

## VI Международный конгресс по радиационным исследованиям

Конгресс, организованный Международной ассоциацией по радиационным исследованиям совместно с Японским советом по науке и Японской ассоциацией по радиационным исследованиям, проходил 13—19 мая 1979 г. в Токио (Япония). В нем участвовали около 2000 исследователей из 46 стран. В программу входили специальные лекции, пленарные заседания, симпозиумы, рабочие группы, секции. Пять заседаний было посвящено общим вопросам радиационных исследований, 14 — физическим исследованиям, 33 — химии, 24 — медицине, 74 — биологии и биофизике, 9 — радиоэкологии и радиационной безопасности. В общей сложности было представлено более 900 докладов.

Тематика конгресса охватывала разнообразнейшие вопросы радиационных исследований — от изучения физических аспектов взаимодействия излучения с веществом до обсуждения проблем, связанных с генетическими последствиями облучения при атомной бомбардировке Хиросимы и Нагасаки. Ежедневно проводилось 5—7 симпозиумов и около 30 заседаний секций по процессам радиационной химии, действию радиации на живые организмы, биологическому действию синхронного излучения, радиотерапии и ее комплексированию с другими методами терапии рака, радиационным методам и аппаратуре, дозиметрии, морской радиоэкологии, радиационной защите, естественной радиоактивности и другим вопросам радиационных исследований.

**Физические исследования, использование радиации и изотопов, радиационные методы и приборы.** Большое внимание на конгрессе было уделено взаимодействию излучения с веществом, а также радиационно-физическим, радиационно-химическим и радиационно-биологическим аспектам такого взаимодействия. В связи с этим обсуждались проникновение излучения через вещество, в том числе через многослойные материалы и неомогенные вещества (например, бетонную защиту), распределение тепловых нейтронов и  $\gamma$ -квантов в газах, потери энергии протонов и ускоренных ионов в различных материалах. Во многих исследованиях применяли оригинальные экспериментальные устройства. Например, в докладе Г. Бишоп (Великобритания) описан оригинальный источник  $\gamma$ -излучения энергией 6 МэВ, представляющий диск большого диаметра, заполненный водой, в которой в результате активации быстрыми нейтронами кислорода образуется  $^{16}\text{O}$ , испускающий при распаде  $\gamma$ -кванты энергией около 6 МэВ.

Большая часть докладов по радиационно-химическим процессам касалась исследований в области радиолиза воды и водных растворов различных веществ, радиационной химии органических систем, газов, а также твердых веществ и стекол. Много внимания уделялось радиационно-химическим процессам в биологических системах, радиационной химии нуклеиновых кислот и т. п.

Радиационно-химические процессы получили широкое распространение на практике, в частности для радиационной обработки сточных вод, сельскохозяйственной продукции, стерилизации лекарственных веществ и медицинской продукции, других целей. Продолжают изучать влияние радиационной обработки на свойства различных пищевых продуктов и лекарственных материалов. Как показывают результаты, генетический риск при употреблении облученных пищевых продуктов меньше естественных генетических отклонений. В твердых лекарственных препаратах не происходит изменений вследствие облучения, в жидких в некоторых случаях наблюдается радиолиз, вызывающий определенные химические изменения. Распад нежелательных метаболитов в сточной воде при радиационной обработке происходит при дозе 50 крад, доза 500 крад достаточна для паразитической и бактериальной дезинфекции, доза от 1000 до 2000 крад приводит к минерализации токсических органических соединений ртути и т. п. Эти данные могут служить исходными для разработки процессов и уста-

новок санобработки воды. Комбинированное воздействие  $\gamma$ -излучением и озоном оказывается более эффективным при обработке сточных вод по сравнению с воздействием только  $\gamma$ -излучением. Так, по данным Т. Миято (Япония), при мощности дозы 0,5 Мрад/ч и 3%-ном содержании озона в кислороде степень уменьшения органического углерода в сточной воде на порядок выше, чем при обработке без применения озона.

Методически интересен способ определения выгорания  $^{10}\text{B}$  в теплоносителе на АЭС, предложенный Х. Паисса-Кампа (Аргентина). Процедура анализа состоит в облучении одинаковым потоком тепловых нейтронов стандартного раствора бора с естественным соотношением  $^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$  и раствора бора, взятого из первого контура реактора. В обе пробы добавляли раствор химического дозиметра на основе ( $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) в 0,8N серной кислоте. При облучении потоком тепловых нейтронов в результате реакции  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$  образуются  $\alpha$ -частицы, вызывающие окисление двухвалентного железа до трехвалентного состояния. Разница в соотношении двух- и трехвалентного железа зависит от соотношения  $^{10}\text{B}/^{11}\text{B}$ .

