

На секции химии простых соединений урана показано, что детальное изучение фазовых превращений в оксидах урана позволило уточнить представления о системе уран — кислород и понять причины расхождения данных, полученных различными авторами. Л. М. Ковба отметил, что фазовые отношения в системе уран — кислород зависят не только от состава, температуры и давления. Существенное влияние оказывают сдвиговые напряжения, возникающие в процессе двойникования или механического воздействия. Из докладов К. М. Дунаевой, И. И. Кожина, Л. П. Родионова и др. получена большая информация о строении и природе химической связи в соединениях урана, механизме и кинетике процессов разложения.

На заключительном заседании в обзорных докладах Б. Н. Ласкорина и Ю. А. Золотова был сделан анализ состояния и уровня исследований в СССР и за рубежом в области аналитической химии, сорбционных и экстракционных методов выделения урана. В докладах Р. Н. Щелокова и Н. П. Галкина показаны успехи и тенденции в развитии химии координационных и простых соединений урана.

В заключительном слове В. И. Спицын отметил, что исследования по химии урана, выполненные в СССР, привели к существенным достижениям, позволившим самостоятельно и оригинально решить сложнейший комплекс проблем урана.

Советскими химиками накоплен огромный экспериментальный и теоретический материал, охватывающий самые разнообразные стороны химии урана. В решении

конференции намечены области, требующие усиления экспериментальных и теоретических работ. Внимание исследователей обращено на развитие теории химической связи в соединениях урана, приложение методов квантовой механики к расчету энергетических соединений электронов в атомах урана различной валентности, а также на применение структурных методов, в том числе электронной колебательной и рентгеновской спектроскопии, методов магнитного резонанса. В области координационной химии предложено расширить работы по направленному синтезу координационных соединений трех- и четырехвалентного урана, усилить исследования уранорганических соединений; исследования в области высокотемпературной химии урана (твердые соединения, растворы, расплавы) сосредоточить на синтезе и изучении свойств соединений урана с соединениями элементов IV, V, VI групп. Намечено расширить поиск оптимальных методов извлечения урана из природных источников с малой концентрацией урана, разработать математические модели оптимизации процессов выделения и очистки соединений урана; поиск новых аналитических методов направить по пути повышения чувствительности и точности определения урана, их автоматизации в целях создания автоматизированных систем управления процессами с помощью ЭВМ.

Конференция позволила не только наметить основные направления дальнейших исследований, но и способствовала их лучшей координации.

НЕСМЕЯНОВА Г. М.

IX Международная конференция по ускорителям высоких энергий

2—7 мая 1974 г. в Станфорде (США) проходила очередная конференция по ускорительным установкам высоких энергий, организованная Международным отделом чистой и прикладной физики, Национальным фондом и КАЭ США. Было представлено около 140 докладов от 17 стран и двух международных центров (ЦЕРНа, ОИЯИ), в которых ведутся работы по физике высоких энергий. Прочитано 60 докладов по следующим направлениям: развитие действующих ускорительных установок высоких энергий, накопительные кольца; сверхпроводимость (магниты и резонаторы); коллективные методы ускорения; динамика пучка в ускорителях; новые проекты ускорительных и накопительных установок сверхвысоких энергий.

Несмотря на условность такой классификации представленных на конференцию материалов (многие доклады касались сразу нескольких из перечисленных направлений), она сохранена в предлагаемом ниже обзоре.

Прогресс в действующих ускорительных установках высоких энергий. Основные усовершенствования протонных синхротронов (ИФВЭ на 70 ГэВ, NAL* на 400 ГэВ, ЦЕРН на 28 ГэВ) заключались в увеличении числа ускоряемых протонов. Эта задача решалась двумя путями — максимальным заполнением акселеранса основного кольца ускорителя (при фиксированной энергии инжекции) и увеличением энергии инжекции с помощью бустерного кольца. В результате проведен-

ных исследований на ускорителе ИФВЭ при многооборотной инжекции получено предельное число протонов в импульсе*, равное $3 \cdot 10^{12}$. Ускоритель ЦЕРНа после запуска бустера (0,8 ГэВ) ускоряет в импульсе до $6 \cdot 10^{12}$ протонов; ускоритель NAL выведен на проектную интенсивность 10^{13} протон/имп.

В табл. 1 приведены значения потоков вторичных частиц, полученных на ускорителе NAL.

Потоки вторичных частиц на ускорителе

Таблица 1

Частица	Поток, сек ⁻¹ ·см ⁻²	Энергия, ГэВ	$\Delta E/E$, %
π , K	10^7 на 150 см ²	До 200	$0,014 \div 2,1$
n	10^8	До 300	—
K ⁰	10^6	До 300	—
v	10^6	До 200	5,0
μ	10^6 на 150 см ²	До 150	2,0

Физические эксперименты на этом ускорителе могут проводиться одновременно на семи внешних мишенях при эффективности медленного вывода пучка 97%; продолжительность плато магнитного поля 1 сек, при полном цикле — 6 сек.

