

дов). Оценены параметры принципиальных конструкций, выбраны материалы и уровень температуры теплового цикла. Например, в совместной работе Принстонской и Ливерморской лабораторий подробно описаны параметры гибридной системы с коэффициентом воспроизводства трития более 1, выходом плутония 1,2 на акт синтеза.

Вопросы первой стенки и blankets рассмотрены в восьми докладах. В работе Р. Вернера и М. Хоффмана (Ливерморская лаборатория) в качестве защиты первой стенки предлагается система алюминиевых труб, охлаждаемых водой. Показана возможность защиты первой стенки при потоках до $1,5 \text{ ккал/см}^2$ излучения из плазмы. Некоторые теоретические предсказания перепада давлений при течении жидкого лития в магнитном поле и сравнение с экспериментом даны в работе Г. Карлсона (Ливерморская лаборатория).

В нескольких докладах рассмотрено создание мощных нейтральных пучков для установок PLT (К. Бернер и др., ORMAK; Л. Стюарт и др., Ок-Риджская радиационная национальная лаборатория), для реактора на основе открытой ловушки (Г. Гамилтон и др., Ливерморская лаборатория). Доклад Р. Моира посвящен прямому преобразованию энергии ионных пучков.

В работе Г. Эммерта и др. (Висконсин) рассмотрен возможный вариант осесимметричного дивертера для реактора UWMAK-1 с покрытой литевой пленкой поверхностью пластины нейтрализации. В докладе А. Нассини и др. описывается конструкция эффузора

для улучшения работы дивертера.

Р. Буссард (КАЭ США) схематически рассмотрел основные этапы американской программы на пути к демонстрационному энергетическому термоядерному реактору. В основе программы — создание энергетического реактора-токамака к 2000 г.

Первым этапом на этом пути должно стать сооружение к 1978—1979 гг. токамака с околореакторными параметрами водородной плазмы. Следующий шаг — испытательный термоядерный реактор тепловой мощностью 1—10 Мвт, работающий в режиме коротких импульсов (1981—1982 гг.). Научную основу для этого реактора должны обеспечить эксперименты как на действующих установках (АТС, ОРМАК и др.), так и на установках, которые будут сооружены в ближайшие 4—5 лет (PLT, «Дублет III», PDX). Затем последовательно будут сооружены экспериментальные энергетические реакторы электрической мощностью 20—50 Мвт (~1986 г.) и ~100 Мвт (1990—1995 гг.) со всеми основными системами промышленного реактора. Успешное осуществление программы в целом позволяет, по мнению КАЭ США, рассчитывать, что запуск демонстрационного энергетического реактора — прототипа реактора термоядерной станции мощностью более 500 Мвт состоится уже в этом столетии. Реализация программы во многом будет зависеть от уровня финансирования всего комплекса работ.

БРВНОВ Н. Н., ЕЛИСЕЕВ Г. А.

VI Международный конгресс по вакуумной технике

С 23 по 29 марта 1974 г. в Киото (Япония) проходил VI Международный вакуумный конгресс, организованный Международным союзом общества вакуумной науки, технологии и их применения (IUVSTA) совместно с Вакуумным обществом Японии. В работе конференции приняли участие около 1000 ученых и инженеров из 34 стран. Были представлены доклады по следующим основным направлениям: средства откачки, средства измерения общего и парциального давлений, средства и методы изучения явлений на поверхности твердого тела, техники и методы осаждения пленок, вакуумные системы ускорителей, вакуумные системы установок термоядерного синтеза.

Современное развитие откачного оборудования характеризуется увеличением объема выпуска и расширением диапазона исследований безмасляных средств откачки. Традиционные средства откачки с использованием масел в качестве рабочей жидкости все еще широко используются, и работы по их усовершенствованию не прекращаются.

Из прочитанных на конгрессе работ и по представленным на выставке экспонатам виден большой прогресс в развитии турбомолекулярных насосов. Разработки велись в двух направлениях: по устранению углеродсодержащих компонентов в составе остаточного газа и созданию более компактных и удобных в эксплуатации конструкций. В настоящее время практически все фирмы Европы, Америки и Японии, за исключением фирмы «Бальдерс» (государство Лихтенштейн), выпускают или разрабатывают турбомолекулярные насосы (ТМН) в вертикальном исполнении. Западногерманская фирма «Лейбольд-Хераeus» разработала новую серию ТМН на скорости откачки 300, 500 и 1500 л/сек при скорости

