

твердым телом» (ЭНИН), Н. Заке, В. Страупмане (Институт энергетике — ИЭ, Рига) «Влияние примеси твердых частичек на электропроводность высокотемпературной азотной струи» и т. д.

Плазмотроны нашли широкое применение в плазменной металлургии. На конференции обсуждались применение плазмотронов для скоростной непрерывной плавки некоторых материалов (В. М. Турулин, НИИ-ЦЕММАШ), получение полупроводниковых и тугоплавких материалов в низкотемпературной плазме (Г. Я. Умаров, С. Е. Ерметов, Ф. Р. Каримов, Физико-технический институт, Ташкент), разработка и исследование электродуговых подогревателей газов для прямого получения железа на опытной установке, резки и зачистки проката черных металлов (Н. П. Беленко, И. И. Морев, Б. С. Де, Политехнический институт, Алма-Ата), получение вольфрама методом плазменной металлургии (Н. Н. Рыкалин, ИМЕТ, Москва), разработка электродуговых генераторов низкотемпературной плазмы для бурения горных пород и т. д.

Конференция продемонстрировала также успехи плазмохимии. В этой области можно отметить работы Л. С. Полака и В. С. Щипачева (ИНХС) «Получение связанного азота из воздуха и воды в плазменной струе и оптимизация этого процесса», Ф. Г. Вурзеля и Л. С. Полака «Получение неперелых соединений из жидких и газообразных углеводородов в плазменной струе», а также другие работы. Практическое значение этих работ очевидно.

В целом прекрасно организованная конференция (организатор — Институт теоретической и прикладной механики СО АН СССР) внесла существенный вклад в понимание физики низкотемпературной плазмы и дала важные практические результаты как по экспериментальным методикам, так и по промышленному использованию низкотемпературной плазмы.

Труды конференции будут опубликованы в журнале «Теплофизика высоких температур» АН СССР.

Л. П. Кудрин

## Современные тенденции в активационном анализе

В апреле 1965 г. в Колледж-Стейшен (США, шт. Техас) МАГАТЭ, Евратом, КАЭ США и Техаский университет провели Международную конференцию по активационному анализу. В работе конференции приняло участие около 450 ученых и специалистов из 28 стран, в том числе из Бельгии, Великобритании, Венгрии, СССР, США, Франции, Японии. Представлено более 70 докладов.

На конференции были обсуждены современные тенденции в активационном анализе, в частности: общие проблемы активационного анализа, получение сверхчистых материалов, активация заряженными частицами и нейтронами переменной энергии, ядерные реакции, наиболее приемлемые для этих целей, новые радиохимические методы, средства активационного анализа, методики измерений и обработки их результатов с применением средств вычислительной техники, а также некоторые аспекты использования методов активационного анализа в науке и промышленности.

Среди сообщений, посвященных общим вопросам элементного анализа состава вещества, обращает внимание доклад А. Смайла (Великобритания), который сделал попытку оценить роль активационного анализа в исследованиях сверхчистых материалов и показал его преимущество по сравнению с другими аналитическими способами анализа элементного состава вещества.

Представители Национального бюро стандартов США рассказали о программе, позволяющей существенно расширить возможности активационного анализа. Эта программа предусматривает создание реактора мощностью 10 Мвт, линейного ускорителя электронов до энергий 100 Мэв и других источников ядерных излучений, обеспечивающих получение потоков нейтронов с плотностью до  $3 \cdot 10^{14}$  нейтр/см<sup>2</sup>·сек. Было также сообщено, что методом активационного анализа определялось содержание теллура в эталонах белого чугуна и патронной латуни, которое составило от  $16 \cdot 10^{-5} \pm 7 \cdot 10^{-5}$  до  $33 \cdot 10^{-4} \pm 7 \cdot 10^{-4}\%$  для патронной латуни и от  $4 \cdot 10^{-3} \pm 6 \cdot 10^{-4}$  до  $7,5 \cdot 10^{-2} \pm 4 \cdot 10^{-2}\%$  для чугуна. Эти результаты сравнимы с результатами, полученными спектроскопическим методом.

