

69. Nuclear Industry, 15, 30 (July 1968); 16, 60 (January 1969).
70. Nucleonics Week, 15 May 1969, p. 6.
71. Mineral Trade Notes, 65, 32 (August 1968).
72. Nuclear Industry, 16, 16, 30 (March 1969).
73. Appl. Atomic, No. 702, 3 (1969).
74. Africa Confidential, 9 May 1969.
75. Mining J., 272, 377 (1969).
76. Appl. Atomic, No. 682, 4 (1968).
77. Appl. Atomic, No. 704, 9 (1969).
78. Nucleonics Week, 21 November 1968, p. 8.
79. Nucl. Engng. International, 14, 173 (1969).
80. Appl. Atomic, No. 689, 4 (1968).
81. Nucleonics Week, 9 May 1968, p. 8; Nucl. Engng International, 14, 411 (1969).
82. Nuclear News, 10, 19 (1967).
83. Atomwirtschaft, 14, 59 (1969).
84. Appl. Atomic, No. 703, 3 (1969).
85. Mineral Trade Notes, 66, 26 (June 1969).
86. Appl. Atomic, No. 706, 4 (1969); Nucleonics Week, 17 April 1969, p. 8.
87. Nucl. Engng, 13, 628 (1968); Atomwirtschaft, 14, 69 (1969).
88. Atomwirtschaft, 14, 107 (1969).
89. Engng and Mining J., 170, 172 (March 1969).
90. Nuclear Industry, 15, 27 (March 1968).
91. Atomwirtschaft, 13, 339, 523 (1968).
92. Mineral Trade Notes, 66, 26 (June 1969); Mining J., 272, 217 (1969).
93. Appl. Atomic, No. 703, 4 (1969); Atomwirtschaft, 14, 156 (1969).
94. Mining J., 272, 237 (1969).
95. Atom, No. 150, 91 (April 1969); Reuter, 18 June 1969.
96. Mining Engng, 21, 32 (March 1969).
97. «Атомная энергия», 24, 255 (1968).
98. Minerals Yearbook — 1967. Washington, 1968, vols 1—II, p. 1172, 1174.
99. Mining Annual Review — 1968. London, 1968, p. 273.
100. Annales des Mines. Juillet — Aout 1968, p. 147.
101. Annual report for 1967—1968, Bombay, Government of India, Department of Atomic Energy, 1968.
102. Wall Street Journal, 27 March 1969, p. 6.
103. Electrical World, 171, 33 (28 April 1969).
104. Nuclear Industry, 15, 20 (August 1968).
105. Engng. and Mining J., 167, 79 (November 1966); 170, 168 (March 1969).
106. Northern Miner, 54, 1 (13 March 1969).
107. Appl. Atomic, No. 673, 4 (1968).
108. Northern Miner, 54, 1 (26 September 1968).
109. Atomwirtschaft, 14, 60 (1969).
110. Annales des Mines, Fevrier 1969, p. 18.
111. Atomwirtschaft, 14, 81 (1969).
112. Engng and Mining J., 170, 12 (April 1969).
113. Nuclear Industry, 16, 26 (March 1969).
114. Nucleonics Week, 17 April 1969, p. 6.
115. Financial Times, 5 May 1969, p. 17; Northern Miner, 54, 1 (24 October 1968).
116. Nucleonics Week, 24 October 1968, p. 6.
117. Nucleonics Week, 27 March 1969, p. 2.
118. Appl. Atomic, No. 709, 7 (1969).
119. The nuclear industry — 1968. Washington, USAEC, 1968, p. 28.
120. The outlook for nuclear energy and the uranium industry. New York, Nuveen Corp., 1968, p. 8.

