

ственно флюоресцентное рентгеновское и захватное γ -излучения из образцов, по интенсивности которых проводится количественный анализ ряда элементов. Порог чувствительности метода оценивается в 10^{-11} г.

В ряде докладов содержатся материалы, касающиеся обработки результатов измерений с помощью ЭВМ. Наиболее интересным представляется доклад, посвященный разработке программы на языке ФОРТРАНа для автоматической обработки γ -спектров, полученных с помощью Ge(Li)-детекторов, на малых вычислительных машинах (Испания). Предлагаемая программа позволяет определить границы фотопиков и их площади в случае полностью разрешенных и частично перекрывающихся фотопиков.

Методический интерес представляют способ учета «мертвого времени» многоканального спектрометра при многокомпонентном активационном анализе (Аргентина) и возможность надежного определения свинца (Великобритания) и иода (Венесуэла) путем простого измерения наведенной β -активности образцов.

В совместном (СССР, Франция) докладе описан метод и автоматическая установка для определения Р, N, К и Са в образцах растений с использованием активации быстрыми нейтронами с энергией 14 Мэв.

Особенно интересны для разработчиков ядерно-аналитической аппаратуры медицинского назначения доклады, представленные Великобританией и США, посвященные созданию установок для активационного анализа тела пациента *in vivo*. В этих работах для проведения активационного анализа использовались различные источники нейтронов: генератор быстрых нейтронов с энергией 14 Мэв, циклотрон и изотопные (α, n)-источники. Конструкция блоков облучения позволяет либо частично облучать пациента, например руку, либо все тело. Облучение проводится в стационарном поло-

жении пациента или с использованием сканирования путем циклического перемещения ложа с пациентом в нейтронном поле. После облучения в течение 3—10 мин нейтронами (доза ~ 200 —300 мбар) пациент переносится (переводится автоматически) в положение для измерения γ -спектра, регистрируемого, как правило, сцинтилляционным гамма-спектрометром с большими двоенными кристаллами NaI(Tl). При измерении активности облученной руки используется и Ge(Li)-детектор. Калибровка количественного содержания элементов осуществляется на человекоподобных фантомах. Определяется содержание Na, Cl, Al, Са, Р, N или некоторых из них. В одной из работ (Великобритания) использован метод облучения пациента импульсным потоком нейтронов, генерируемых на литевой мишени пучком протонов (10 Мэв) из импульсного циклотрона. С временной задержкой после импульса, необходимой для замедления быстрых нейтронов до тепловых скоростей, регистрируется захватное γ -излучение, испускаемое телом пациента, что позволяет селективно определять полное содержание в нем азота. В докладах обосновывается важность для медицинских целей оперативного определения содержания ряда элементов в отдельных частях или во всем теле человека.

Симпозиум показал, что в настоящее время активационный анализ наряду со спектрометрией, атомно-абсорбционной спектрометрией и масс-спектрометрией является одним из наиболее популярных методов анализа следовых элементов в биологических образцах.

Симпозиум был хорошо организован; наличие препринтов и неперегруженность докладами позволили провести плодотворные дискуссии. МАГАТЭ планирует издание трудов симпозиума на конец 1972 г.

Р. Г. ГАМБАРЯН

Симпозиум по методам дозиметрии, применяемым в сельском хозяйстве, промышленности, биологии и медицине

17—21 апреля 1972 г. в Вене состоялся симпозиум, организованный МАГАТЭ при содействии ВОЗ. В работе симпозиума приняло участие 112 специалистов из 34 страны и восемь представителей из международных организаций.