В одном из докладов сообщалось о применении в Ок-Риджской национальной лаборатории ускорителя типа

Ван де Граафа, ускоряющего ионы He<sup>3</sup> до энергии 10 Мэв, для определения содержания кислорода в поверхностных слоях материалов. Образцы Fe, Ge, Si, Be и эталона ZrO<sub>2</sub> и SiO<sub>2</sub> облучались в течение 1 мин. В облученных образцах измерялось излучение F<sup>17</sup> и O<sup>15</sup>, что позволило определить содержание кислорода с точностью до  $2 \cdot 10^{-10}$  г. Для анализа содержания металлоидов в ядерных материалах использовался линейный ускоритель электронов (до 40 Мэв), а также циклотрон, ускоряющий α-частицы до энергии 44 Мэв и протоны до 30 Мэв. Проведенные исследования активации заряженными частицами показали возможность определения содержания кислорода, углерода и азота в ядерных материалах с чувствительностью  $10^{-7}$ — $10^{-9}$  г.

На конференции обсуждались также методы определения элементного состава вещества по регистрации спектра γ-излучения, возникающего в результате захвата нейтронов, и вторичным реакциям.

В настоящее время главными трудностями при проведении активационного анализа являются возможность интерференции наведенного излучения, возникающего при таких реакциях, как (n, p), (n, α), (n, 2n), (n, n<sup>1</sup>), и вероятность образования одного и того же изотопа при активации вещества, являющегося смесью элементов. Для существенного облегчения задачи разделения спектров предложено облучать образцы потоком нейтронов переменной энергии, что позволит ввести дополнительный критерий различия элементов по способности образца активироваться в зависимости от величины энергии облучающих частиц.

В докладах и других материалах конференции большое внимание уделялось генераторам нейтронов. В таблицах приведены данные о стационарных ускорителях, используемых для нейтронного активационного анализа в некоторых зарубежных странах (табл. 1), генераторах нейтронов типа Кокрофта — Уолтона, применяемых для этих же целей (табл. 2) и генераторах нейтронов с нейтронными трубками (табл. 3). Несмотря на значительное разнообразие типов генераторов нейтронов, большинство их представляют собой сложные громоздкие устройства, малоудобные для использования в промышленных условиях.

Таблица 1

Стационарные ускорители, используемые для нейтронного активационного анализа

Ускоритель	Страна	Стоимость, тыс. долл.	Реакция образования нейтронов	Ускоряющее напряжение, кВ	Длительность импульса, мксек	Частота повторения импульсов, гц	Максимальный средний выход нейтронов, нейтр/сек	Состав мишени
15P2F (циклотрон)	США	175	<i>d</i> -Be	—	—	—	$5 \cdot 10^{13}$	Be
AN-400	»	45	<i>d-t</i> , <i>d</i> -Be	400	10—200	$1-10^4$	$2 \cdot 10^{10}$	<i>t</i> на Zr
KN-500	»	72	<i>d-t</i> , <i>d</i> -Be	500	10—3000	$1-10^4$	$2 \cdot 10^{11}$	<i>t</i> на Ti
AN-2000	»	75	<i>d-t</i> , <i>d</i> -Be	2000	10—3000	$1-10^4$	$3 \cdot 10^{11}$	Be
ICT-500	»	250	<i>d-t</i> , <i>d</i> -Be	500	10—3000	$1-10^4$	$3 \cdot 10^{12}$	
DN-300	»	50	<i>d-t</i> , <i>d-d</i>	300	от 3 до пост. тока	$33,3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
DN-300A	»	65	<i>d</i> -Be	300	» 3 » » »	$33,3 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^{12}$	Ti- <i>t</i>
J	Франция	2,3	<i>d-t</i>	150	10—8000	$10-10^4$	$2,5 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
T	»	3,6	<i>d-t</i>	400	10—8000	$10-10^4$	$5 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
(9401, 9405)	США	12,5	<i>d-t</i> ( <i>d-t</i> )	0—100	1—10 000	$10-10^5$	$2 \cdot 10^{10}$	Ti- <i>t</i>
9700 (9704)								
NGH-150	Великобритания		<i>d-d</i>	150	4—2300	—	$6 \cdot 10^{10}$	Ti- <i>t</i>