Широкое распространение в медицинской диагностике и радиационных исследованиях нашли методы ЭВМ-томографии, обеспечивающие получение трехмерного изображения внутреннего строения исследуемого предмета. Этот метод получил дальнейшее развитие с использованием тяжелых ионов: исследуемый образец (ткань, орган человека, материал) просвечивают пучком тяжелых ионов, прошедшие ионы регистрируют пластинковыми детекторами, результаты обрабатывают на ЭВМ, что обеспечивает воспроизведение структуры просвечиваемого образца. Такой метод более точен и эффективен, чем рентгеновская ЭВМ-томография, в особенности для радиографии материалов с низким эффективным атомным номером. Трехмерное изображение распространения и накопления радионуклидов может быть получено с применением устройства, скомбинированного из сцинтилляционной  $\gamma$ -камеры и двух перпендикулярно расположенных сцинтилляционных детекторов с целевыми коллиматорами. При использовании  $\gamma$ -каскадных нуклидов ( $^{43}\text{K}$ ,  $^{76}\text{Se}$ ,  $^{111}\text{In}$ ,  $^{169}\text{Yb}$ ,  $^{188}\text{Re}$ ) можно по  $\gamma$ - $\gamma$ -совпадениям изучать распределение нуклидов в трех измерениях (доклад И. Шмитц-Фойерхаке, ФРГ).

**Радиационная терапия.** Значительное внимание на конгрессе было уделено радиационной терапии злокачественных опухолей. Во многих докладах освещались радиобиологические, дозиметрические и клинические аспекты радиационного воздействия на опухоль при использовании различных видов излучения. Большой интерес, в частности, вызывает в настоящее время возможность комплексирования излучения с гипертермией, в особенности при лечении радиорезистентного рака, поскольку тепло имеет выборочный эффект при воздействии на радиорезистентные клетки. Один из способов повышения температуры тканей до требуемого значения 43—45 °C — применение ультразвука. Пучки ультразвука коллимируются, а характеристики поглощения ультразвука в тканях зависят от значения генерируемой частоты, причем глубина воздействия может достигать 10—12 см (доклад Г. М. Хана и Дж. Мармора, США).

Использование для радиационной терапии тяжелых заряженных частиц и тяжелых ионов привлекает всевозрастающее внимание во многих странах. Высокоинтенсивные протонные ускорители средней энергии уже применяют для этих целей в США, Канаде, Швейцарии. Такие ускорители могут быть источником мезонов, а также интенсивных потоков нейтронов. Поэтому их используют для получения изотопов, анализа состава вещества, в радиобиологических исследованиях.

Ведутся работы по расширению использования внутрисполостных терапевтических аппаратов. С 1976 г., напри-

мер, проводят клинические исследования в Японии по облучению опухолей пищевода, причем мощность дозы составляет 100 рад/мин на 1 см от источника  $\gamma$ -излучения  $^{60}\text{Co}$ . Облучение проводят по 13—14 фракций до суммарной поглощенной дозы 3000 рад. Сравнительный анализ результатов лечения по применявшейся ранее методике лечения с низкой мощностью дозы и новым методом облучения с высокой мощностью дозы показал преимущества последнего. Преимущества в первую очередь связаны со значительным снижением лучевых осложнений различной степени с 43,9 до 15,2% (доклад С. Сато и М. Накао, Япония). В настоящее время в Японии находится в эксплуатации более 50 внутриполостных аппаратов (по данным С. Морита и др.). В основном это аппараты типа RALSTRON, используемые большей частью для лечения гинекологических опухолей.

На конгрессе обсуждали также радиационную безопасность, захоронение радиоактивных отходов, загрязнение окружающей среды. В частности, сообщалось (С. Кон и др., США) об измерениях *in vivo* содержания кадмия по  $\gamma$ -излучению радиационного захвата, возникающему при облу-

чении исследуемого лица нейтронами  $^{238}\text{Pu}$  — Be-источника. Исследования проводили для выявления загрязнения среды кадмием, вызывающим острые и хронические эффекты. Выяснилось, в частности, что уровень содержания кадмия в теле курильщиков почти в два раза выше, чем у некурящих. Известно, что многие элементы накапливаются в волосах человека. Нейтронный активационный анализ на 18 элементов волос людей, живущих в разных природных условиях, использовали для изучения загрязнения среды этими элементами (доклад Д. Хатинга и др., Индия).

Значительное число докладов было посвящено изучению биологических аспектов воздействия радиации, в том числе стимулирующего фактора на развитие растений, возможности генетического риска при радиологических исследованиях населения, радиационного мутагенеза, токсикологии радионуклидов, синхротронного воздействия на биологические системы и т. п.

В конгрессе участвовала советская делегация в составе 15 человек во главе с чл.-кор. АН СССР А. М. Кузиным. КАРТАШЕВ Е. Р.