Ядерные центры Бельгии и Нидерландов

В июне 1969 г. в Бельгии и Нидерландах лobbывала группа советских специалистов в области ядерной физики, которая ознакомилась с основными научными учреждениями этих двух стран, ведущими ядерные исследования. В основном это физические лаборатории различных университетов: Свободного (Протестантского), Гронингского и Утрехтского в Нидерландах, Лувенского, Брюссельского и Гентского в Бельгии. Кроме того, имеются независимые от университетов учреждения, специально созданные для исследований в области ядерной физики и техники. Это реакторный центр Нидерландов в Петтене, Институт ядерных исследований в Амстердаме, Центр ядерных исследований Бельгии в Моле и Межуниверситетский институт ядерных исследований в Брюсселе. На территории Бельгии в Желе находится Бюро ядерных измерений Евратома. Координацию работ в Нидерландах осуществляет организация для фундаментальных исследований материи.

За последние несколько лет и в Бельгии, и в Нидерландах были отпущены большие средства на развитие экспериментальной ядерной физики. В результате существенно обновлена экспериментальная база исследований в этой области. Здесь имеется в виду как сооружение новых ускорителей, так и обновление и развитие физического оборудования, используемого в опытах, выполняемых на новых и старых установках. В 1965 г. в Свободном университете (Амстердам) запущен изохронный циклотрон с максимальной энергией

(по протонам) до 30 Мэв. В настоящее время в Гронингене заканчивается монтаж изохронного циклотрона с максимальной энергией 75 Мэв, запуск которого планируется в начале 1970 г. В 1967 г. в Утрехте введен в действие перезарядный электростатический ускоритель на 12 Мэв. В 1968 г. в Институте ядерных исследований в Амстердаме запущен линейный ускоритель электронов на 97 Мэв, а сейчас подготовлен проект линейного электронного ускорителя на 300 Мэв. В Бельгии Лувенский университет начал сооружение в Отгии изохронного циклотрона на 80 Мэв, который должен быть запущен в 1972 г. Бельгия и Нидерланды принимают активное участие в обсуждающемся сейчас европейском проекте ускорителя на 300 Гэв.

Здания, в которых устанавливаются ускорители, строятся с большими экспериментальными залами, многочисленными лабораториями и вспомогательными помещениями.

Многоканальные анализаторы (главным образом на 4096 каналов) и электронные вычислительные машины являются стандартным оборудованием ядернофизических исследований. Для регистрации ядерных излучений используется широкое разнообразие полупроводниковых детекторов: кремниевых (поверхностно-барьерных, литиевых, прострельных, позиционных) и германиевых (объемом до 50 см³ с разрешением 3—4 кэв по γ -линии Co⁶⁰).

Ниже следует краткое описание отдельных научных центров.

Реакторный центр Нидерландов расположен примерно в 50 км к северу от Амстердама на самом берегу моря около небольшого городка Петтена. Основное оборудование центра составляют реакторы LFR и HFR. Первый имеет наибольшую мощность (10 квт), поток нейтронов $1,5 \cdot 10^{11}$ нейтр/см²·сек и предназначен для получения изотопов, проведения активационного анализа, исследований в области нейтронной физики и обучения персонала. Второй — мощностью 30 Мвт с потоком нейтронов $3 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·сек — используется для испытаний твэлов и материалов, физических экспериментов на нейтронных пучках и получения изотопов. Для экспериментов имеется 9 горизонтальных каналов диаметром до 250 мм, из которых используется шесть. Поток на выходе канала составляет $(1 \div 2) \cdot 10^9$ нейтр/см²·сек. В области ядерной физики (используются три канала) ведутся исследования анизотропии и линейной поляризации γ -лучей, испускаемых после захвата нейтронов выстроенными ядрами, спектров γ -лучей захвата тепловых нейтронов легкими ядрами, циркулярной поляризации γ -излучения после захвата поляризованных нейтронов. На одном из каналов установлен трехосный спектрометр для работ по неупругому рассеянию нейтронов в кристаллах. Кроме этого, ведутся также работы по изучению магнитного рассеяния нейтронов, спиновых волн и дифракции нейтронов.