вращения ротора 36 000, 24 000 и 21 000 об/мин соответственно. Высота этих насосов около 400 мм при диаметрах входного патрубка 100, 150 и 250 мм. Японская фирма «Осака вакуум продакс» выпускает серию ТМН со скоростями откачки 250, 650 и 1000 л/сек и предельным вакуумом $8 \cdot 10^{-9}$ торр. Наибольший интерес представляет ТМН, разработанный французской фирмой «Алкатель». Образец этого насоса был представлен на выставке. Его отличительная особенность — газовые подшипники, используемые авторами вместо традиционных подшипников, чтобы полностью избавиться от масла, и динамическое уплотнение между атмосферой и вакуумом для ввода вращения. Газовые подшипники и динамическое уплотнение позволили создать насос со следующими характеристиками:

Скорость откачки, л/сек ~ 450
Компресссионное отношение для $\text{H}_2 \geq \dots 1,5 \cdot 10^3$
Диаметр входного патрубка, мм 200

В этом насосе применены две последовательные ступени откачки: турбомолекулярная, дающая большую скорость откачки, и типа Гольвека, позволяющая получить большое компресссионное отношение. Решены основные проблемы ТМН: он полностью свободен от масла, имеет большое компресссионное отношение для водорода, полностью отсутствуют трущиеся части и вибрация.

По-прежнему большое внимание уделяется исследованиям и разработке различных геттерных насосов. В докладе Д. Харра (США) приводятся и обсуждаются результаты экспериментов по определению скорости откачки газа напыленными титановыми пленками. Геттерам и современным геттерным устройствам, меха-

низму откачки геттерами и их использованию в современных лампах посвящен доклад Т. Гиорги (Италия). Теория квадрупольного ионного насоса была развита Х. Хора (США). Все более широкое распространение получают насосы орбитронного типа. Например, японской фирмой «Джиол» экспонировались образцы насосов орбитронного типа со скоростями откачки 100, 400 и 1000 л/сек, предельным вакуумом $2 \cdot 10^{-10}$ торр и стартовым давлением $5 \cdot 10^{-3}$ торр. Характеристики этих насосов обсуждались в докладе С. Като. По утверждению авторов, такие насосы лучше откачивают водород, азот и окись углерода, чем магниторазрядные.

Широкое внедрение криогенных насосов сдерживается отсутствием небольших ожигательных установок, тем не менее криогенные насосы как наиболее экономичные начинают все больше использоваться. Об их применении для получения давлений ниже 10^{-10} торр в накопительных кольцах ИЗАБЕЛЛА доложил Х. Халама (США). Оптимизированным конденсационным криогенным насосам для получения давлений ниже 10^{-13} торр посвящен доклад Ц. Бенвенути (ЦЕРН). В насосах, где используется посеребренная сорбирующая поверхность при $T = 2,3^\circ \text{K}$ и шевронные защитные жалюзи с малой отражательной способностью, можно получить, например, скорость откачки 5000 л/сек при объеме гелия 14,8 л, время работы без дозаправки 5,2 дня.

Определенный интерес представляет доклад Ю. Мурани (Япония) о каталитическом насосе для откачки водорода в диапазоне давлений 10^{-5} — 10^{-6} торр со скоростью откачки 5000 л/сек, основанном на каталитической реакции атомарного водорода на пластинах закиси меди. Молекулярный водород переходит в атомарный на раскаленных ренийевых нитях. Вода, получаемая в результате каталитической реакции, откачивается поверхностью, охлажденной до температуры жидкого азота.

Диффузионным насосам было посвящено четыре доклада; в одном докладе рассматривалась рабочая жидкость. В обзорном докладе М. Хаблацана (США) и в двух докладах Г. Реттейнхауса (Лихтенштейн) главное внимание уделено проблеме обратного потока паров масла в высоковакуумную систему. Экспериментально показано, что основное количество паров масла в систему поступает в диапазоне промежуточных давлений 10^{-4} — 10^{-2} торр. Поэтому особенно важен процесс пуска вакуумной системы. К. Сакума (Япония) сообщил о разработке новой рабочей жидкости «Лион С» на базе монооксиданафтадена. Эта жидкость позволяет получить предельный вакуум $7,5 \cdot 10^{-10}$ торр, устойчива к атмосферному воздуху и создает меньше загрязнений, чем «Дау корнинг-705».

Следует особо отметить широкое развитие исследований поверхности с помощью Оже-спектроскопии и вторичной ионной и электронной спектроскопии, а также наличие хорошо отработанных и выпускаемых промышленностью приборов для этих целей. Очевидно, что дальнейшее продвижение в область сверхвысокого вакуума, понимание природы загрязнений вакуума без развития этих исследований невозможно. Доклады были посвящены как разработке приборов для Оже-спектроскопии, так и результатам исследований в различных областях. Х. Мнака (Япония) сообщил о магнитном масс-спектрометре высокой чувствительности для измерения парциальных давлений ниже 10^{-16} торр. Ионный ток ниже 10^{-20} а измеряется с помощью 12-каскадного электронного умножителя типа «Аллеа». На выставке были представлены новейшие образцы приборов для Оже-спектроскопии фирм ряда стран Европы и Японии.