Наибольшее число докладов было посвящено термолюминесцентной (ТЛД) и фотолюминесцентной (ФЛД) дозиметрии. Можно выделить две группы вопросов: 1) опыт практического применения дозиметров и 2) исследование процесса люминесценции, дозиметрических свойств и поиск оптимальных составов люминофоров. Многие сообщения об опыте применения дозиметров касались обычных измерений с помощью выпускаемых промышленностью коммерческих радио-, фото- и термолюминесцентных детекторов. Несколько интересных сообщений было сделано по применению ТЛД для медико-биологических целей. Так, в докладе Ф. Спайерса с сотрудниками (Англия) сообщено о применении порошкообразного LiF для измерения дозы в тканеквивалентном материале, заполняющем полость цилиндра, стенки которого содержат β -активное вещество. Предварительные исследования показали, что чувствительность измельченного LiF резко уменьшается, начиная с размеров частиц менее 40 мкм. Авторам удалось получить практически монодисперсный термолюминесцентный порошок со средним размером частиц 1,02 мкм.

Результатом работы явились данные по дозовым нагрузкам на костный мозг за счет содержащегося в кости Sr^{90} .

В другом исследовании (Унникришан и др., Индия) ТЛД использовался для решения обратной задачи: β -активным составом наполнялась полость цилиндра и с помощью миниатюрных ТЛД определялась доза в его стенке; экспериментальные результаты сравнены с расчетными для изотопов P^{32} , Tl^{204} и $\text{Sr}^{90} + \text{Y}^{90}$. Полученные данные можно использовать для определения дозовых нагрузок на пищевую тракт человека, принимающего пищу, содержащую радиоактивные изотопы.

Люминесцентные методы прочно вошли в практику дозиметрических измерений. В представленных докладах приведены примеры их использования в радиэкологии (А. Чауис и др., Франция), радиотерапии (В. Лабэу, Румыния), при измерении доз *in vivo* (М. Шадев и др., Индия) и т. д.

Во второй группе вопросов основное внимание было обращено на улучшение дозиметрических характеристик детекторов, главным образом на снижение погрешности в определении дозы за счет изменения физических свойств детекторов и разброса их показаний. Данные, приведенные в различных докладах, свидетельствуют о значительном разбросе показаний коммерческих дозиметров. Например, П. Пихлау (ФРГ) сообщил, что разброс показаний ТЛД на основе LiF составляет

в среднем $\pm 2\%$, что превышает значения для химического дозиметра Фрике ($\pm 0,7\%$) и ионизационной камеры ($\pm 0,2\%$). В докладе Д. Регуллы (ФРГ) приводятся данные по разбросу чувствительности дозиметров ТЛД-100. Коэффициент максимального разброса в пределах одной партии дозиметров достигает трех, а стандартное отклонение $\pm 15\%$.

Одна из основных причин изменения характеристик детекторов — перераспределение ловушек по энергетическим уровням («динамика ловушек»). Исследования ряда авторов (П. Пихлау, ФРГ; Е. Блюм, Англия) показывают, что термолюминофор CaF_2 имеет преимущество по сравнению с LiF .

Д. Регулла (ФРГ) исследовал термолюминесценцию метафосфатных стекол, активированных марганцем, значительно увеличивающим чувствительность стекла. Кроме того, в подобных ТЛД практически отсутствует эффект «динамики ловушек». Уместно заметить, что подобные результаты были получены значительно раньше советскими исследователями*.

Повышение чувствительности ТЛД — предмет особого внимания. Один из возможных путей — регистрация термолюминесценции путем счета фотонов с помощью ФЭУ. Т. Ниевиадомски (Польша) детально проанализировал источники и спектр фонового свечения. В результате предложен способ подавления фона посредством дискриминации амплитуд импульсов выходных электрических сигналов, что расширяет область применения ТЛД в сторону малых доз вплоть до 20 мкр . В другом докладе (К. Ноллманн и Е. Смолко, Аргентина) исследованы кривые высвечивания в диапазоне температур ТЛД от температуры жидкого азота до $\sim 400^\circ \text{К}$. Результаты исследования позволяют определить условия, при которых возможны измерения очень малых доз (порядка микрорад).