Таблица 2

Ускорители типа Кокрофта — Уолтона, используемые для нейтронного активационного анализа

Ускоритель	Страна	Стоимость, тыс. долл.	Реакция образования нейтронов	Ускоряющее напряжение, кВ	Длительность импульса, мксек	Частота повторения импульсов, гц	Максимальный средний выход нейтронов, нейтр/сек	Состав мишени
A-900	США	9,75	<i>d-t</i>	0—100	0,02	$2,5-10^5$	$> 10^9$	Ti- <i>t</i>
A-1000	»	18,0	<i>d-t</i>	0—160	0,02	$2,5-10^5$	$5 \cdot 10^{10}$	Ti- <i>t</i>
A-1001	»	20,0	<i>d-t</i>	0—205	0,02	$2,5-10^5$	$> 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
A-1002	»	12,5	<i>d-t</i>	0—150	0,02	$2,5-10^5$	$> 5 \cdot 10^{10}$	Ti- <i>t</i>
A-1004	»	14,5	<i>d-t</i>	0—205	0,02	$2,5-10^5$	$> 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
A-1005	»	12,0	<i>d-t</i>	0—140	0,02	$2,5-10^5$	$10^{10}$	Ti- <i>t</i>
A-1250	»		<i>d-t</i>	0—205	0,02	$2,5-10^5$	$2 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
Тадпит	Великобритания	54,0	<i>d-t</i> ( <i>d</i> , <i>p</i> )	250	He импульсный	He импульсный	$10^{12}$	Ti- <i>t</i>
111	США	17,2	<i>d-t</i>	200	2—1000	$5-10^5$	$2 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
210A	»	9,2	<i>d-t</i>	150	2—1000	$5-10^5$	$2 \cdot 10^{10}$	Ti- <i>t</i>
9900	»	22,5	<i>d-d</i> , <i>d-t</i>	0—150	1—10 000	$10-10^5$	$2,5 \cdot 10^{11}$	Ti- <i>t</i>
(9901, 9905)			( <i>d</i> , <i>t</i> )					
9400	»	19,5	<i>d-t</i> ( <i>d</i> , <i>t</i> )	0—150	1—10 000	$10-10^5$	$10^{11}$	Ti- <i>t</i>

Таблица 3

Генераторы нейтронов с нейтранными трубами

Генераторы	Страна	Стоимость, тыс. долл.	Реакция образования нейтронов	Ускоряющее напряжение, кв	Длительность импульса, мксек	Частота повторения импульсов, кгц	Максимальный средний выход нейтронов, нейтр/сек	Состав мишени
GN-312	США	7	$d-t (d, t)$	0—125	15—1000	0—15 000	$2 \cdot 10^8$	Ti на Ag
315/5	Великобритания	1,4	$d-t (d, t)$	120	—	~10 000	$10^{10}$	Er-d, t
N								
A-700	США	3,2	$d-t$	0—120	5000	60	$> 10^8$	Ti-t
A-702	»	7,2	$d-t$	0—120	5000	60	$10^9$	Ti-t
A-703	»	13,7	$d-t$	0—150	$< 10$	1	$3 \cdot 10^8/мм$	Ti-t
A-704	»	16,5	$d-t$	0—170	$< 10$	6/мин	$3 \cdot 10^7/мм$	Ti-t
A-800	»	7,2	$d-t$	0—120	3,5	1—10	$10^7$	Ti-t
Трубка	»		$d-t (d, t)$	125	3—3000	$10-10^4$	$2 \cdot 10^8$	Ti-t-d
Трубка	Франция		$d-t$	150	2	10	$4 \cdot 10^7$	Cu-Ti-t
A-801	США	8,5	$d-t$	0—140	3,5	1—10	$10^9$	Ti-t