## VII Международная конференция по лазерной технике и применению лазеров

Конференция, организованная оптическим обществом США и комитетом по квантовой электронике, состоялась в конце июня — начале июля 1979 г. в США. На 18 секциях обсуждалось более 200 докладов о последних достижениях в применении лазеров, а также технические и технологические вопросы, касающиеся как лазеров, так и используемых в них оптических элементов. Число участников составляло примерно 700 чел., из них около 50 специалистов из Великобритании, Канады, Советского Союза, Франции, ФРГ, Японии.

На конференции рассматривались твердотельные и газовые (эксимерные,  $\text{CO}_2$ , иодные) лазеры, в том числе для термоядерных исследований; адаптивная оптика; спектроскопия и нелинейная оптика; лазерное разделение изотопов и фотохимия; лазеры в медицине, биологии, технологии.

По традиции на секции лазерного термоядерного синтеза выступил начальник управления по исследованию инерционного термоядерного синтеза Департамента энергетики США Г. Канаван, рассказавший о программе работ основных научно-исследовательских центров страны в области термоядерного синтеза с применением для иницирования термоядерных реакций лазеров и пучков заряженных частиц. По-прежнему ответственной организацией по развитию твердотельных лазерных систем для лазерного термоядерного синтеза (ЛТС) является Ливерморская лаборатория им. Лоуренса, в которой в 1978 г. начала функционировать установка «Шива» — 20-пучковый лазер на неодимовом стекле с полной выходной энергией  $\sim 10$ —15 кДж в импульсе длительностью 1—2 нс. На ней выполнены опыты по облучению стеклянных микросфер, заполненных DT-смесью при небольшом начальном давлении ( $\sim 10$  кгс/см<sup>2</sup>). В этом так называемом режиме «взрывающейся оболочки — поршня» достигают сравнительно высокой температуры смеси (5—8 кэВ), зарегистрирован максимальный выход  $\sim (3$ —5)  $\cdot 10^{10}$  нейтр./импульс. Однако степень сжатия и абсолютная плотность оказываются невелики ( $\sim 1$  г/см<sup>3</sup>). В последнее время на «Шиве» получены предварительные результаты по реализации абляционного (или холодного) сжатия, когда DT-топливо начальным давлением  $\sim 100$  кгс/см<sup>2</sup> сжимается неиспаренной частью оболочки («холодный поршень»). В таком режиме удалось достичь рекордных значений плотности DT-смеси  $\sim 15$ —20 г/см<sup>3</sup>.

Однако энергии 15 кДж в импульсе длительностью 2 нс оказалось достаточно, чтобы нагреть сжатое вещество лишь до 0,5—1 кэВ. Выход нейтронов при этом составил  $2 \cdot 10^8$  за импульс. Спроектирована установка «Шива-Новая», рассчитанная на выходную энергию 100 кДж после завершения первой очереди строительства и 200—300 кДж в окончательном варианте (II очередь). Стоимость установки  $\sim 200$  млн. долл. Первую очередь предполагается завершить в 1982 г., вторую — в 1984—1985 гг.

Работы по созданию мощных  $\text{CO}_2$ -лазеров для ЛТС сосредоточены в Лос-Аламосской научной лаборатории. В 1978 г. начаты эксперименты на установке «Гелиос» — 8-канальном  $\text{CO}_2$ -лазере с выходной энергией 10 кДж в наносекундном импульсе. При облучении стеклянных микросфер при мощности 20 ТВт (10 кДж; 0,5 нс) получено  $\sim 10^{10}$  нейтр./импульс. Как заявил Е. Линдман, ближайшей задачей является достижение плотности термоядерного топлива, в 10—20 раз большей плотности жидкой DT-смеси. Продолжается сооружение 72-лучевой лазерной системы «Антарес», рассчитанной на 100 кДж в импульсе длительностью 1 нс. Полная стоимость установки 67 млн. долл. Окончание строительства планируется на 1983 г. 24-лучевой лазер на неодимовом стекле — установка «Омега» сооружается в Рочестерском университете. Фирма «КМС-Фьюжн» разрабатывает крупномасштабные преобразователи излучения неодимового лазера в излучение на гармониках основной частоты. Подобные преобразователи с большой апертурой могут оказаться полезными при использовании таких лазеров в различных целях. В ЛТС переход на более короткую длину волны, как показывают расчеты, перспективен даже при сравнительно невысоком КПД преобразования  $\sim 30\%$ . В Лос-Аламосской и Ливерморской лабораториях ведутся интенсивные поиски перспективных для ЛТС лазеров (эксимеры, пары редкоземельных элементов, элементы VI группы таблицы Менделеева).

Работы по иницированию термоядерного синтеза релятивистским электронным пучком ведутся в основном в Сандиевских лабораториях. Крупномасштабная установка EBFA, рассчитанная на демонстрацию осуществимости термоядерного синтеза (термоядерный выход равен энергии электронного пучка), будет создана в 1981 г. (I очередь), затем в 1984 г. ее выходные параметры обеспе-