* Запуск бустерного кольца (1,5 ГэВ) позволит увеличить это значение до $5 \cdot 10^{13}$ протон/имп.

* Национальной ускорительной лаборатории США (NAL) на открытии ускорительного комплекса 11 мая 1974 г. присвоено имя Э. Ферми.

Основные параметры проектируемых ускорительных и накопительных комплексов

Таблица 2

Проект	Лаборатория	Сталкивающиеся частицы	Энергия, Гэв	Светимость, см ⁻² ·сек ⁻¹	Стоимость	Окончание сооружения
ISABELLE	Брукхейвен (США)	$pp, p\bar{p}$	200	$10^{33} (pp)$ $10^{29} (p\bar{p})$	—	1981 г.
TRISTAN	Япония	$pp, e^+p, e^+e^-, p\bar{p}$	180	—	—	1985 г.
EPIC *	Лаборатория Рендерфорда (Англия)	e^+e^-	14	$5 \cdot 10^{31}$	20 млн. фунт.	1981 г.
SUPER—ADONE	Фраскати (Италия)	e^+e^-	12	10^{32}	27 млн. долл.	—
PEP **	Станфорд (США)	e^+e^-	15	10^{32}	60 млн. долл.	1979 г.

* Предусматривается решение комплекса путем добавления кольца на энергию 80 Гэв для ep -взаимодействий с $L = 5 \cdot 10^{31}$ см⁻²·сек⁻¹.

** На второй стадии предусматривается сверхпроводящее кольцо для протонов на энергию 200 Гэв.

Параметры эксплуатируемых электронных ускорителей за время, прошедшее после VIII Международной конференции (Женева, 1971), изменились несущественно. К наиболее значительным результатам можно отнести увеличение в два раза интенсивности и растяжки пучка на ускорителе DESI (Гамбург, ФРГ), получение нескольких дополнительных пучков на ускорителе SLAC (Станфорд, США), которые включают пучки K^+ -мезонов интенсивностью 10 частиц/имп в диапазоне энергии 7—13 Гэв. В настоящее время ведется подготовка по переводу SLAC в режим удвоения энергии, который основан на увеличении амплитуды ускоряющего поля за счет накопления энергии в двух высокодобротных резонаторах, подключенных к выходному волноводу каждого клистрона *. Длительность импульса, а также средний ток будут снижены при этом режиме работы в три раза, однако энергия пучка увеличится до 48 Гэв.

Накопительные кольца. Был представлен ряд докладов по единственной в настоящее время, работающей на встречных протонных пучках установке ISR (ЦЕРН). Основные исследования и усовершенствования этой установки были направлены на увеличение светимости в зонах встречи, а также времени жизни пучков. Светимость L доведена до $6,7 \cdot 10^{30}$ см⁻²·сек⁻¹, а $\tau = 58$ ч (при токе каждого пучка 12а). Эти результаты получены за счет улучшения вакуума до $2 \cdot 10^{-11}$ торр (в камерах) и до $3 \cdot 10^{-12}$ торр (в промежутках пересечения), а также тщательного изучения резонансного возбуждения колебаний вблизи резонансов 5—8 порядков, которые начали проявляться при таких токах пучков. Дальнейшее увеличение светимости (до 10^{32} см⁻²·сек⁻¹) предполагается получить с помощью установки в промежутках пересечения дополнительных квадрупольных линз, которые уменьшают поперечные сечения пучков в области взаимодействия.

Подробно обсуждались новые эффекты, а также методы улучшения параметров действующих электрон-позитронных накопителей на высокие энергии. К их числу относятся накопители в Орсе (DCI) на 1,8 Гэв ($L = 4 \cdot 10^{31}$ см⁻²·сек⁻¹), Фраскати (ADONE) на 1,5 Гэв

* Предыдущие проекты увеличения энергии этого ускорителя с использованием сверхпроводящих резонаторов, а также с дополнительной петлей (проект RLA) отпали по различным причинам.

($L = 6 \cdot 10^{29}$ см⁻²·сек⁻¹) и Станфорде (SPEAR) на 2,6 Гэв ($L = 6 \cdot 10^{30}$ см⁻²·сек⁻¹). Ведутся работы по запуску накопителя в Гамбурге (DORIS) на 3 Гэв ($L = 10^{32}$ см⁻²·сек⁻¹).

Основные исследования на этих установках посвящены эффектам резонансов связи поперечных колебаний $aQ_r \pm bQ_z = c$ и эффекту типа «head — tail» продольных колебаний для различных мод возбуждения.