Таблица 4

Лаборатории и установки активационного анализа США

Фирма	Способ выполнения анализов	Источники частиц	Генераторы нейтронов	Количество анализов за 8-часовой рабочий день	Величина образца	Стоимость анализа кислорода в стали (долл./образец) при анализе			Стоимость анализа мышьяка в органических материалах (долл./образец) при анализе		
						1 образец	10 образцов	100 образцов	1 образец	10 образцов	100 образцов
«Дженерал атомик»*	Радиохимический и электронно-физический	Реактор с потоком медленных нейтронов $2 \cdot 10^{12}$ — $3 \cdot 10^{13}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> и быстрых $4 \cdot 10^{12}$ — $5 \cdot 10^{13}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> ; линейный ускоритель на 45 Мэв	3 генератора (медленный поток $5 \cdot 10^8$ и быстрый $5 \times 10^9$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> )	500	до 20 см <sup>3</sup>	75	20	15	125	25	18
«Ньюклар сайенс энд энджиниринг»	Те же	Реакторы с потоком нейтронов до $10^{14}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup>	—	50	до 100 г						
«Тексас энджиниринг эксперимент стейшн»*	Электронно-физический	Реактор мощностью 100 квт с потоком нейтронов до $10^{12}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup>	Генератор на 150 кв (медленный поток $5 \cdot 10^7$ и быстрый $3 \cdot 10^8$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> )	150—180	1 г	25	10	5	50	25	10
«Юнион карбид»	Радиохимический и электронно-физический	Реактор мощностью 5 Мвт с потоком нейтронов $10^{11}$ — $10^{14}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup>	—	120	до 10 г	Не установлена			122	32	23
«Уэстерн Нью-Йорк Ньюклар ресерч сентер»*	Те же	Реактор мощностью 2 Мвт с потоком медленных нейтронов $4 \cdot 10^{13}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> и быстрых $4 \cdot 10^{13}$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> ; протонный ускоритель с потоком быстрых нейтронов $10^7$ нейтр/сек.см <sup>2</sup> ; ускоритель Ван де Граафа на 1,5 Мэв	—	24—50	до 10 г	20	15	15	50	15	12

\* Лаборатории фирмы располагают вычислительной машиной.

Многие ускорители типа Кокрофта — Уолтона (см. табл.) снабжены устройствами роторного типа, обеспечивающими смену мишеней, что существенно увеличивает непрерывное время работы генератора.

Разработаны генераторы с нейтронными трубками, в которых производится возобновление мишени. Для увеличения выхода нейтронов и срока службы генератора мишень трубки типа 314/5 английской фирмы «Эллиот» выполняется из эриля, насыщенного тритием, а ионный ток состоит из дейтронов и тритонов; тритиевая составляющая ионного тока обновляет мишень в процессе работы трубки.

Доклад Г. И. Кирьянова был посвящен анализу работы высоковольтных импульсных устройств генераторов нейтронов.

С целью уменьшения влияния комптоновской области спектра  $\gamma$ -излучения облученных образцов на результаты измерений широко применяются схемы совпадений, в которых детектор выполняется в виде оптически совмещенной концентрической системы двух кристаллов  $\text{NaJ}(\text{Te})$  и  $\text{CsJ}(\text{Te})$  размерами соответственно  $\sim 76,2 \times 76,2$  и  $127 \times 127$  мм.

Доклад Б. Г. Егизарова, О. А. Карпухина и В. В. Матвеева был посвящен рациональному построению комплекса измерительных средств при активационном анализе.

В нескольких докладах отмечено, что вычислительные машины находят все большее применение. Для обработки результатов по  $\gamma$ -спектрам широко применяется метод наименьших квадратов. Сочетание этого метода с методом комбинированных спектров дает наивысшую точность в определении содержания искомого элемента в веществе.

Основными требованиями к программам, применяемым при спектрометрии наведенной активности в образцах, являются высокая точность результатов при наименьшем количестве проб (попыток) и низкая стоимость анализа. Эти критерии были оценены методом наименьших квадратов.

В ядерном центре Техасского университета с помощью вычислительных машин, управляющих процессом инструментального анализа, производительность лабораторий активационного анализа доведена до 800 образцов за 8-часовой рабочий день.