Экспериментальные работы, выполняемые в Институте ядерных исследований в Амстердаме, в основном базируются на двух ускорителях — синхроциклотроне на 50 Мэв, сооруженном в 1949 г., и новом линейном ускорителе электронов, о котором говорилось выше. Энергия электронов линейного ускорителя 97 Мэв, интенсивность пучка 150 ма в пике при среднем токе 100 мка, длительность импульса тока 3 мксек, частота повторения 100 имп/сек, разброс энергии $\Delta E/E$ составляет 0,8% при полной интенсивности пучка и может быть доведен до 0,3% за счет уменьшения тока до 5 ма. Помимо ускорителей имеется магнитный бета-спектрометр с разрешением до 0,015%. Основные направления научных работ Института: радиохимия, β - и γ -спектроскопия (схемы распада ядер с $A > 180$, двумерные спектры γ — γ -совпадений, угловые γ — γ и α — γ -корреляции), исследование взаимодействия электронов с ядрами (упругое и неупругое рассеяние электронов), ядерные реакции. Для изучения корреляций заряженных частиц в ядерных реакциях применяется специальная установка, названная Vol. Она представляет собой сферическую камеру, снабженную 64 полупроводниковыми телескопами. Выходы последних через электронную логическую схему соединены с небольшой вычислительной машиной PDP-8 память — 4096 слов длиной 12 битов, время обращения 1 мксек), используемой для предварительной обработки информации. Вся информация с выхода этой машины поступает в большую машину (X8, память — 32 000 слов длиной 27 битов, время обращения 1,5 мксек) для окончательной обработки. С помощью этой системы регистрируются совпадения между любой парой телескопов. При этом производится разделение частиц по массам и энергиям, а также по месту попадания в телескоп, который координатной сеткой разделен на 100 частей.

Физическая лаборатория Свободного университета имеет отделы: 1) ядерной физики, 2) физики твердого тела, 3) биофизики. Техническую базу отдела ядерной физики составляют изохронный циклотрон, ускоряющий протоны и α -частицы в диапазоне энергий от 4 до 30 Мэв и дейтроны от 3 до 16 Мэв, и каскадный гене-

ратор на 700 квэв, работающий как источник нейтронов. Интенсивность внешнего пучка циклотрона составляет 20 мка для протонов или дейтронов, 5 мка для α -частиц, разброс по энергии $\Delta E/E$ равен 0,3%. Имеется 6 пучков, на которых ведутся работы по изучению полных сечений для нейтронов (в диапазоне энергий 20—30 Мэв), угловых распределений упруго рассеянных нейтронов, взаимодействия в конечных состояниях в реакции $p(d, p, p)n$, по активационному анализу с использованием быстрой пневмопочты. На каскадном генераторе проводится исследование поляризации нейтронов, угловых распределений неупруго рассеянных нейтронов с использованием методики времени пролета и работы по β — γ -спектроскопии.

Физическая лаборатория Утрехтского университета находится примерно в 30 км к югу от Амстердама. Основное экспериментальное оборудование лаборатории составляют электростатический перезарядный ускоритель на 12 Мэв, прецизионный электростатический ускоритель на 3 Мэв с энергетическим разбросом пучка $\Delta E \sim 150$ эв и каскадный генератор на 850 квэв. Основные научные интересы связаны с исследованиями свойств ядер в области $10 \leq Z \leq 20$. На одном из трех пучков перезарядного ускорителя установлен магнитный спектрометр с разделенными полюсами, используемый для исследований спектров протонов из реакции (d, p) . Другое направление исследований, выполняемых на этом ускорителе, — измерения времен жизни ядерных уровней по доплеровскому сдвигу γ -излучения ядра-отдачи в реакции $(d, p\gamma)$. Таким методом измеряются времена в диапазоне от 10^{-11} до 10^{-14} сек. Проводятся также работы по изучению реакции (He^3, d) с целью определения одночастичных состояний. На малом электростатическом ускорителе и каскадном генераторе исследуются аналоговые состояния в $2S$ — $1d$ - и $1f$ -оболочках [главным образом аналоговые резонансы в реакции (p, γ)] и состояния с большими моментами, получаемые в реакциях (α, γ) ; методом доплеровского сдвига измеряются времена жизни уровней, заселяемых в результате реакции (p, γ) .

