

Сопоставление измеренных и расчетных спектров в быстрых физических сборках обсуждалось в докладах Э. Беннетта, А. Брумфильда, К. Прескитта. Сопоставление теории с серией измерений на сборках ZPR обнаружили систематические расхождения, которые нельзя объяснить ни ошибками измерений, ни, вероятно, гетерогенным эффектом. Расхождения наблюдаются главным образом в окрестностях сильных резонансов (натрия, железа, кислорода). Сравнение измеренных спектров на сборках ZEBRA с расчетами также выявило плохое согласие вблизи сильных резонансов. Кроме того, отношение расчетных и измеренных потоков в широких энергетических интервалах указывает на систематическую переоценку расчетных потоков в области энергий нейтронов 3—30 кэВ. На это же указывает и отношение сечений делений  $U^{238}/Pu^{239}$ , которое в расчетах оказалось ниже экспериментального на 10—15%.

Анализ результатов измерений на STSF выявил, что измеренный спектр нейтронов в сравнении с расчетным имеет больше нейтронов в области низких энергий ( $\sim 3$  кэВ).

Совещание показало, что, во-первых, в настоящее время имеются реальные возможности для изучения спектров нейтронов в быстрых физических сборках с необходимой точностью, во-вторых, анализ имеющихся экспериментальных данных показывает, что необходимы уточнения методов расчета и групповых сечений (особенно вблизи сильных резонансов), и, в-третьих, необходимо развитие эффективных расчетных методов, с помощью которых можно будет воспользоваться богатой информацией, содержащейся в измеренных спектральных распределениях.

Ю. А. КАЗАНСКИЙ

## Научно-техническая конференция и выставка СЭВ изделий ядерного приборостроения в Лейпциге

В конце 1970 г. на территории Лейпцигской ярмарки была открыта III выставка СЭВ изделий ядерного приборостроения под девизом «Атом — миру». Одновременно с выставкой проходила научно-техническая конференция «Радиоизотопные приборы и аппаратура для радиоизотопных лабораторий». В работе конференции приняли участие около 150 представителей стран — членов СЭВ, было прочитано около 100 докладов. Доклады были разбиты по тематике на три секции: 1) радиоизотопные приборы для промышленных радиоизотопных лабораторий; 2) ядерные медицинские приборы и методики; 3) дозиметры и детекторы ядерных излучений.

На секции радиоизотопных приборов были рассмотрены аналитические и спектрометрические приборы, радиометрия и изотопное приборостроение. Об эффективном применении аналитических приборов для определения плотности серебра в фотографических эмульсиях доложил В. Дитч (ГДР). Простые и надежные рентгенорадиометрические приборы с интегральной селекцией импульсов дают существенную экономию серебра. На выставке были представлены советские рентгенорадиометрические приборы: «Феррит» для анализа на железо и переносный прибор «Гипнос» для анализа молибденовых руд в естественном залегании с содержанием выше 0,02%.

В докладе А. В. Доленко и др. (СССР) сообщалось о результатах использования гамма-резонансного прибора МАК-1 на месторождениях олова и о новом лабораторном автоматическом определителе касситерита АЛОК-1.

В докладе О. К. Николаенко и др. (СССР) рассмотрены установка для нейтронноактивационного одноэлементного анализа К-1 «Кислород», ее конструкция, методика анализа и практические результаты. Порог обнаружения кислорода составляет  $3 \cdot 10^{-4}\%$  при потоке  $6 \cdot 10^8$  нейтр./сек. Чувствительность определения кислорода, равная  $10^{-5}\%$ , достигнута в другой установке нейтронноактивационного анализа, описанной в докладе Б. Г. Егизарова и др. (СССР). В установку входит вычислительное устройство для определения содержания компонента. В этом же докладе описана аппаратура универсальной лаборатории активацион-

ного анализа со сцинтилляционным и полупроводниковым спектрометрами, 1024-канальным анализатором и устройством связи с ЭВМ для обработки информации по предложенному процессу. Аппроксимация пика и коррекция нелинейности с помощью ЭВМ типа IBM-7040 осуществлялась в гамма-спектрометре с Ge(Li) ППД объемом  $5,3 \text{ см}^3$  и 1024-канальным анализатором, о котором сообщил В. Капишовски (ЧССР).

