

Исследования по физике атомного ядра в США

В декабре 1965 г. делегация советских специалистов посетила США и ознакомилась с научно-исследовательскими работами в области ядерной физики низких энергий.

Члены делегации побывали в Брукгейвской национальной лаборатории (БНЛ), Колумбийском университете, Йельском университете, Аргоннской национальной лаборатории (АНЛ), Висконсинском университете, Радиационной лаборатории им. Лоуренса (Беркли) и Ок-Риджской национальной лаборатории (ОРНЛ).

Большинство исследований в области ядерной физики низких энергий ведется на циклотронах и генераторах Ван де Граафа. В США работают 14 обычных циклотронов (семь из них с диаметром полюсов более 1,5 м) и 12 изохронных циклотронов. В стадии строительства находятся три изохронных циклотрона.

На циклотронах ведутся работы по возбуждению в легких ядрах аналоговых состояний и обнаружению новых ядер. Эксперименты основаны на изучении реакции (p, t) , в которой возбуждаются уровни, отличные по T на две единицы. При энергии $E_p \approx 40$ Мэв впервые наблюдались уровни с $T = 2$ у ядер, основные состояния которых имеют $T = 0$, например в реакции $Mg^{26}(p, t)Mg^{24}$ у некоторых нечетных ядер (He^7 , в частности); идентифицированы уровни с $T = 3/2$. Эти данные позволяют оценивать поведение ядра при больших энергиях возбуждения. При бомбардировке C^{12} ядрами He^3 открыто ядро C^9 [реакция $C^{12}(He^3, He^6)C^9$], и в последнее время в реакции $Mg^{26}(\alpha, He^8)Mg^{22}$ обнаружено ядро He^8 . В Ок-Ридже основное внимание уделяется изучению дырочных состояний в районе замкнутой оболочки с $N = 50$ (цирконий, иттрий, стронций) при помощи реакций (p, d) , (p, t) , (p, He^3) , (p, α) . Сравнение наблюдаемого спектра уровней с предсказаниями оболочечной модели показывает достаточно хорошее согласие. Ведутся исследования с поляризованными частицами. Например, изучены угловые распределения поляризованных протонов, рассеянных на различных ядрах — от C^{12} до Rb^{208} . Цель этих экспериментов — получение прямых данных о спин-орбитальном члене в оптическом потенциале.

В различных лабораториях США в 1965 г. действовало 14 тандемных электростатических ускорителей с различными диапазонами энергий: 2—12; 8—17,5 и 7—21,5 Мэв. В стадии строительства находится еще несколько ускорителей. В БНЛ в течение ближайших двух лет предполагается осуществить строительство трехступенчатого генератора на максимальную энергию 30—36 Мэв.

Программа научных исследований на генераторах включает измерение времени жизни методом импульсного пучка; изучение (d, p) -реакций, гигантского резонанса с помощью обратных реакций (p, γ) и (α, γ) , упругого рассеяния протонов, дейтронов и α -частиц; исследование реакций (d, p) , (d, t) , (He^3, d) ; изучение реакций (d, n) методом времени пролета. Широко ведутся работы по оснащению тандемных ускорителей источниками поляризованных частиц.

На тандемном ускорителе Йельского университета проводятся опыты по ускорению ионов углерода, кислорода, алюминия, кремния, меди, свинца, вольфрама, тантала. На аналогичном ускорителе фирмы НВЕС, который используется в качестве экспериментального стенда, осуществлено ускорение 36-заряд-

ных ионов U^{238} до энергии 204 Мэв. Ток составлял более 200 па.

Среди наиболее интересных работ по физике деления можно отметить ведущиеся в БНЛ и в Беркли исследования распределения заряда осколков путем измерения совпадений между γ -квантами и осколками деления при спонтанном делении Cf^{252} .

В Колумбийском университете изучается двойное и тройное деление U^{235} . Основные результаты работ докладывались на конференции по физике деления в Зальцбурге (1965 г.) В АНЛ ведутся работы по исследованию анизотропии осколков деления U^{235} , U^{238} , Th^{232} , вызванного α -частицами и дейтонами. Намечена широкая программа изучения структуры каналов деления для трансурановых элементов в реакциях (d, p, f) на тандем-генераторе и (α, α', f) на изохронном циклотроне. В первую очередь предполагается определить расстояние между первым порогом деления через каналы положительной четности 0^+ , 2^+ и вторым порогом через каналы отрицательной четности 1^- , 3^- .