Значительное место заняли вопросы химической дозиметрии и применения пластических материалов. С обстоятельным обзорным докладом выступил И. Драгонич (Югославия).

Отмечалось, что современные методы исследования вещества, основанные на таких явлениях, как эффект Мёссбауэра и электронный парамагнитный резонанс, могут быть применены в дозиметрии. В последние годы эффект Мёссбауэра успешно используется для изучения механизма радиационнохимических реакций восстановления или окисления железа в различных соединениях. В совместном докладе И. Такашима, И. Накаяма (Япония), Л. Чандлер (МАГАТЭ) приведены результаты измерений некоторых твердотельных химических дозиметров, основанных на соединениях железа, число радиационнохимических превращений в которых определялось по мёссбауэровским спектрам. Метод может быть успешно применен для измерения дозы γ -излучения в диапазоне 10^7 — 10^{10} рад . Метод электронного парамагнитного резонанса также можно использовать для определения продуктов радиационнохимических реакций. В докладе И. Манамбелона (Малагасийская рес-

публика) дана теория метода и обсуждается возможность его применения для дозиметрических целей.

Характерно, что на симпозиуме практически не обсуждались ставшие уже традиционными такие методы дозиметрии, как сцинтилляционный и фотографический. В то же время несколько сообщений было посвящено развитию ионизационного метода. В докладах французских ученых (И. Казановас и др.) и Ф. Хорнека (ФРГ) даны результаты исследований ионизационных камер, наполненных жидкими диэлектриками. Французские ученые использовали жидкостную ионизационную камеру для измерения импульсного рентгеновского излучения с длительностью импульса $50 \cdot 10^{-9} \text{ сек}$. Немецкие специалисты исследовали вольт-амперные характеристики камеры, наполненной n -гексаном, в поле нейтронного излучения. Применяв теорию колонной рекомбинации Яффе, авторы получили значение средней энергии ионообразования, равное 26 эв .

В одном из советских докладов (И. А. Авчиев, В. И. Иванов) указана возможность расширения диапазона измерения газовой ионизационными камерами в сторону больших мощностей путем использования универсальной характеристики. О применении ионизационных камер в диапазоне мощностей доз 10^{-3} — 10^{-4} п/сек сообщено в докладе Б. В. Мухачева и др. (СССР). Эти же авторы использовали вакуумный радиационный элемент в диапазоне 10^{-3} — 10^6 п/сек . Дозиметрические характеристики вакуумного детектора прямой зарядки исследованы в докладе В. И. Иванова и др. (СССР).

В объединенном докладе ученых из Института биофизики, Института медицинской радиологии и Физико-энергетического института (И. Б. Кеирим-Маркус и др., СССР) представлены результаты измерений дозиметрических характеристик каналов реактора БР-5, используемых в радиобиологических исследованиях; спектр ЛПЭ измерен с помощью набора тканезквивалентных низкоэффективных газоразрядных счетчиков по разработанному авторами методу. Спектр нейтронов был определен с помощью набора делящихся изотопов в сочетании с трековыми детекторами. Применению трековых дозиметров для измерения в нейтронных полях посвящен доклад Г. М. Обатурова и др. (СССР).

С интересным сообщением выступил Р. Кац (США). В предыдущих работах он сделал попытку объяснить наблюдаемый радиационный эффект на основе рассмотрения структуры треков частиц, взаимодействующих с веществом. На данном симпозиуме он развил эту идею применительно к дозиметрам различных типов. В работах Р. Каца развит один из видов микродозиметрического подхода к анализу радиационных эффектов.

Симпозиум продемонстрировал широкое распространение различных методов дозиметрии во всех областях применения атомной энергии. Основные усилия ученых в настоящее время направлены на повышение точности показаний дозиметров и расширение диапазонов их применения.

В. И. ИВАНОВ

* И. А. Бовчар и др. «Атомная энергия», 15, 48 (1963).