На конференции и выставке широко были представлены электронные устройства спектрометрических систем. Среди них портативные (весом менее 10 кг) многоканальные анализаторы АИ-256-6 и АИ-1024-6 (С. С. Курочкин, Л. Н. Синева и др., СССР) с экономичным ЗУ на ферритовых сердечниках (мощность 5 Вт) с питанием от аккумуляторов, лабораторные многоканальные анализаторы МТА-512 В и МТА-521 М (М. Блазовски, ВНР) с временем обращения и памяти 10 мксек, частотой АЦП 4 и 25 Мгц. Анализаторы МТА снабжены цифровыми стабилизаторами.

Лабораторные спектрометрические системы с ППД «Лангур» (Ю. П. Сельдякова и др., СССР), BDS-268 (ЧНР), набор блоков ГДР (предусилители J53 В на полевом транзисторе и VA-V-88, усилитель-анализатор VA-V-100 и др.). Параметры этих систем: шум 1—2 кэВ (ППД-0); нестабильность усиления 0,01—0,02%  $1^\circ \text{C}$ ; нелинейность 0,1%; нестабильность уровня экспандера 0,01—0,05%  $1^\circ \text{C}$ . Система «Лангур» включает семь типов кристаллов для ППД с окном из бериллия толщиной 250 мкм.

В докладе К. Брой (ЧССР) описана автоматическая установка для радиометрии большого числа (до 200) проб с двухканальным спектрометром, логические схемы которой построены на интегральных микросхемах ТЕСЛА. Экспонировались универсальные переносные радиометры типа RUST-2 (ПНР) для измерения  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -излучения и излучения нейтронов, а также специализированные радиометры для геологической разведки UPR-01 на счетчиках СТ-8 (ЧССР), сцинтилляционный RP-20 (ЧССР), сцинтилляционный СРП-68 на элементах микроэлектроники (доклад Л. Н. Крылова, СССР). Основная погрешность геологоразведочных приборов составляет 10%, диапазон измерений  $3 \cdot 10^3$  имп/сек (приборы из ЧССР) и  $10^4$  имп/сек (СРП-68).



На секции по детекторам излучений Г. Михель (ГДР) сообщил о новом принципе радиоприема импульсов газоразрядных детекторов с использованием электромагнитного излучения разряда. На этой секции большая часть докладов была представлена по ППД. Характеризуя Si (Li)-ППД, изготовляемые в ГДР, К. Швердт привел характеристики детекторов (по разрешению): 10 *кэв* (300° К) и 3 *кэв* (77° К) для  $\beta$ -частиц  $\text{Cs}^{137}$ , 0, 7 *кэв* на линии 59,5 *кэв* ( $\text{Am}^{241}$ ) при использовании охлаждаемого предусилителя на полевом транзисторе. Я. Хвасевска (ПНР) доложила о разработке имплантационных ППД из *n*-кремния практически любого качества. Ф. Кашак (ЧССР) отметил особенности технологии выращивания Ge (Li)-ППД больших объемов (20–30 *см*<sup>3</sup>) с высоким разрешением (до 2,4 *кэв* по  $\text{Co}^{60}$ ).

На конференции отмечалась большая эффективность внедрения радиоизотопных приборов. И. Кубалец сообщил, что в настоящее время в ЧССР задача создания плотномеров, толщиномеров, уровнемеров для тяжелых условий эксплуатации решается на основе разработанной системы блоков ТЕСЛА. Блоки детектирования приборов выполнены на ионизационных камерах с предусилителем на МОП-транзисторе. Т. Пэкунар (СРР) доложил о системе 12 радиоизотопных приборов, включающей несколько уровнемеров (от дифференциального уровнемера с точностью  $\pm 0,1$  *мм* для производства стекла до 12-канального прибора для доменных печей), совмещенный плотномер — влагомер с цифровым отсчетом и др. Толщиномер РТРНМ (Ф. Э. Лейтис и др., СССР) с односторонним расположением детектора и источника основан на новом методе измерения с помощью  $\beta$ -излучения, отраженного от воздуха, находящегося за материалом. Этим прибором измеряются материалы толщиной 2–30 *г/м*<sup>2</sup> с ошибкой 1,5%. Для измерения толщины покрытий с обеих сторон ленты в диапазоне 3–300 *г/м*<sup>2</sup> используется прибор «Оримет» (Я. Куба, ЧССР).