Техасская ядерная корпорация разработала промышленную систему активационного анализа, состоящую из автоматически управляемого устройства, регистрирующего нейтроны, генератора нейтронов, двух спектрометров и четырехканального анализатора. Срок службы мишени генератора нейтронов увеличен за счет вращения сборки мишеней. Система позволяет измерять содержание C, O, Si, Al в угле непосредственно на ленте конвейера. Генератор нейтронов расположен относительно детекторов на расстоянии, которое проходит лента конвейера примерно за 40 сек. Содержание углерода и кислорода определяется по результатам неупругого рассеяния быстрых нейтронов. Содержание Si, Al определяется по активации быстрыми нейтронами. Испытания системы показали, что по содержанию Al и Si зольность угля определяется с хорошей точностью, а данные о содержании O дают сведения о влажности угля.

Эта же корпорация использовала генератор нейтронов с ускорителем типа Кокрофта — Уолтона на 150 кВ для определения азота в резине, влияющего на ее физические свойства. В этом случае четыре образца резины облучаются одновременно в течение 5 мин и через 2 мин измеряется наведенная активность. По данным измерений поддерживается содержание азота в резине от 3 до 5% при ошибке  $\pm 1\%$ . Общее время анализа четырех образцов составляет 20 мин.

В настоящее время в США функционирует несколько крупных ядерных центров (табл. 4), производящих коммерческий нейтронный активационный анализ. Эти ядерные центры оборудованы реакторами, генераторами нейтронов, транспортными устройствами и т. д.

В период работы конференции в спортивном зале Техасского университета была открыта выставка приборов и оборудования, применяемого при активационном анализе состава вещества. Экспонировались генераторы нейтронов различных видов, временные и амплитудные анализаторы, измерители доз и потоков нейтронов и другая аппаратура, изготовленные в США, Великобритании и Италии.

Делегатам была предоставлена возможность ознакомиться с исследовательским ядерным центром Техасского университета, включающим лаборатории автоматического активационного анализа.

Г. И. Кирьянов

## ХРОНИКА, СООБЩЕНИЯ

### Мирный атом на Будапештской международной промышленной ярмарке

В мае 1965 г. в Будапеште проходила Международная промышленная ярмарка, традиционным участником которой является Советский Союз.

Кроме Советского Союза в ярмарке приняли участие 34 страны. Свою продукцию показывали также немецкие, американские, английские и другие фирмы, экспонаты которых были представлены в отраслевых павильонах («Приборостроение», «Машиностроение» и др.).

В павильоне СССР (рис. 1) центральное место занимала экспозиция «Атом для мира», которая пользовалась большим успехом.

Здесь демонстрировались макеты блоков Ново-Воронежской и Белоярской атомных электростанций,

высокотемпературного реактора-преобразователя «Ромашка», атомного ледокола «Ленин».

Особый интерес вызвала действующая модель радиоизотопного источника тока «Бета-2»\*, которая показывалась в комплекте с автоматической метеорологической станцией АРМС-Н (рис. 2).

Всегда многолюдно было у стендов, где демонстрировались макеты установок Объединенного института ядерных исследований: синхрофазотрона на 10 Гэв и ускорителя многозарядных ионов с диаметром полюсов 300 см, а также макеты термоядерных установок

\* См. «Атомная энергия», 18, 545 (1965).

Многие ускорители типа Кокрофта — Уолтона (см. табл.) снабжены устройствами роторного типа, обеспечивающими смену мишеней, что существенно увеличивает непрерывное время работы генератора.

Разработаны генераторы с нейтронными трубками, в которых производится возобновление мишени. Для увеличения выхода нейтронов и срока службы генератора мишень трубки типа 314/5 английской фирмы «Эллиот» выполняется из эриля, насыщенного тритием, а ионный ток состоит из дейтронов и тритонов; тритиевая составляющая ионного тока обновляет мишень в процессе работы трубки.

Доклад Г. И. Кирьянова был посвящен анализу работы высоковольтных импульсных устройств генераторов нейтронов.

С целью уменьшения влияния комптоновской области спектра  $\gamma$ -излучения облученных образцов на результаты измерений широко применяются схемы совпадений, в которых детектор выполняется в виде оптически совмещенной концентрической системы двух кристаллов  $\text{NaJ}(\text{Te})$  и  $\text{CsJ}(\text{Te})$  размерами соответственно  $\sim 76,2 \times 76,2$  и  $127 \times 127$  мм.