В АНЛ и Беркли изучаются природа и спектры легких частиц при тройном делении Cf^{252} . Делегация ознакомилась с новыми результатами работ, посвященных наблюдению ядра He^8 . В Беркли при изучении тройного спонтанного деления Cf^{252} наблюдались ядра He^4 , He^6 и He^8 с относительной интенсивностью 10 000 : 100 : 1. Проводятся поиски ядра He^{10} . Идентификация He^8 осуществлялась при помощи телескопа, состоявшего из двух тонких кремниевых детекторов для измерения удельных потерь энергии и толстого кремниевое детектора для измерения полной энергии частиц. Ядро He^8 было обнаружено еще в двух экспериментах в БНЛ — при изучении ядерной реакции $Mg^{26}(\alpha, He^8)Mg^{24}$ и при бомбардировке мишени из органического материала протонами с энергией 2,2 Гэв. В первом случае ядро He^8 регистрировалось тем же методом, как и при делении Cf^{252} . В последнем эксперименте изучался радиоактивный распад He^8 . Наблюдались β - и γ -излучения и запаздывающие нейтроны. Ядро He^8 испытывает β -распад с $T_{1/2} = 122$ мсек (88% распадов идет на первое возбужденное состояние Li^8 , а 12% — на более высокие уровни с испусканием запаздывающих нейтронов).

В США реализуется Национальная программа по накоплению весовых количеств изотопов трансурановых элементов и исследованию их свойств. В ОРНЛ во второй половине 1965 г. пучок ядерный реактор с высокой плотностью потока нейтронов (HFIR), предназначенный для накопления изотопов трансурановых элементов. Мощность его в декабре 1965 г. составляла ~ 30 Мвт. Предполагалось, что к лету 1966 г. реактор достигнет полной мощности (100 Мвт). Поток нейтронов $5 \cdot 10^{15}$ нейтр/см²·сек; исходный материал — Pu^{242} (загрузка ~ 300 г). Химическую переработку облученного материала предполагалось проводить один раз в месяц. По предварительным данным, производство изотопов кюрия и амерция составит 30—60 мг, а калифорния 1 мг в год.

На линейном ускорителе тяжелых ионов (НИЛАС, Беркли) после повышения интенсивности пучка ионов возобновлены работы по синтезу новых элементов. Подготовлены опыты по синтезу изотопа элемента 104 с массовым числом 260 [полученного ранее в ОИЯИ в реакции $Pu^{242}(Ne^{22}, 4n)104^{260}$] в реакции $Cm^{242}(O^{18}, 4n)104^{260}$. Методика эксперимента прин-

циально не отличается от методики, разработанной в ОИРИ.

Ведутся теоретические работы по исследованию возможности существования новой области стабильности ядер трансурановых элементов с массой, близкой к 300 (ядерная оболочка при числе нейтронов 184 и числе протонов 124). Обсуждается программа экспериментальных работ в этой области, в частности предлагается изучать продукты ядерных реакций при бомбардировке мишеней из тяжелых элементов ядрами урана с энергией до 1,5 Гэв.

Работы по α -, β -, γ -спектроскопии ведутся практически во всех ядерных лабораториях США. Получены новые интересные данные о схемах распада различных ядер, ядерных уровнях, угловых моментах уровней и др.

В области нейтронной спектрометрии основные результаты исследований были сообщены на Международной конференции по исследованию структуры ядра при помощи нейтронов (Антверпен, июнь 1965 г.). В настоящее время большое внимание уделяется поискам новых методов исследования состояний ядер, возбуждаемых нейтронами. Разрабатываются и строятся исследовательские ядерные реакторы с большой плотностью нейтронного потока.

В Беркли заканчивается строительство импульсного ядерного реактора. Средний нейтронный поток составит $2 \cdot 10^{13}$ нейтр/см²·сек, в импульсе 10^{17} нейтр/см²·сек. Длительность импульса 10—15 мсек. Средняя мощность реактора 1 Мвт, в форсированном режиме ее можно довести до 2 Мвт.

Большой интерес проявляется к работам с поляризованными нейтронами и с поляризованными мишенями. В БНЛ при температуре 0,05° К в магнитном поле 17 кэ удалось поляризовать ядра урана. Степень поляризации составила 5%. Проведены первые измерения сечений с поляризованными нейтронами с энергией менее 1,5 эв.

Во всех упоминавшихся выше работах в качестве детекторов излучения, как правило, применяются полупроводниковые счетчики. В некоторых лабораториях США практически отказались от газовых и спинтиллиационных счетчиков.

В ядерно-физических лабораториях широко используются электронно-вычислительные машины (ЭВМ), непосредственно связанные с экспериментальными установками. ЭВМ управляют экспериментом по заданной программе, получают информацию и немедленно ее обрабатывают, выносят решения о качестве и надежности полученных данных и вносят коррективы в ход эксперимента. В БНЛ 11 ЭВМ (из имеющихся 19) используются непосредственно в эксперименте. В АНЛ имеется более 20 ЭВМ, большая часть которых применяется для автоматизации эксперимента и обработки результатов.