В. В. Терехов (СССР) отметил, что для оптимального регулирования технологическим процессом недостаточно показаний толщиномера, при этом необходима обработка статистической информации. Эту функцию выполняет статистический анализатор качества САК-1.

Различные методы измерений применены в следующем уровнемере жидкостей (Г. Рудер, ГДР) для диапазона до 30 *м* и скитилляционном уровнемере — регуляторе РСУР-1 (И. И. Крейндин и др., СССР) — и для диапазона до 500 *мм* с источником линейного типа, благодаря которому исключается корректор-поглотитель.

Широко применяются радиоизотопные приборы для измерений в газовых средах. Прибор «Ц-метр» (А. Унчковский, ЧССР) позволяет измерять скорости протока газов менее 1 *м/сек* с точностью  $\pm 5\%$ . Для контроля запыленности воздуха в рудниках с помощью  $\alpha$ -излучателей при концентрации 0,5 *мг/м*<sup>3</sup> и выше предназначен прибор ИЗВ-1 (Н. В. Рябов и др., СССР).

На секции ядерных медицинских приборов и методов значительное место было отведено опыту применения ядерных приборов в диагностике и исследованиях: жидкостного скитилляционного счетчика для спектрометрии проб, меченных  $\text{C}^{14}$  или  $\text{H}^3$  (Л. Штеенбек, ГДР), многоканальных накопителей в скитилграфии (Г. И. Альтенбрунн, Г. Наубер, И. Маркварт, ГДР). Сообщалось о новых результатах и методах лечения с помощью радиоактивных изотопов. Несколько докладов было посвящено развитию ядерного медицинского приборостроения в ВНР. В докладе А. Биллинга (ВНР) описаны специализированные вычислительные блоки завода «Гамма», которые подготавливают данные для

обработки на ЭВМ (вычитание фона, деление числа импульсов на заданное число).

Большое внимание на конференции было уделено дозиметрии. Были сделаны сообщения о новых термолюминесцентных дозиметрах на основе LiF типа ДТМ-1 и ДТМ-2 (ПНР), имеющих диапазон измерения 0,1–10<sup>4</sup> *рад* при точности  $\pm 5\%$ , а также VA-M-65 (Г. Линеманн и др., ГДР) — от 0,5 до 10<sup>3</sup> *рад*. С интересом встречено сообщение В. Штольца (ГДР) о дозиметрах типа «Дюона — Лум» с LiF-фосфорами для измерения в диапазоне миллирад вплоть до 1 *мрад*.

Более низкие пределы измерения доз (0,003–3 *р*) с равномерной энергетической характеристикой от 15 *кэв* до 3 *Мэв* могут обеспечить характеристической дозиметры с ионизационными камерами (А. Арчаков, В. Носенко, СССР). Дозиметр с ионизационной камерой может быть весьма компактным, например карманный звуковой сигнализатор превышения дозы «Альдо» (ПНР), габариты которого 137 × 70 × 25 *мм*. Прибор имеет три порога 0,03; 0,3 и 3 *р* с допуском  $\pm 10\%$  в диапазоне энергий 0,04–1,5 *Мэв*.

Представленный на выставке рентгенометр VA-J-100 (ГДР) благодаря применению двух счетчиков имеет широкий диапазон измерений: 0,015 *мр/ч*–250 *р/ч* в энергетическом интервале 0,15–2 *Мэв*. Прибор VA-J-100 выполнен в новом типовом корпусе переносных ударопрочных (7 *г*) приборов ГДР (размер 195 × 165 × 82 *мм*, вес 3 *кг*).

