

и др. (СССР), такое же заключение следует из анализа концентрации ^{90}Sr в водах Финского залива: если удельную активность ^{90}Sr в воде Мирового океана принять за 1,00, то для Средиземного моря эта величина составляет 1,5, для Северного моря 3,2, для Черного 4,0 и для Балтийского 6.

Последний доклад, подготовленный большой группой американских специалистов, был фактически посвящен обоснованию допустимости захоронения долгоживущих радиоактивных отходов на дне морей и океанов. Главные его выводы были встречены критическими замечаниями делегатов Индии, СССР, Японии и других стран.

В целом на основании материалов симпозиума МАГАТЭ можно заключить.

1. Ни в одном из 33 докладов ни разу не были приведены факты о каком-либо радиационном повреждении элементов экосистем при существующих сбросах с ядерных установок в водную среду. Это вновь подтверждает то, что ядерная энергетика (по сравнению с другими видами деятельности человека) минимально опасна как для человечества в целом, так и для окружающей среды.

2. Строительство АЭС, расширяющееся практически во всех странах мира, вынуждает продолжать и расширять радиэкологические исследования в конкретных географических районах. На симпозиуме были

представлены высококвалифицированные работы ученых ряда стран, посвященные этим вопросам. Возможность проведения таких исследований при весьма малых концентрациях радионуклидов в окружающей среде позволяет использовать окрестности АЭС как естественный полигон в условиях, далеких от какой-либо опасности для человека и биосферы. При этом важное значение приобретает выявление критического пути и «радиационной прочности» различных участков реальных экосистем.

3. На симпозиуме были представлены интересные и богатые фактическими данными доклады о поведении плутония в водных системах. Плутоний и другие трансурановые элементы, не имеющие стабильных природных изотопов, должны оставаться в центре внимания в ближайшие десятилетия, поскольку развитие ядерной энергетики на основе реакторов деления невозможно без перехода к быстрым реакторам-размножителям и расширенного использования плутония. Связанные с этим возрастающие утечки плутония во внешнюю среду и его концентрирование в некоторых звеньях экосистем могут оказаться критическими для судеб ядерной энергетики. Дальнейшее накопление объективной информации в этой области — весьма важная и актуальная задача.

СИВИНЦЕВ Ю. В.

VII Всесоюзное совещание по физике взаимодействия заряженных частиц с монокристаллами

Совещание состоялось в Москве 26—28 мая 1975 г. Предметом обсуждения на этом и предшествующих совещаниях были сравнительно недавно обнаруженные эффекты каналирования и теней при движении быстрых заряженных частиц в монокристаллах и связанные с этими эффектами явления. В работе совещания приняли участие около 200 ученых из различных городов Советского Союза — представители вузов и научно-исследовательских институтов АН СССР и академий союзных республик, а также ряда министерств и ведомств страны. Присутствовали и выступили с докладами видные ученые из США, ГДР, ФРГ, МНР и Югославии. Было представлено 93 доклада, охватывающих различные стороны этого быстро развивающегося направления. Условно все доклады можно разделить на три группы. Первая — исследование ориентационных эффектов при движении тяжелых заряженных частиц (протоны, ионы) в монокристаллах; вторая — работы, связанные с легкими заряженными частицами (электроны, позитроны) и излучениями в монокристаллах, третья — приложения ориентационных эффектов для исследования ядерных, атомных, твердотельных и других проблем в монокристаллах. Такое деление связано не только с типом частиц, но и с существующей разной формой описания движения легких и тяжелых заряженных частиц в монокристаллах. После работ Й. Линдхарда (1965 г.) для тяжелых заряженных частиц основной моделью описания каналирования стала классическая модель статистического равновесия в фазовом пространстве поперечных координат и импульсов частиц в кристалле (поперечность относительно направления атомного ряда для осевого канала и атомной плоскости для плоскостного каналирования). Для электронов высоких энергий такое описание также возможно, но

основным подходом является квантовомеханическое описание.

Исследование эффектов каналирования и теней для тяжелых частиц в настоящее время идет по двум направлениям. Развитый на основе линдхардовской модели в последние годы в работах датских (Бандеруп, Андерсен и др.) и советских (М. А. Кумахов, В. В. Белошицкий и др.) ученых метод кинетического уравнения для каналированных частиц получил широкое распространение для расчета деканалирования и элементов угловых распределений теневых картин. Такие расчеты были представлены, например, в работах М. А. Кумахова, В. В. Белошицкого и др. (Москва), В. С. Андреева и др. (Свердловск). С другой стороны, появляются работы с экспериментальными и теоретическими результатами, показывающими, что осевое и плоскостное каналирование — связанные явления. Поэтому существующий формализм кинетического уравнения для каналированных частиц не описывает ряда явлений. Из работ на эту тему следует отметить работы Ю. В. Булгакова, В. И. Шульги и др. (Москва) об исследовании поведения прозрачности кристалла в переходной области между осевым и плоскостным каналированием, где был экспериментально обнаружен немонотонный характер поведения прозрачности с увеличением угла падения частиц относительно плотноупакованной оси. Этот эффект был объяснен существованием дополнительной фокусировки упорядоченно расположенными атомными цепочками частиц, движущихся в осевом канале.