По протонным кольцевым ускорителям и накопительным кольцам был сделан обзорный доклад Е. Фишером (ЦЕРН). Основным средством откачки в кольцевых ускорителях являются магниторазрядные насосы; в качестве предварительных насосов используются турбомолекулярные насосы. Основное преимущество магниторазрядных насосов (несмотря на то, что они дороже других насосов, например, орбитронного типа) — надежность их работы в течение нескольких лет. Так, вакуумная система протонного синхротрона на 400 ГэВ ЦЕРНа рассчитывается таким образом, чтобы насосы в течение всего срока службы ускорителя не требовалось ни менять, ни реконструировать; с учетом этого условия вакуум в камере ускорителя выбран равным 10^{-7} торр.

О вакуумной системе создающегося в Японии протонного синхротрона рассказал Г. Хорикоши. Для откачки вакуумной камеры используются магниторазрядные насосы и ТМН. Вакуумная камера бустера — силфонного типа из нержавеющей стали, вакуумная система протонного синхротрона — из инконеля толщиной 2 мм. Основное внимание уделено процессу подготовки вакуумной системы к работе. Теоретически и экспериментально показано, что в системах, подобных ускорителю, не требуется предварительного прогрева магниторазрядных насосов. При стартовом давлении 10^{-4} торр они в достаточной степени прогреваются собственным током и обеспечивают требуемые параметры. Такая система позволяет сократить на несколько часов время запуска ускорителя.

Протяженность вакуумных систем современных ускорителей несколько километров и откачиваются они сотнями насосов (например, гиперпротонный синхротрон ЦЕРНа будет иметь 125 ТМН, 815 магниторазрядных насосов, 5000 фланцевых уплотнений, 400 измерительных ламп и т. д.), поэтому параметры вакуумной системы контролируются ЭВМ. Для сборки вакуумной камеры в условиях высокой радиации в ЦЕРНе разработано простое уплотнение, которое может быть собрано из-за защитного экрана, причем рабочий может стоять на расстоянии 1 м от уплотнения. Фланцы уплотняются только двумя болтами, которые затягиваются одновременно специальным инструментом. Уплотнение устанавливается инструментом типа удочки.

Требования к вакууму в накопительных кольцах существенно более жесткие, чем в ускорителях, причем очень жесткие требования предъявляются к количеству газа, адсорбированного на стенках вакуумной камеры. В накопительных кольцах необходим вакуум 10^{-9} — 10^{-11} торр, а в местах встречи пучков — до 10^{-13} торр.

В докладе Г. Халамы (Брукхейвенская национальная лаборатория, США) рассматривается проект вакуумной камеры накопительных колец ИЗАБЕЛЛА. Так как эти кольца проектируются на базе сверхпроводящих магнитов, то предлагается использовать криогенные средства откачки. Камера может предварительно прогреться до 300°C . В ней предусмотрены электроды для очистки стенок разрядом. Полученный предельный вакуум в опытном образце лучше 10^{-10} торр.

Х. Пингель (ФРГ) сообщил о вакуумной камере для протон-электрон-позитронных накопительных колец ДЮРИС. Основная особенность вакуумной системы — использование встроенных по длине камеры магниторазрядных насосов в поле основного магнита. Другая важная особенность — изготовление самой камеры из меди. Предварительные исследования показали, что поверхность меди удается обезгазить в 2—2,5 раза лучше, чем поверхность из нержавеющей стали. В результате десорбция газа под действием синхротронного

излучения снижается. Полученный в камере предельный вакуум около 10^{-11} торр.

Вакуумным системам линейных ускорителей был посвящен обзорный доклад Е. Гарвина (США). Описана вакуумная система Стэнфордского линейного ускорителя. Требование к вакууму будет более жестким при ускорении поляризованных электронов до 10^{-9} торр). С развитием криогенных линейных ускорителей, где удается получить большие градиенты ускоряющего напряжения, возникают проблемы электронной прочности поверхностей. Поэтому становятся актуальными проблемы изучения поверхностей при пробоях. Перспективно изучение явлений пробоя с помощью электронного микроскопа, так как при сверхвысоком вакууме величины допустимых напряжений определяются уже структурой поверхности.

В докладе Б. Холидея (Англия) приводятся параметры и конструкция вакуумной системы тандема на 30 Мэв. Отличительная особенность конструкции — ускорительная трубка длиной 45,2 м, состоящая из секций длиной 0,82 м с фланцами на концах. Электроды изготовлены из титана, изоляторы — из окиси алюминия. Трубка откачивается равномерно расположенными титановыми насосами, которые могут работать при наружном давлении азота 8 атм. Место обдирки откачивается криогенным насосом. В трубке получен вакуум 10^{-7} торр.

