

Химии новых элементов были посвящены обзорные доклады И. Звары (ОИЯИ) и Ф. Давида (Франция). В первом из них анализировалась относительная роль химических и ядерно-физических доказательств открытия в истории трансурановых элементов, рассматривались достоинства термохроматографии летучих неорганических соединений как основного метода химической идентификации трансактиноидных элементов. Обсуждались также вопросы интерпретации данных химических опытов с единичными атомами и было показано, что во всех практически важных случаях поведение отдельных атомов совпадает с поведением макроколичеств. Наиболее интересные результаты в докладе Ф. Давида относились к исследованию химических свойств менделевия. Было найдено, что его химия подобна химии двухвалентного фермия. С помощью термохроматографии в Орсе установлено существование четырехвалентного эйнштейния. Новые данные о физико-химических свойствах менделевия были представлены также в докладах А. Н. Каменской (СССР) и З. Хюбенера (ГДР). В докладе В. П. Доманова (ОИЯИ) рассматривалась постановка опытов по химической идентификации элемента 107 на основе высокой ле-

тучести окисных и гидроокисных соединений рения — его ближайшего аналога.

Подводя итоги, можно констатировать, что синтез новых элементов на ускорителях и поиск СТЭ в природе, несомненно, сохраняют высокую актуальность. Эта проблема имеет многие аспекты и коренным образом затрагивает фундаментальные концепции современной физики атомного ядра и ядерной химии. Исследования в области синтеза новых элементов, в особенности сверхтяжелых, позволяют критически проверить представления о строении ядра, в частности, о его оболочечной структуре, о силах, действующих в ядре, и т. д. Последние и определяют устойчивость ядер, а следовательно, и предельное число элементов, которое может содержать Периодическая таблица Менделеева.

К открытию симпозиума в ОИЯИ был издан сборник кратких сообщений о всех представленных докладах. Полный текст семи приглашенных докладов, прочитанных на симпозиуме, будет опубликован в официальном журнале ИЮПАК «Pure and Applied Chemistry» в 1981 г.

ЛАЗАРОВ Ю. А.

## VIII Международный вакуумный конгресс

Конгресс состоялся 22—26 сентября 1980 г. в Канне (Франция). Одновременно проводились IV международная и III европейская конференции по физике поверхностей и тонким пленкам. В работе конгресса и конференций, организованных Международным союзом по исследованиям, технике и применению вакуума и Французской вакуумной ассоциацией при участии международных и национальных научных центров, научных и научно-технических обществ и ассоциаций, участвовали свыше 1200 специалистов из 42 стран. Было представлено около 650 пленарных, секционных и стендовых докладов по физике, технике и технологии вакуума, кинетике двухфазных сред, физике и технологии тонких пленок и т. п. Работала выставка образцов вакуумного откачного, технологического и измерительного оборудования, аппаратуры и приборов, выпускаемых более чем 40 крупнейшими зарубежными фирмами.

Представленные на конгрессе доклады охватывали следующие тематические направления: методы анализа молекулярных потоков; взаимодействие ионного и электронного пучков с твердой поверхностью; газодиффузионные характеристики конструкционных материалов; сверхвысоковакуумные системы электрофизических комплексов; компримирующие, криогенные и электрофизические насосы; вакуумные технологические установки; контроль герметичности; приборы вакуумметрии и масс-спектрометрии; метрология вакуума.

Большая часть докладов по физике вакуума была непосредственно связана с работами по созданию и технологической оптимизации вакуумных систем термоядерного реактора JET, ускорительных комплексов ЦЕРНа, ФРГ, Японии, США, Франции, Великобритании и т. п. Заметное место занимали вопросы кинетики теплового и стимулированного газовойделения и газопроницаемости конструкционных материалов вакуумных камер. Большое внимание уделялось влиянию различных видов предварительной физико-химической обработки и воздействию на материалы нейтронного, электронного, ионного и электромагнитного излучения.