Гронингский университет расположен в северной части Нидерландов, примерно в 300 км от Амстердама. Физическая лаборатория университета подразделяется на 3 института: 1) ядерной физики, 2) ускорительный, 3) теоретической физики. Институт ядерной физики имеет электростатический ускоритель на 6 Мэв, каскадный генератор на 450 Мэв и мессбауэровские спектрометры. Изучаются схемы распада новых изотопов, получаемых в реакции (n, p) , ведутся измерения поляризации нейтронов из реакции $D + D$, исследуются спектры α -частиц из реакции (p, α) . На мессбауэровских спектрометрах проводятся систематические исследования внутренних магнитных полей, создающихся на ядрах различных элементов при внедрении их в ферромагнитную матрицу методом имплантации. Ускорительный институт еще только создается. Основной установкой будет изохронный циклотрон, ускоряющий протоны до 5—75 Мэв, дейтроны до 10—65 Мэв, ионы He^3 до 15—165 Мэв, α -частицы до 20—130 Мэв. При использовании дополнительного магнитного анализатора разброс энергий во внешнем пучке циклотрона $\Delta E/E$ можно будет довести до $2 \cdot 10^{-4}$. Разрабатывается система внешней инжекции, которая должна быть установлена через два года после запуска ускорителя.

Основной ядерный центр Бельгии — Центр ядерных исследований — расположен вблизи населенного пункта Моль, километрах в 80 от Брюсселя. Общее число работающих в центре 2000 чел., годовой бюджет

19 млн. долл. Основные средства (60%) идут на разработку энергетической установки на базе реактора типа KNK (компактный реактор на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением, используемый как бридер), которая должна будет давать 300 Мвт (эл.). Проект разрабатывается совместно с ФРГ и Нидерландами. Остальные средства идут на теоретические исследования по реактору типа PWR (15%), производство изотопов (12%), фундаментальные исследования (8%) и разработку методов получения актиния из радиевых руд (5%). Основное оборудование центра составляет мощный реактор на тепловых нейтронах (BR2). Мощность реактора 70 Мвт, поток тепловых нейтронов 10^{15} нейтр/см²·сек, поток быстрых нейтронов ($E_n > 1$ Мэв) $4 \cdot 10^{14}$ нейтр/см²·сек. Имеется 13 пучков диаметром 13 см, четыре из которых тангенциальные. Физические исследования, проводимые на реакторе BR2, включают изучение низколежащих нейтронных резонансов с помощью кристаллического спектрометра или медленного прерывателя, измерения спектров γ -лучей после захвата тепловых нейтронов на образцах с разделенными изотопами, работы по получению стандартных опорных сечений на тепловых нейтронах. Кроме этого, ведутся исследования по физике твердого тела. В центре имеется также малый графитовый реактор BR1, который используется для исследований запаздывающих нейтронов.

В нескольких километрах от Моля, в Желе, находится международный центр, включающий, в частности, центральное бюро ядерных измерений Евратома. Главная задача Бюро — создание ядерных стандартов. Персонал Бюро — 175 чел., годовой бюджет 3 млн. долл. Значительную долю деятельности составляют нейтронные измерения, которые проводятся на двухсекционном линейном ускорителе электронов. Длительность импульса тока ускорителя может меняться от 10 нсек (при энергии 70 Мэв, токе в пике 3 б а) частоте повторения 1000 гц и потоке нейтронов в импульсе 10^{18}) до 3 мсек (при энергии 42 Мэв, токе 0,5 а, частоте повторения 250 гц и выходе нейтронов $6 \cdot 10^{16}$). Измерения ведутся на 12 протечных базах с длинами от 10 до 400 м. Предварительная обработка данных, регистрируемых пятью анализаторами по 4096 каналов и двумя анализаторами на магнитной ленте, выполняется малой электронной вычислительной маши-