При построении дозиметров не только непрерывно, но и импульсного рентгеновского и  $\gamma$ -излучения в широком интервале энергий целесообразнее пользоваться скитилляционным методом, а не ионизационным (М. И. Арсаев и др., СССР). Дозиметры ДРГ-1 (0,1–300 *мкр/сек*, 30–3000 *кэв*), ДРГ-3 (0,01–1000 *мкр/сек*, 20–3000 *кэв*) и импульсный ДРГ-1 (0,1–100 *мкр/сек*, 15–1250 *кэв*) имеют малые габариты детектора и простой усилитель постоянного тока. Погрешность составляет  $\pm 10\%$ , ход с жесткостью 15–20%. В связи с этим представляют интерес фотополупроводниковые скитилляционные детекторы, о которых сообщил И. Фитц (ГДР), основанные на комбинации органического скитиллятора и фотосопротивления. Диапазон измерения простого рентгенометра с таким детектором составляет 1–10<sup>3</sup> *рад/ч*, точность  $\pm 5\%$ .

Дёршель и Биргит (ГДР) представили доклад об одном из способов нейтронной индивидуальной дозиметрии (0,1–10<sup>4</sup> *рад*), основанном на методе обнаружения под микроскопом треков осколков деления в ряде веществ после химического травления. О системе аварийной дозиметрии нейтронов, применяемой на ядерных установках ГДР, сообщил В. Шмитт. В состав аварийного комплекта входят активационные детекторы, детекторы осколков деления и LiF-дозиметр.

Для измерения эквивалентной дозы смешанного излучения предназначена комбинационная камера РЭМ-2 (ПНР), подключаемая к электрометрам ЭККО-616 или VA-J-15. Действие прибора основано на пропорциональной зависимости эффективности собирания ионов камеры, работающей в области колонной рекомбинации от фактора качества излучения. Ошибка измерений эквивалентной дозы  $\pm 30\%$ .

Проблемам контроля зараженности воздуха продуктами распада радона при добыче руд посвящено сообщение К. П. Маркова и др. (СССР). Портативный прибор периодического контроля типа 2413-01 весом 4 *кг* имеет диапазон измерения «скрытой энергии» 10<sup>4</sup>–10<sup>7</sup> *Мэв/л*, а автоматизированный прибор непрерывного контроля типа РКЗ-01 6,5·10<sup>3</sup>–6,5·10<sup>6</sup> *Мэв/л* (кон-



центрация  $Rn\ 5 \cdot 10^{-12} - 5 \cdot 10^{-8}$ ). Методы и аппаратура для количественного анализа  $\beta$ -активных инертных газов обсуждены в докладе Л. В. Артеменковой и др. (СССР), где сообщается о достигнутой чувствительности по отдельным изотомам  $10^{-11}$  *кюри*  $\cdot$  л $^{-1}$ /и.м.п.сек $^{-1}$ . И. Моравек, И. Пиетрик, Э. Гладки (ЧССР) доложили о пороговой системе автоматического непрерывного контроля  $\beta$ -активности газового теплоносителя АЭС.

Были прочитаны доклады, обобщающие требования к приборам для измерения мощности дозы, радиоактив-

ных загрязнений воздуха, воды, поверхностей (Р. Отт, Д. Германн, Е. Майвальд, Е. Штанге, ГДР), а также специальные требования к приборам дозиметрического контроля на АЭС (К. Виллун, ГДР).

Конференция и выставка в Лейпциге отражают прогресс, достигнутый в развитии ядерного и изотопного приборостроения, а также наметившуюся специализацию стран-членов СЭВ.

Материалы конференции намечено опубликовать в первом полугодии 1971 г.

Л. Н. КРЫЛОВ

## Международная конференция по лазерной плазме

В ноябре 1970 г. в Москве состоялась Международная конференция, посвященная обсуждению проблемы нагрева плотной плазмы до термоядерных температур лазерным излучением, а также вопросам использования лазерной плазмы для инъекции в термоядерные устройства. В работе приняли участие 350 советских и более 40 иностранных ученых из Англии, ГДР, Италии, Канады, Румынии, США, Франции, ФРГ, Чехословакии и Японии. На семи заседаниях было заслушано и обсуждено 42 доклада, посвященные главным образом двум проблемам: 1) нагреву плазмы лазерным излучением (газодинамика и кинетика неравновесных плазменных состояний, взаимодействие лазерного излучения со сверхплотной плазмой, нагрев плазмы с целью получения термоядерного синтеза); 2) поведению лазерной плазмы в магнитном поле и ее использованию для заполнения магнитных ловушек; применению многозарядной лазерной плазмы в качестве источника ионов для ускорителей и спектроскопии. На конференции была принята система обзорных докладов. Наиболее интересные работы зачитывались авторами в виде коротких сообщений.