Измерения, выполненные группой специалистов Исследовательского центра в Зайберсдорфе (Австрия) в реакторе ASTRA (плотность потока  $\gamma$ -квантов и нейтронного потока в зоне образца  $1,4 \cdot 10^{14}$  и  $6,4 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup>·с<sup>-1</sup> соответственно), показали существенное влияние реакторного излучения на водородопроницаемость нержавеющей стали. В диапазоне 690—840 К температура монотонно увеличивается с мощностью дозы, возрастая при 840 К и мощности дозы 0,5 Вт/г примерно втрое по сравнению с необлучаемым образцом.

В связи с созданием кольцевого накопителя — источника синхротронного излучения измерен коэффициент электронно-стимулированной десорбции с поверхности образцов из бескислородной меди (Ливерпульский университет). Показано, что после одновременного воздействия на образец прогрета при 200 °С и тлеющего разряда в среде Ar — O<sub>2</sub> (10%) парциальный коэффициент электронно-стимулированной десорбции падает в 2 (CH<sub>4</sub>) — 10 (H<sub>2</sub>) раз. Уменьшение плотности электронного потока приводит к возрастанию электронно-стимулированной десорбции. В диапазоне 0,1—3 кэВ наблюдается ее медленный рост с энергией.

В связи с разработкой ускорительных комплексов группой ISR (ЦЕРН) измерен парциальный коэффициент ионно-стимулированной десорбции с поверхности образцов из нержавеющей стали при различной температуре  $T$ . Независимо от температуры мишени и условий ее предварительного обезгаживания коэффициент ионно-стимулированной десорбции быстро возрастает с увеличением массы бомбардирующих ионов  $m_i$  ( $\eta'_{H_2}$  — отношение коэффициента ионно-стимулированной десорбции при бомбардировке образца данным ионом и ионом H<sub>2</sub><sup>+</sup> соответственно). При прогреве образца наблюдается снижение  $\eta_{H_2O}$ , коэффициент  $\eta$  для остальных десорбирующихся газов несколько возрастает. Изменение энергии бомбардирующих ионов в диапазоне 1—5 кэВ почти не влияет на  $\eta_i$  (см. таблицу).

В некоторых работах приводились константы теплового газовойделения различных конструкционных материалов. Обратила на себя внимание, в частности, низкая скорость газовойделения (менее 10<sup>-12</sup> (Па·м)/с) алюминий-магниевого сплава AlMg<sub>3</sub>, на подвергнувшегося предварительной обработке (Институт физико-химической ассоциации, Зап. Берлин).

Свыше 20 докладов было посвящено сверхвысоковакуумным системам недавно введенных в эксплуатацию, строящихся и проектируемых синхротронных ускорителей нового поколения (ISABELLE, США; BESSY, Зап. Берлин; LEP, реконструируемый ISR, ЦЕРН; PETRA, ФРГ; TRISTAN, TARN, Япония). Наряду с традиционным подходом к построению системы откачки таких ускорителей — применением автономных электрофизических насосов, устанавливаемых между магнитами, и постов предварительной откачки на базе турбонасосов, — все более широко используют встроенные насосы как элемент интегрированного вакуумного тракта. Такое конструктивное решение устраняет ограничения по предельному вакууму, связанные с малой площадью

Изменение  $\eta_{H_2}$  для непрогретого образца

$m_i$ , а.е.м.	2			4			28			44		
	$T$ , К	$\eta_{H_2}$		$T$ , К	$\eta_{H_2}$		$T$ , К	$\eta_{H_2}$		$T$ , К	$\eta_{H_2}$	
	4,2	77	300	4,2	77	300	4,2	77	300	4,2	77	300
	1	1	1	~ 1	1,2	1,2	1,5	10	10	2	18	12

поперечного сечения и соответственно низкой проводимостью вакуумных камер современных синхротронов. Новым здесь является применение встроенных разрядных насосов с виртуальным анодом, представляющим собой параллельный набор перфорированных пластин, которые выполняют роль анодного электрода в пеннинговской разрядной ячейке (TRISTAN, BESSY). Все более распространенными становятся вакуумные камеры из алюминиевых сплавов.

В части докладов описаны криогенные средства откачки ускорителей (циклотронный комплекс тяжелых ионов GANIL, Франция; электростатический тандем-генератор на 30 МВ, Великобритания).