Проблемы вакуума для термоядерных установок обсуждались на специальной секции. Г. Следзиевский (Франция) доложил о вакуумной камере большого французского токамака ТФР, о технологии подготовки камеры для получения в ней сверхвысокого вакуума. В докладе Г. Левина (США) рассмотрены проблемы вакуума в проектируемом термоядерном реакторе ПЦЛ на основе токамака и небольшое внимание уделено вакууму в реакторах Лос-Аламосской лаборатории на

базе тэта-пинча и Ливерморской лаборатории на базе открытой ловушки с пробками. Ф. Прево (Франция) сделал обзор проблем, связанных с вакуумом в физике плазмы. Ю. М. Пустовойт (СССР) на примере термоядерных установок открытого типа и токамака (ЛИН-5 и ТО-1) рассказал о вакуумной технике установок ядерного синтеза.

Взаимодействию быстрых ионов и атомов водорода и гелия с поверхностями металлов посвящена работа Г. Мак-Краена (Англия). Рассматривалось, в частности, разрушение поверхности молибдена и вольфрама ионами гелия с энергией до 100 кэв.

Большое число докладов было посвящено явлениям на поверхности твердого тела и тонким пленкам. Представлены доклады по следующим разделам: реакция газ — твердое тело, хемосорбция на металлических поверхностях, электронные свойства полупроводников, каталитические реакции на поверхности твердых тел, отражение атомов и молекул от поверхности твердых тел, электронная спектроскопия хемосорбированных атомов и молекул, электронная спектроскопия, физическая адсорбция.

На 78 стендах выставки демонстрировали свою продукцию 54 фирмы. Наиболее широко были представлены фирмы Японии. Показаны разнообразные образцы откачной, измерительной аппаратуры, установки для нанесения тонких пленок, вакуумные печи, печи для вакуумной переплавки металлов, вакуумная арматура. Большой интерес представляет разработанное ферромагнитное уплотнение для передачи вращения в вакуум при скоростях вращения до 120 000 об/мин. Характерная особенность новейших установок — их максимальная автоматизация, работа по заданной программе с использованием ЭВМ.

ПУСТОВОЙТ Ю. М.

Международная конференция по компьютерному сканированию

2—5 апреля 1974 г. в Оксфорде (Англия) проходила Международная конференция по компьютерному сканированию различной फिल्मовой информации при помощи автоматов на электронно-лучевых трубках (ЭЛТ), работающих на линии с ЭВМ. Конференция была организована Лабораторией ядерной физики Оксфордского университета при содействии ЦЕРНа и ряда научных центров США. В ней приняли участие специалисты большинства стран Западной Европы, США, СССР, Японии и др. Рассматривались вопросы разработки и применения автоматов на ЭЛТ в физике высоких энергий и других областях науки и техники, где требуется автоматическая обработка различной फिल्मовой информации на основе применения ЭВМ. Доклады группировались по следующим трем основным направлениям:

- 1) применение автоматов на ЭЛТ для массовой обработки снимков с новых больших пузырьковых камер;
- 2) применение автоматов на ЭЛТ для решения физических задач (для обработки различной फिल्मовой информации в медицине, метеорологии, астрономии, для обработки снимков со спутников и т. д.);
- 3) исследования новых бесфильмовых (видиконных) систем обработки информации и пути разрешения основных технических трудностей, препятствующих развитию таких систем.

В начале почти всех пленарных заседаний (в день проводилось по два заседания) делались обзорные доклады, в которых обсуждалось общее состояние данного тематического направления и акцентировалось внимание на его еще не решенных проблемах и перспективах развития.

В физике высоких энергий автоматы на ЭЛТ стали основным средством массовой обработки снимков с пузырьковых камер. В ЦЕРНе (Швейцария) для обработки снимков с новой пузырьковой камеры ВЕВС создана группа автоматов на ЭЛТ ERASME. В Аргоннской национальной лаборатории (США) для обработки снимков с 12-ти футовой пузырьковой камеры успешно применяется автомат на ЭЛТ POLLY-3. Снимки с новой большой 15-ти футовой пузырьковой камеры в Баттевии (США) при облучении ее пучками частиц ускорителя на 400 Гэв будут обрабатываться при помощи автоматов на ЭЛТ SAMM. Всего в физических центрах мира, занимающихся исследованиями в области физики высоких энергий, действуют и разрабатываются 14 типов автоматов на ЭЛТ. Их технические характеристики и основные решения имеют много общего. Почти все автоматы предназначены для обработки фильмов с шириной 70 мм (3—4 фильма на одном автомате). Рабочее поле в плоскости фильма — до 60×100 мм², диаметр светового пятна не более 16—20 мм, единица отсчета