ной IBM-1800, которая может также использоваться в линию с экспериментом при измерениях полных сечений. Для окончательной обработки результаты по телефонной линии длиной около 1000 км передаются на машину IBM-7090 в Испре (Италия). Основные усилия направляются на измерения спектров γ -лучей, определение спинов нейтронных резонансов оригинальным, разработанным в Бюро методом, изучение взаимодействия нейтронов с делящимися ядрами. В Бюро имеется также масс-спектрометрическая лаборатория, располагающая восьмью масс-спектрометрами, которые позволяют проводить точный анализ изотопных смесей твердых тел (от лития до плутония) и газов (для $A < 150$). Кроме того, работает импульсный электростатический ускоритель на 3 Мэв с длительностью импульса 1 нсек при среднем токе 5 мка, на котором изучается упругое и неупругое рассеяние нейтронов.

Научные перспективы Центра по ядерной физике Лувенского университета связаны с сооружением нового изохронного циклотрона, запуск которого намечен на 1972 г. На нем будут ускоряться протоны в диапазоне энергий от 10 до 80 Мэв, дейтроны — от 10 до 40 Мэв, α -частицы — от 20 до 80 Мэв и ионы He³ — от 20 до 120 Мэв. Кроме того, планируется ускорение ионов углерода. Разброс энергий $\Delta E/E$ составит ~0,4%. В настоящее время в небольшом поселке Оттини начато строительство здания циклотрона. Техническую базу исследований, ведущихся в области ядерной физики, составляют старый циклотрон, на котором сейчас ускоряются главным образом α -частицы до энергий 23 Мэв, и электростатический ускоритель на 4 Мэв. Лаборатория по ядерной физике Гентского университета базируется на самодельном линейном ускорителе электронов (энергия пучка 40 Мэв, ток в пике 200 ма, длительность импульса тока 3,5 мсек, частота повторения 50 гц). Ведутся исследования фото-ядерных реакций, а также короткопериодных изомеров. Большое внимание уделяется проекту получения монокроматического пучка позитронов. Кроме линейного ускорителя лаборатория имеет реактор малой мощности (15 квт) и нейтронный генератор, которые широко используются для активационного анализа различных материалов.

В. И. МАНЬКО

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

♦ В июле — августе 1969 г. в Советском Союзе проведены учебные курсы по переработке и захоронению радиоактивных отходов для специалистов 14 развивающихся стран — членов Международного агентства по атомной энергии. Курсы организованы Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР по соглашению с МАГАТЭ.

На семинаре были прочитаны лекции по организации в учреждениях, на предприятиях и в лабораториях Советского Союза сбора, транспортировки, переработки и захоронению жидких, твердых и газообразных радиоактивных отходов, которые образуются в процессе работы этих организаций. Особое внимание было

уделено вопросам практического использования различных методов обезвреживания отходов, а также возможным трудностям и неполадкам, которые могут возникнуть при создании и эксплуатации в развивающихся странах очистных сооружений и станций захоронения. Большой интерес участников курсов вызвали разделы лекций, касающиеся положений советского законодательства в проблеме переработки и захоронения радиоактивных отходов, а также дозиметрического и санитарно-гигиенического контроля внешней среды.

После семинара специалисты развивающихся стран познакомались в нескольких институтах и учреждениях

с практической организацией сбора, переработки и захоронения радиоактивных отходов. Они посетили Ново-Воронежскую атомную электростанцию, Радиевский институт им. В. Г. Хлопина, Ленинградский институт радиационной гигиены, Научно-исследовательский институт атомных реакторов, Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова, Московскую станцию очистки, Центральную станцию радиационной безопасности Мосгорисполкома, Московский демонстрационный зал Всесоюзного общества «Изотоп» и павильон «Атомная энергия» на ВДНХ.

Н. Р.