В числе обсуждавшихся тем следует назвать также предложения по расчетной модели вакуумного тракта реакторотомасака (НИИЭФА), конструкцию и эксплуатационные особенности газовой пушки для инжекции в токамак топливных криотаблеток (фирма Leybold-Heraeus), конструктивные особенности быстродействующей арматуры для термоядерных и ускорительных комплексов (Институт физики плазмы, Италия; ЦЕРН), характеристики специализированного портативного блока контроля герметичности протяженных камер на базе турбомасоса и гелиевого масс-спектрометра (DESY, ФРГ) и т. п.

Переходя к безмасляным средствам высоковакуумной откачки, необходимо отметить быстрое развитие криогенных насосов различных модификаций. Некоторые промышленные фирмы (Leybold-Heraeus, Varian, Balzers и др.) освоили к настоящему времени выпуск криосорбционных насосов на основе автономных рефрижераторов замкнутого цикла. К их достоинствам относятся способность откачивать с достаточной быстротой водород и гелий, сохранение работоспособности при кратковременном повышении давления газа, возможность работы при произвольной ориентации в пространстве. Все крионасосы этого типа выполнены по двухступенчатой схеме, температурный уровень 1-й ступени — 80 К, 2-й — 14—20 К, холодопроизводительность 2-й ступени — до 10 Вт. Для откачки неконденсируемых газов криопанель 2-й ступени покрыта сорбентом, например, кокосовым углем со средним размером зерен, закрепленных на стенке эпоксидной смолой, 1,5 мм. Диапазон производительности крионасосов весьма широк. К примеру, насосы фирмы Air Products (США) имеют быстроту действия от 680 до  $9 \cdot 10^3$  л/с (по воздуху) и от 300 до  $5,8 \cdot 10^3$  л/с (по гелию). Потребляемая ими от сети мощность составляет 1,8—5 кВт; масса собственно крионасоса — от 15 до 45 кг, компрессора — от 175 до 550 кг. Продолжительность работы до ремонта лучших образцов насосов приближается к  $10^4$  ч. Так, ресурс крионасоса VK-12 фирмы Varian составляет  $9 \cdot 10^3$  ч.

Несколько докладов было посвящено исследованиям специализированных крионасосов для откачки термоядерных реакторов. Экспериментально показано, что коэффициент конденсации при температуре 4,2 К для смеси протий — дейтерий ниже, чем для чистых газов (Свободный университет, Зап. Берлин). Предельная толщина конденсата составляет  $6 \cdot 10^{20}$  молекул/см<sup>2</sup>. Воздействие на слой конденсата против теплового потока до  $10^{-2}$  Вт/см<sup>2</sup> приводит к примерно трехкратному росту давления. Для конденсата дейтерия подобный эффект не наблюдался. Сотовая конденсирующая поверхность с отношением глубины сот к их ширине около 10 исследована в работе группы специалистов Национальной лаборатории физики высоких энергий (Япония). Показано,

что такая форма криповерхности предпочтительна при эксплуатации конденсационного насоса в условиях его облучения энергетичными частицами. Предложения по энергетической оптимизации крионасосов в интервале сверхвысокой вакуум — атмосфера были высказаны в докладе группы специалистов ХФТИ.

Наряду с крионасосами дальнейшее развитие получили испарительные геттерные и ионно-геттерные насосы, описание которых было посвящено несколько докладов. Так, на основе плазменного электродугового источника геттерных пленок разработано несколько модификаций сверхвысоковакуумных испарительных насосов для откачки активных газов с предельным остаточным давлением  $5 \cdot 10^{-11}$  мм вод. ст. (НИИЭФА). Геттерные пленки напыляются на охлаждаемые водой или жидким азотом тонкостенные профилированные стенки. Откачиваемые камеры от запыления защищены поворотными жалюзи. Дуговой разряд инициируется импульсным впрыскиванием в межэлектродный промежуток плазменного сгустка. Насосы имеют высокие массо-габаритные характеристики и большой запас геттера. Испарительные ионно-геттерные насосы типа BINION были представлены болгарскими специалистами. По оси насосов этой серии установлены испарители геттера, которые нагреваются электронным пучком. В результате комбинации скрещенных электрического и магнитного полей обеспечивается эффективная ионизация и последующее поглощение инертных газов, благодаря чему насосы могут использоваться для откачки атмосферного воздуха и других газовых смесей, содержащих инертные газы.