Проявление упорядоченности расположения атомных цепочек наблюдается экспериментально в существовании азимутальной зависимости сечения упругого рассеяния каналированных частиц в осевом канале кристалла на большой угол (в «обратной тени»). Наи-

более наглядно это было продемонстрировано при исследовании спектров обратнорассеянных частиц, входящих в осевой канал с одной и той же поперечной энергией ($E_{\perp 0} \geq 0,5E_{\perp \text{кр}}$, где $E_{\perp \text{кр}}$ — ливдхардовская критическая энергия), но с различным начальным азимутом (Е. И. Сиротинин, А. С. Руднев и др., Москва).

Наконец, моделирование на ЭВМ угловых распределений частиц, прошедших тонкий монокристалл в режиме осевого каналирования (А. Г. Кадменский и др., Москва), показало, что в угловых распределениях для $E_{\perp 0} \geq 0,2E_{\perp \text{кр}}$ наблюдается регулярная азимутальная структура, совпадающая с направлением главных кристаллических плоскостей, проходящих через исследуемую кристаллографическую ось. Выяснено, что угловые распределения далеки от статистического равновесия в ливдхардовском понимании, а форма распределений по поперечной энергии также отличается от предсказаний ливдхардовской модели статистического равновесия для осевого канала.

Все эти факты, безусловно, послужат стимулом для дальнейшего развития теории ориентационных явлений.

Дальнейшее развитие получил важный вопрос о механизмах и величинах потерь энергии каналированными ионами. Были вычислены (А. Ф. Буренков и др., Москва, Минск) потери энергии каналированной частицы с учетом зонной структуры энергетического спектра электронов в кристаллах. При этом отношение потерь энергии при движении в осевом канале к потерям энергии при движении частицы в неориентированном направлении оказывается немонотонной функцией энергии частиц и существенно отличается от величины $1/2$, предсказываемой правилом Ливдхарда о равномерном распределении потерь энергии на далекие и близкие столкновения. Экспериментальное исследование средних относительных потерь энергии для различных осей и плоскостей вольфрама, проведенное методом толстых мишеней (Е. И. Сиротинин, А. С. Руднев, А. Ф. Тулинов и др., Москва), показало, что для частиц, вышедших из кристалла в поверхностных слоях, эти величины $\geq 1,5$, а для больших глубин выхода $\sim 0,35$ для всех ориентаций.

Продолжается интенсивное изучение каналирования электронов и позитронов в Томске, Харькове, Москве. Интересны попытки рассмотреть связанное состояние электрона, движущегося в режиме каналирования, и тормозное излучение такого электрона в плоскостном и осевом случаях (Н. П. Калашников и др., Москва; С. А. Воробьев, В. В. Каплин и др., Томск).

С каждым годом расширяется область применения ориентационных эффектов. Широко известны результа-

ты измерения времени жизни возбужденных ядер в ядерных реакциях в монокристаллических мишенях, а также определения местоположения примесного атома в кристаллической решетке. Были доложены результаты измерения времени деления ^{238}U как функции энергии возбуждения в широком энергетическом диапазоне (Ю. В. Меликов, П. Е. Воротников, Н. Г. Чеченин и др., Москва). Полученные результаты свидетельствуют о том, что плотность уровней исследуемого ядра в рассматриваемом диапазоне энергий имеет излом, не объясняемый существующими теоретическими моделями. Значительно продвинулись вперед в определении местоположения примесей (кислорода, углерода) в полупроводниковых кристаллах томские исследователи (Ю. Ю. Крючков, Н. В. Славин и др.), использовавшие для этого α -частицы высоких энергий.

В настоящее время расчет пространственного распределения частиц в канале и его изменения в зависимости от глубины позволяет определять распределение примесных ионов или дефектов по глубине кристалла методом обратного рассеяния частиц. Интересную работу в этом направлении представила объединенная группа специалистов Советского Союза и ГДР.

Исследования динамики фазовых переходов в монокристаллах, а также структуры гетерозитаксиальных пленок (А. А. Пузанов и др., Свердловск) показали, что применение пучков заряженных частиц в этой области позволяет получать новую информацию, значительно повышающую возможности традиционных методов исследования (например, рентгеновского).

Новые возможности в исследовании атомных проблем открывают работы немецких ученых (Г. Отто и др.). Им удалось одновременно с протонограммой на фотопластинке зарегистрировать круг — сечение конуса Косселя рентгеновского характеристического излучения атомов кристалла. Большой интерес вызвал новый подход к исследованию динамического взаимодействия ионов в среде с помощью каналирования, развитый в работах Д. Геммела (США). Если в тонкий монокристалл входит коллимированный пучок молекулярных ионов H_2^+ в направлении плотноупакованной оси, то внутри кристалла молекула распадается, но протоны продолжают двигаться скоррелированным образом в близко расположенных каналах. Угловые и энергетические распределения частиц на выходе кристалла содержат информацию о взаимодействии таких протонов в среде.

КАДМЕНСКИЙ А. Г.

Выставки

Выставка «Радиоизотопные нейтрализаторы статического электричества» на ВДНХ СССР

Выставка работала с 1 сентября по 15 октября 1975 г. Радиоизотопные нейтрализаторы статического электричества (РНСЭ) предназначены для снятия электрического заряда с наэлектризованных материалов при их обработке на различном технологическом оборудовании. За последние годы эта проблема приобрела особенно большое значение в связи с увеличением объема переработки искусственных и синтетических материа-

лов и интенсификацией технологических процессов РНСЭ, выпускаемые отечественной промышленностью, — наиболее эффективное средство борьбы с зарядами статического электричества. По сравнению с ранее применявшимися электрическими и индукционными нейтрализаторами они имеют ряд преимуществ: в них отсутствует электрический источник питания, они портативны, удобны при монтаже, эксплуатации и обслу-