В АНЛ на базе ускорителя Ван де Граафа с энергией 3,5 Мэв, работающего в импульсном режиме,

создана автоматизированная лаборатория по измерению нейтронных констант для расчета реакторов на быстрых нейтронах. Работой ускорителя управляют две машины типа СДС-160А, которые вместе с дополнительной промежуточной памятью на 8000 ячеек составляют комплекс с памятью 24 000 ячеек. Они выбирают оптимальный режим для получения нейтронов заданной энергии — выбирают энергию протонов и угол вылета нейтронов для реакции $Li^7(p, n)Be^7$, вычисляют и устанавливают порог счетчика для устранения фона, подают команду об измерениях без образца, а затем о постановке образца. Измерения ведутся до заданной статистической точности, после достижения которой рассчитываются и выводятся сечения. Затем автоматически начинаются измерения для следующей энергии нейтронов, отличающейся от предыдущей на заданное значение, которое обычно равно неопределенности в энергии. В результате получается зависимость сечения от энергии. Применение ЭВМ значительно повышает производительность труда научных работников и сокращает численность обслуживающего персонала.

Из работ по созданию новых ускорителей заряженных частиц можно отметить следующие.

В АНЛ разработан проект секторного циклотрона с диаметром полюсов 432 см для получения пучков легких и тяжелых ионов (HIVEC). Ускоритель представляет собой увеличенный вариант существующих циклотронов такого типа. Проектные параметры циклотрона приведены в таблице.

Ускорение тяжелых ионов будет происходить на основной и на третьей гармонике. Частоту можно изменить в три раза. Циклотрон предназначен для исследований по физике атомного ядра, физике твердого тела, а также для производства изотопов, в том числе изотопов трансурановых элементов.

В ОРНЛ изучается проект циклотрона с разделенными орбитами. Идея его предложена Расселом в 1962 г. В основе работы циклотрона лежат два принципа — принцип изохронного циклотрона и линейного ускорителя; в нем имеются секторные магниты (15—20), на каждом из которых расположены полюсные наконечники (до 15—30), создающие магнитное поле с большим градиентом в области орбиты (до 1 кгс/см). Число наконечников равно числу витков орбиты; расстояния между соседними наконечниками соответствуют расстоянию между орбитами. Фокусировка пучка осуществляется так же, как в синхротроне с переменным градиентом. Резонаторы, возбуждаемые на гармонике орбитальной частоты, располагаются между секторными магнитами. В ускорителе такого типа сравнительно просто решается проблема вывода пучка.

Разработан план создания лаборатории с тремя такими ускорителями на энергии 10—50, 50—350 и 350—1000 Мэв. Проектные характеристики первого циклотрона следующие: энергия 10—50 Мэв, ток

Проектные параметры ускорителя HIVEC

Параметры пучка	H+	D+	He ²⁺	N ²⁺ —N ⁵⁺	O ²⁺ —O ⁵⁺	C ²⁺ —C ⁴⁺	Ne ²⁺ —Ne ⁵⁺	A ³⁺ —A ⁸⁺
Максимальная энергия, Мэв	120—150	120	240	134—600	118—600	162—480	98—600	108—760
Число ионов во внешнем пучке в 1 сек, $\times 10^{13}$	630	630	315	520—1	370—0,3	208—6	310—0,3	280—0,3

75 ма, высокочастотная мощность 3600 квт, вес железа 460 т, вес меди 30 т, пиковое напряжение резонатора 260 кв, частота 50 Мгц, радиус пучка 3,3—7,3 мм, инжектор — линейный ускоритель на 10 Мэв, фор-инжектор — каскадный генератор на 0,75 Мэв.

Расчеты показывают, что из-за кулоновского расталкивания ток ограничивается величиной ~1 а. Ускорители такого типа могут быть использованы в качестве источников вторичных частиц — нейтронов, мезонов, радиоактивных ядер (He⁶ и др.).