На конгресс были представлены также подробные данные о новых разработках турбомолекулярных насосов, технические и эксплуатационные характеристики которых за последние годы заметно улучшились. Фирмой Leybold-Heraeus разработана, в частности, новая серия таких насосов, не требующих водяного охлаждения и работающих при произвольной ориентации в пространстве. Быстрота действия — 145 и 345 л/с ( $N_2$ ), коэффициент компрессии —  $10^9$  ( $N_2$ ), предельное остаточное давление —  $10^{-8}$  Па, масса — 7 и 11 кг соответственно. Усовершенствование конструкции и системы смазки подшипниковых узлов позволило довести их ресурс до 20 тыс. ч и снизить вибрацию. Эта же фирма продолжает работы по турбомасосам с магнитной подвеской ротора.

Заметный шаг вперед сделан в создании паромасляных диффузионных насосов нового поколения (фирмы Alcatel и Edwards). В насосах применены рабочие жидкости с низкой упругостью пара, благодаря чему нет необходимости в низкотемпературных ловушках. С помощью таких насосов, используя лишь водоохлаждаемые жалюзийные ловушки, получают предельное остаточное давление  $(3-5) \cdot 10^{-8}$  Па. В спектре остаточных газов идентифицируются только водород и вода.

Представленные на конгресс доклады свидетельствуют о существенном расширении технологического применения вакуумного оборудования и аппаратуры, а также о дальнейшем прогрессе метрологии вакуума, вакуумметрической и масс-спектрометрической аппаратуры. Доклады и экспонаты выставки по этому разделу отразили работы по оптимизации конструкции преобразователей, используемых материалов, технологии, по широкому внедрению цифровой техники, микропроцессоров, устройств для графического

отображения информации, по расширению внедрения вакуумной измерительной аппаратуры в медицине и промышленности, по автоматизации контроля герметичности с применением масс-спектрометрических методов течеискания в крупносерийном производстве.

Анализ представленных докладов и материалов выставки позволяет сделать следующие выводы:

1. Стимулирующую роль в исследованиях по физике вакуума и в создании новых средств безмасляной сверхвысоковакуумной откачки играют в настоящее время потребности электрофизического аппаратостроения;

2. Общая направленность разработок высоковакуумных систем ускорительно-накопительных и электрофизических комплексов нового поколения характеризуется:

расширяющимся применением в качестве основного конструкционного материала алюминиевых сплавов, обладающих высокой технологичностью, благоприятным сочетанием физико-механических, вакуумных и ядерно-физических свойств и низкой стоимостью;

возрастающими масштабами реализации принципа интеграции вакуумного тракта с ориентацией на встроенные разрядные насосы с виртуальным анодом;

использованием для предварительной откачки и тренировки вакуумных камер автоматизированных откачных постов на базе турбонасосов;

использованием в широких масштабах стандартизированной аппаратуры — быстроразъемных фланцевых соединений цепного типа, характеризующихся простотой, технологичностью и экономичностью, шибберных затворов с малой строительной высотой на базе термостойких эластомерных уплот-

нителей, а также двухконтурных затворов с металлическим уплотнителем и дифференциальной откачкой промежуточной полости.

3. Основными средствами эксплуатационной тренировки и очистки поверхности сверхвысоковакуумных камер термоядерных и ускорительных установок становятся комбинированные прогрев до 200—300°C и обработка тлеющим разрядом.

4. Среди средств сверхвысоковакуумной безмасляной откачки наиболее быстрыми темпами в настоящее время разрабатываются и организуется промышленный выпуск криосорбционных насосов с автономными криогенераторами на базе газовых холодильных машин. Заметно повышена эксплуатационная надежность и улучшены технико-экономические характеристики турбомолекулярных насосов. Продолжаются работы по созданию автономных насосов и встроенных откачных блоков на основе ленточных нераспыляемых геттеров.

5. Благодаря созданию новых рабочих жидкостей с низкой упругостью пара начат промышленный выпуск экономичных сверхвысоковакуумных диффузионных насосов, дающих без применения специальных хладагентов свободный от углеводородов спектр остаточных газов с предельным остаточным давлением  $\sim 5 \cdot 10^{-8}$  Па. Применение таких насосов представляется весьма перспективным для некоторых типов электрофизических установок.