Доклад Б. Г. Егизарова, О. А. Карпухина и В. В. Матвеева был посвящен рациональному построению комплекса измерительных средств при активационном анализе.

В нескольких докладах отмечено, что вычислительные машины находят все большее применение. Для обработки результатов по  $\gamma$ -спектрам широко применяется метод наименьших квадратов. Сочетание этого метода с методом комбинированных спектров дает наивысшую точность в определении содержания искомого элемента в веществе.

Основными требованиями к программам, применяемым при спектрометрии наведенной активности в образцах, являются высокая точность результатов при наименьшем количестве проб (попыток) и низкая стоимость анализа. Эти критерии были оценены методом наименьших квадратов.

В ядерном центре Техасского университета с помощью вычислительных машин, управляющих процессом инструментального анализа, производительность лаборатории активационного анализа доведена до 800 образцов за 8-часовой рабочий день.

Техасская ядерная корпорация разработала промышленную систему активационного анализа, состоящую из автоматически управляемого устройства, регистрирующего нейтроны, генератора нейтронов, двух спектрометров и четырехканального анализатора. Срок службы мишени генератора нейтронов увеличен за счет вращения сборки мишеней. Система позволяет измерять содержание C, O, Si, Al в угле непосредственно на ленте конвейера. Генератор нейтронов расположен относительно детекторов на расстоянии, которое проходит лента конвейера примерно за 40 сек. Содержание углерода и кислорода определяется по результатам неупругого рассеяния быстрых нейтронов. Содержание Si, Al определяется по активации быстрыми нейтронами. Испытания системы показали, что по содержанию Al и Si зольность угля определяется с хорошей точностью, а данные о содержании O дают сведения о влажности угля.

Эта же корпорация использовала генератор нейтронов с ускорителем типа Кокрофта — Уолтона на 150 кВ для определения азота в резине, влияющего на ее физические свойства. В этом случае четыре образца резины облучаются одновременно в течение 5 мин и через 2 мин измеряется наведенная активность. По данным измерений поддерживается содержание азота в резине от 3 до 5% при ошибке  $\pm 1\%$ . Общее время анализа четырех образцов составляет 20 мин.

В настоящее время в США функционирует несколько крупных ядерных центров (табл. 4), производящих коммерческий нейтронный активационный анализ. Эти ядерные центры оборудованы реакторами, генераторами нейтронов, транспортными устройствами и т. д.

В период работы конференции в спортивном зале Техасского университета была открыта выставка приборов и оборудования, применяемого при активационном анализе состава вещества. Экспонировались генераторы нейтронов различных видов, временные и амплитудные анализаторы, измерители доз и потоков нейтронов и другая аппаратура, изготовленные в США, Великобритании и Италии.

Делегатам была предоставлена возможность ознакомиться с исследовательским ядерным центром Техасского университета, включающим лаборатории автоматического активационного анализа.

Г. И. Кирьянов

## ХРОНИКА, СООБЩЕНИЯ

### Мирный атом на Будапештской международной промышленной ярмарке

В мае 1965 г. в Будапеште проходила Международная промышленная ярмарка, традиционным участником которой является Советский Союз.

Кроме Советского Союза в ярмарке приняли участие 34 страны. Свою продукцию показывали также немецкие, американские, английские и другие фирмы, экспонаты которых были представлены в отраслевых павильонах («Приборостроение», «Машиностроение» и др.).

В павильоне СССР (рис. 1) центральное место занимала экспозиция «Атом для мира», которая пользовалась большим успехом.

Здесь демонстрировались макеты блоков Ново-Воронежской и Белоярской атомных электростанций,

высокотемпературного реактора-преобразователя «Ромашка», атомного ледокола «Ленин».

Особый интерес вызвала действующая модель радиоизотопного источника тока «Бета-2»\*, которая показывалась в комплекте с автоматической метеорологической станцией АРС-Н (рис. 2).

Всегда многолюдно было у стендов, где демонстрировались макеты установок Объединенного института ядерных исследований: синхрофазотрона на 10 Гэв и ускорителя многозарядных ионов с диаметром полюсов 300 см, а также макеты термоядерных установок

\* См. «Атомная энергия», 18, 545 (1965).