В Беркли разработан проект ускорителя «Омнитрон» для ускорения тяжелых ионов элементов различных масс, включая уран, до энергий 500 Мэв/нуклон. Принцип ускорения синхрофазотронный с частотой магнитного поля 60 гц. Диаметр основного магнита 28 м, апертура камеры 5,7 × 3,2 см. Инжектор — каскад-

ный генератор с энергией 2 Мэв или линейный ускоритель тяжелых ионов с энергией 10 Мэв/нуклон. Предполагается внутри основного кольца соорудить меньшее дополнительное накопительное кольцо с тем же радиусом кривизны. Оно имеет два назначения: 1) для сброса в него пучка по окончании ускорения и использования на мишени в течение следующего цикла ускорения; 2) очень тяжелые ионы, у которых трудно получить высокую степень поляризации, предварительно ускоряют до малых энергий, после чего пучок переводят в накопитель через ионизатор для ожидания следующего цикла ускорения, а затем вновь ускоряют ионы до 500 Мэв/нуклон. Ускоритель предназначен для изучения сверхтяжелых ядер и для медико-биологических исследований.

Л. П. ПАНИКОВ

Краткие сообщения

Радиоактивные изотопы в машиностроении. В июне 1966 г. в Москве Министерством строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР совместно с Всесоюзным объединением «Изотоп» был проведен семинар по применению радиоизотопных методов и приборов для контроля и автоматизации технологических процессов в строительном, дорожном и коммунальном машиностроении. В работе семинара приняли участие более 100 представителей промышленных предприятий, научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций. Участники семинара заслушали 13 докладов.

В докладе представителя Министерства строительного, дорожного и коммунального машиностроения СССР В. А. Никифорова было отмечено, что применение радиоактивных изотопов научно-исследовательскими организациями и промышленными предприятиями отрасли началось более 40 лет назад. В настоящее время радиационную технику успешно применяют более 40 заводов Министерства. В 1966 г. намечено значительное расширение научно-исследовательских работ в этой области, а также проведение обследования предприятий с целью определения участков, на которых установка радиоизотопных приборов может дать значительный технико-экономический эффект.

Доклад о состоянии и перспективах применения радиоизотопных методов и приборов для научных исследований, контроля и автоматического регулирования технологических процессов в машиностроении сделал В. И. Синицын (Всесоюзное объединение «Изотоп»).

А. Г. Сулькин (Всесоюзный научно-исследовательский институт радиационной техники) рассказал участникам семинара о новых разработках γ-дефектоскопических аппаратов и опыте применения γ-дефектоскопического контроля в машиностроении.

Изучению износа деталей с помощью радиоактивных индикаторов при разработке мероприятий, направленных на повышение долговечности деталей двигателей внутреннего сгорания, было посвящено сообщение Д. Г. Точильникова (Ленинградский институт водного хозяйства).

Г. И. Гильман (завод «Экономайзер», Ленинград) поделился опытом использования радиоактивных индикаторов уровня в системе автоматизации линий пневмотранспорта в литейном производстве. Вопросы применения радиоизотопных приборов в кузнечно-

штамповочном производстве были рассмотрены в докладе представителя Московского станкоинструментального института А. Э. Артеца.

В. А. Рихтер (Всесоюзный научно-исследовательский институт строительного-дорожного машиностроения) в докладе «Применение радиоизотопных методов и приборов в системах дорожных и строительных машин» осветил возможности применения серийно изготавливаемых промышленностью радиоизотопных приборов. Докладчик отметил γ-электронные реле всех типов, предназначенные для регистрации наличия или отсутствия материала в контролируемом пространстве, а также для автоматизации процессов загрузки и выгрузки сыпучих жидких материалов. Гамма-реле могут успешно применяться для автоматического контроля загрузки камнедробилок, автоматизации процессов транспортирования материалов на ленточных транспортерах, измерения уровня материалов в бункерах и закрытых емкостях, имеющих различные геометрические размеры и форму. Гамма-электронные конвейерные весы можно использовать для непрерывного бесконтактного взвешивания нерудных материалов на ленточных транспортерах.

Об опыте применения радиоизотопных методов и приборов на Московском карбюраторном заводе рассказал участникам семинара В. В. Мисожинов. М. И. Толоконников привел данные о работах по внедрению радиоизотопной аппаратуры на Московском автозаводе им. Лихачева.

В результате обсуждения докладов участники семинара отметили, что радиоизотопные методы являются эффективным средством повышения производительности труда, сокращения численности обслуживающего персонала, уменьшения расхода сырья.

Было также рекомендовано предприятиям применять радиоизотопные методы и приборы для автоматизации и контроля таких технологических процессов, как загрузка шихты в вагранки, раздача по рабочим местам формовочных материалов и смесей, поддержание уровня электролитов в гальванических ваннах, учет продукции, бесконтактный контроль толщины неметаллических материалов в процессе производства покрытий, наносимых на неметаллическую основу, гальванических и лакокрасочных покрытий, непрерывное взвешивание и автоматическое дозирование сыпучих материалов и др. Особое место должны занять радиоизотопные методы и приборы в решении задач повышения надеж-