Труды конгресса опубликованы. Очередной конгресс намечено провести в сентябре 1983 г.

САКСАГАНСКИЙ Г. Л.

## II Всесоюзное совещание по радиационным дефектам в металлах

В совещании, состоявшемся в июне 1980 г. в Алма-Ате, участвовали более 200 специалистов, представляющих основные научно-исследовательские организации страны. Представленные доклады (всего 181) отражали четыре направления радиационной физики твердого тела: природа и свойства радиационных дефектов в металлах; радиационное упрочнение и охрупчивание, длительная прочность и ползучесть облученных металлов и сплавов; вакансионное и газовое распухание неделящихся материалов; фазовые превращения под облучением.

На совещании были подведены итоги и отмечены успехи, достигнутые в области радиационной физики твердого тела. Прежде всего это развитие и привлечение новых методов к исследованию облученных металлов — метода ЯМР, электронной микроскопии, эффекта Мёссбауэра и др. Указанные методики значительно расширили возможности изучения природы дефектов на атомном уровне. Например, использование эффекта Мёссбауэра позволило успешно расшифровать атомные конфигурации смешанных дефектов: атомы примеси — собственные междоузельные атомы (Ш. Ш. Ибрагимов и др., ИЯФ АН КазССР). Привлечение атомной микроскопии дало возможность разобраться в атомной структуре дефектных областей, остающихся после прохождения единичных каскадов смещений атомов в металлах (А. А. Суворов, ИТЭФ).

Часть докладов была посвящена изучению природы радиационных дефектов, процессов их образования в металлах. Так, для металлов с г. ц. к.-структурой выявлен класс радиационно-упрочняющих дефектов. Показано, что радиационное упрочнение в них обусловлено, в основном, кластерами вакансионного и междоузельного типа размером не более 5 нм (Ш. Ш. Ибрагимов). Предложена и обсуждена теория каскадов атом-атомных соударений в металлах с легкими примесями (И. К. Евлампиев, Ю. В. Трушин, ФТИ им. Иоффе) и в сверхпроводящих материалах (В. Г. Чудинов и др., ИФМ АН СССР). Важными для понимания процессов

отжига облученных металлов представляются предложенные механизмы высокотемпературных (V—VI) стадий отжига радиационных дефектов (Л. Н. Лариков, ИФМ АН УССР), эффекты побочных воздействий (в виде ультразвуковых колебаний) на низкотемпературные стадии отжига (И. А. Наскидашвили и др., Институт физики АН ГССР) и изучение влияния условий облучения на кинетику образования и роста скоплений междоузельных атомов (В. И. Левит, Ю. М. Плишкин, И. Е. Подчиненов, ИФМ АН СССР). Были высказаны критические замечания по поводу методики определения концентраций первичных дефектов в облучаемых металлах и внесено предложение учитывать наряду с простым подсчетом числа смещений (или пар Френкеля) вакансионные кластеры, образующиеся непосредственно в каскадах смещений на месте обедненных зон (В. В. Ганн, В. В. Кирсанов, О. В. Юдин, ХФТИ и ИЯФ АН КазССР).

Большое внимание на совещании было уделено радиационному упрочнению и охрупчиванию, длительной прочности и ползучести облучаемых металлов и сплавов. В обзорных докладах был приведен всесторонний анализ экспериментальных данных по зависимости радиационной ползучести от напряжения, дозы облучения и температуры (Ш. Ш. Ибрагимов, Ю. С. Пятилетов, ИЯФ АН КазССР и П. А. Березняк и др., ХФТИ). Были классифицированы механизмы радиационной ползучести, обсуждены теоретические модели, а также связь радиационной ползучести с распуханием. Была исследована радиационная ползучесть металла в рамках механизма, в основу которого положено предположение о наведенной напряжением анизотропии диффузии точечных дефектов (Н. А. Демин, Ю. В. Конобеев, ФЭИ). Широко были представлены и результаты исследований механических свойств конструкционных металлических материалов для ядерной и термоядерной энергетики. Для этих материалов получены важные эксплуатационные характеристики (долговечность, ползучесть, прочность, изменение модулей упругости и др.).