускорителе изучается также рассеяние протонов ядрами для проверки оптической модели. С целью исключения влияния кулоновского взаимодействия изучается рассеяние протонов различными изотопами никеля. Детектором протонов в этом опыте служит стопка кремниевых детекторов толщиной 13,5 м.м. Приборная ширина линии такого детектора равна 150 кэв.

Исследования в области физики элементарных частиц и ядерной физики высоких энергий проводятся главным образом на ускорителе протонов на 7 Гэв в Резерфордской лаборатории (НИМРОД). В постановке опытов участвуют объединенные группы различных научно-исследовательских центров страны. На ускорителе установлена и работает французская 80-сантиметровая пузырьковая камера, заполненная сейчас жидким дейтерием. Изучается взаимодействие π^+ -мезонов с дейтерием. Летом 1966 г. предполагается запустить пузырьковую камеру английского изготовления размерами $150 \times 40 \times 40$ см. Камера может заполняться водородом или дейтерием. Группа Оксфордского университета заканчивает изготовление камеры с размером $80 \times 40 \times 40$ см для заполнения жидким гелием. Планируется установить ее на пучке K^+ -мезонов и изучать рождение гиперфрагментов $\Delta^+ \text{He}^4$, $\Delta^+ \text{He}^3$ и $\Delta^+ \text{He}^3$.

Предполагается начать изучение реакции $\pi^- + p \rightarrow \Phi^0 + n$ с целью измерения спина Φ^0 -мезона. Установка содержит 13 искровых камер для изучения углового распределения продуктов распада Φ^0 -мезона. Энергия нейтронов может быть измерена по времени пролета на базе 3 м с разрешающей способностью $\pm 10^{-9}$ сек. Обработка результатов будет производиться электронно-вычислительной машиной.

В Дарсбери сооружается ускоритель электронов на энергию 5,3 Гэв/с. На этом ускорителе планируются следующие исследования: фоторождение π -мезонов, рождение пар под большим углом к направлению импульса γ -квантов, измерения поляризации протонов отдачи при рассеянии электронов, получение K^0 -пучка для проверки расчетов Дрелла, исследования с использованием искровой камеры, помещенной в магнитное поле, процессов типа $\gamma \rightarrow e^+ \rightarrow \gamma$.

Необходимо отметить ценность посещения промышленных фирм, выпускающих оборудование для физических приборов. Фирма «Викерс» продемонстрировала выпускаемые ею электронные ускорители, которые используются не только в физических лабораториях, но находят широкое применение в промышленности и медицине. Фирма «Нуклеар Энтерпрайсес» выпускает различного рода сцинтилляторы, полупроводниковые детекторы и электронную аппаратуру. Фирма ведет разработку германиевого детектора размером 5×5 см.

Фирма ЕМ1 выпускает телевизионную аппаратуру, фотоумножители, электронно-счетные машины. Фирма заканчивает разработку ФЭУ с длительностью сигнала $0,5 \cdot 10^{-9}$ сек. Фирма выпускает также электронную аппаратуру так называемой Харуэллской серии. Эта аппаратура, разработанная и испытанная в Харуэлле, является сейчас своего рода стандартной аппаратурой в физических лабораториях Великобритании. Фирма заканчивает разработку амплитудного анализатора с числом каналов в один миллион. Фирма «Эллиот» выпускает полупроводниковые детекторы для регистрации γ -квантов и заряженных частиц.

Советские ученые покинули гостеприимную Англию с чувством глубокой признательности к английским коллегам и сопровождавшим делегацию лицам.

Ю. АБОВ

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

АТОМИЗДАТ ИМЕЕТ В НАЛИЧИИ
СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ:

СЕНЧЕНКОВ А. П. Атомные ракеты и проблемы освоения космоса. Научно-популярный очерк. 1964, 184 стр., цена 28 коп.

Сможет ли человек, создав атомную ракету, совершить путешествие на другие планеты? Как будет устроена космическая атомная ракета? Какие работы и эксперименты проводятся по ее созданию? Приземлялся ли когда-либо космический атомный корабль на Земле? На эти и многие другие вопросы по проблеме межзвездных перелетов читатель найдет ответ в книге А. П. Сенченкова.

Рассматриваемые в книге вопросы изложены автором просто и доходчиво. Книга рассчитана на самые широкие круги читателей, интересующихся космонавтикой. Ее с интересом прочтут студенты и школьники старших классов.

Заказы на книги направляйте по адресу:
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15,
Союзкнига, отдел научной-технической литературы, или в Атомиздат: Москва, К-31,
ул. Жданова, 5/7.

Атомиздат