Конференцию открыл акад. Н. Г. Басов, который отметил перспективность применения лазерной плазмы для различных термоядерных приложений.

Рассмотрению проблемы использования лазеров для целей осуществления импульсной термоядерной реакции были посвящены обзорные доклады О. Н. Крохина (ФИАН СССР), А. А. Веденова и др. (ИАЭ им. И. В. Курчатова), П. П. Пашинина (ФИАН), Дж. Бобина, Ф. Флу, Г. Тонона (Лимель, Франция) и Р. Пиза и И. Сполдинга (Калэм, Англия). На основании этих докладов можно сделать вывод, что при импульсном нагреве твердой смеси дейтерия и трития без применения методов удержания условие Лаусона  $n\tau \geq 10^4$  (при  $T = 10^8$  °К) выполняется при энергии лазера  $\sim 10^5$  Дж, длительности импульса  $10^{-9}$  сек и начальной плотности  $10^{23}$  см $^{-3}$ . Для увеличения  $n\tau$  необходимы более сложные мишени, в которых используется инерциальное удержание тяжелым веществом. Однако на конференции такие модели (обоснованные расчетами) не были представлены.

О. Н. Крохин рассмотрел критерии использования режима инерциального удержания для получения физически выгодной термоядерной реакции. Приведены оценки параметров, характеризующих условия инерциального нагревания. Рассмотрены различные схемы, использующие кумулятивные эффекты при газодинамическом режиме нагрева.

Оценки, проведенные для газообразных мишеней со сравнительно малой плотностью и длительностями лазерных импульсов порядка нескольких десятков

наносекунд, показали, что для положительного термоядерного выхода энергия лазера должна быть величиной такого же порядка. При этом предполагается использование инерциального удержания тяжелой оболочкой и «замораживание» теплопроводности магнитным полем. Аналогичные расчеты были выполнены в Лимеле (Франция), где предполагалось создать магнитное поле сжимающейся оболочкой, позволяющей получать  $10^7$  гс в объеме с характерным размером в несколько миллиметров. При этом возможно также «удержание»  $\alpha$ -частиц. Таким образом, задача получения  $n\tau \geq 10^{14}$ , по-видимому, является технически реальной, и можно надеяться на увеличение энергии выхода при увеличении энергии лазера и использовании сложных мишеней.

Следует отметить доклады, отражающие программу исследований по обсуждавшимся на конференции проблемам.

В докладе Бобина, Флу и Тонона сообщалось, что при взаимодействии излучения лазера с мишенями из твердого дейтерия наблюдается выход  $\sim 3 \cdot 10^4$  нейтронов за импульс при энергии лазера 60 Дж и длительности излучения лазера 3,5 нсек. В Лимеле большое внимание уделяется теоретическому и экспериментальному исследованию нелинейного поглощения света большой интенсивности в плазме. Теоретические оценки показывают, что нелинейное поглощение оказывается намного сильнее в случае  $CO_2$ -лазера по сравнению с неодимовым. Считается, что наличие нелинейного поглощения является необходимым условием получения выгодной термоядерной реакции.

В докладе Р. Пиза и И. Сполдинга (Калэм, Англия) обсуждался вопрос об инерциальном удержании лазерной плазмы. Установлено, что энергия лазера, необходимая для создания энергетически выгодного термоядерного реактора на D — T-смеси нормальной плотности при температуре  $T \approx 10^4$  эв, составляет  $10^8 - 10^9$  Дж. В случае использования режима горения, который может быть осуществлен за счет высокой электронной теплопроводности, энергия, необходимая для иницирования процесса «горения» смеси, может быть существенно уменьшена. Эта энергия может быть также уменьшена за счет предварительного сжатия топлива (например, в ударной волне, формируемой лазерным излучением) или использования тяжелой оболочки с большим Z.

В докладе И. Сполдинга также были приведены оценки энергии, необходимой для нагрева плазмы с плотностью  $10^{17}$  см $^{-3}$ , удерживаемой магнитным полем тороидальной ловушки. Для  $CO_2$ -лазера эта энергия в предположении аномального поглощения излучения лазера в плазме составляет  $\approx 10^8$  Дж. В случае перно-