Сверхпроводимость. Подавляющее большинство проектов ускорительных и накопительных комплексов на сверхвысокие энергии (см. табл. 2) основывается на применении магнитной структуры из сверхпроводящих магнитов. Работы по исследованию сверхпроводящих магнитных элементов, выполненные в Брукхейвене, Беркли, Батейвии (США), а также в Женеве (ЦЕРН), Карлсруэ, Сакле, показывают, что на базе сверхпроводящих кабелей из ниобий-титана при толщине жил 5—10 мм для импульсных магнитов можно получить воспроизводимые характеристики для одного элемента вплоть до индукции 3,5—4 тл. Однако разбор параметров сверхпроводников, выпускаемых промышленностью, достигает 5—7%, что приводит к проблеме раздельного питания блоков.

Для окончательного решения вопроса о возможности использования сверхпроводящих элементов в крупных ускорительных системах в лаборатории NAL проектируется замена периода структуры ускорителя на 500 Гэв сверхпроводящими элементами с последующей эксплуатацией в обычном режиме работы; в Лаборатории Лоуренса (Беркли) начаты работы по проекту ESCAR — кольцевому синхротрону для ускорения протонов до энергии 4,2 Гэв.

Интенсивно продолжаются исследования магнитных элементов на основе сверхпроводника из ниобий-олова и ванадий-галлия в целях увеличения критического поля до 6—10 тл.

Некоторый прогресс достигнут в области ВЧ-сверхпроводимости. Это связано в первую очередь со снижением потерь ВЧ-мощности за счет уменьшения рабочей температуры ниже 4° К. Так, например, для ниобиевых резонаторов при уменьшении температуры с 4 до 1,6° К поверхностное сопротивление падает более чем на два порядка (с $5,0 \cdot 10^{-6}$ ом до 10^{-8} ом при TE_{011} -мод на частоте 3,6 ГГц). Этот эффект позволяет снизить погонные потери мощности в резонаторах (при температуре 1,5—

1,6 °K до $1-1,5 \text{ вт/м}$). Существенно упростилась технология изготовления ниобиевых резонаторов (штамповка, сварка электронным лучом), а также технология закрепления поверхностных свойств (отжиг при 1600 °C, в вакууме 10^{-6} торр). Делаются попытки получить сверхпроводящие резонаторы методом электролитического нанесения ниобия на стекло и нержавеющей сталь. Однако несмотря на отмеченные успехи, пока не удается поднять средний набор энергии выше 3 Мэв/м в основном из-за холодной эмиссии электронов. Тем не менее полученные результаты позволили физикам лаборатории SLAC приступить к реализации проекта сверхпроводящего линейного ускорителя с четырехкратным прохождением пучка через ускоряющую структуру.

Коллективные методы ускорения. Лаборатории ОИЯИ, Гархинга и Карлсруэ (ФРГ), Беркли и Мериленда (США) продолжали работы по исследованию основных характеристик электронных колец, предназначенных для ускорения ионов. Основные усилия этих исследовательских групп были направлены на получение максимального числа электронов в кольце после процесса сжатия, так как набор энергии ионом на единицу длины пропорционален этому числу (при заданных геометрических размерах сечения малого кольца). В настоящее время все исследовательские группы довели число электронов в сжатом кольце до $(3-6) \cdot 10^{12}$, что соответствует энергетическим градиентам 10—20 Мэв/м.

Попытки дальнейшего увеличения плотности электронов в кольце наталкиваются на ограничения, связанные с эффектом азимутальной неустойчивости пучка. Для смещения порога этого эффекта используются металлические экраны, которые располагаются вблизи кольца, в целях уменьшения продольного электрического поля и тем самым импеданса кольца. В Гархинге проведены первые эксперименты по ускорению кольца с помощью градиента магнитного поля до скоростей $(2 \pm 0,4) \cdot 10^9 \text{ см/сек}$. В Беркли начаты эксперименты по ионизации газа в электронном кольце.

Обсуждались также другие методы коллективного ускорения ионов в электронных пучках. Однако экспериментальные результаты, полученные в прямых электронных пучках разными лабораториями, существенно расходятся. Нет пока и удовлетворительного теоретического объяснения процессов ускорения.

Динамика пучка. Кроме приведенных выше эффектов, в долгоживущих пучках (накопительные кольца) возможно проявление статистических эффектов, связанных с флуктуациями во времени ошибок управля-

ющего поля. Принципиально такие эффекты могут приводить к увеличению фазовых объемов пучка. Ряд докладов был посвящен динамике пучка во время инжекции и вывода при использовании нелинейных резонансных эффектов.

Новые проекты. Из новых проектов протонных ускорителей, завершение которых ожидается в ближайшие два года, на конференции было сообщено о протонном синхротроне на 12 Гэв Национальной лаборатории физики высоких энергий в Японии. Комплекс ускорительной установки включает линейный ускоритель на 20 Мэв и бустерное кольцо на 500 Мэв. Пуск комплекса намечен на 1975 г., максимальная проектная интенсивность $10^{13} \text{ протон/имп.}$

В проект протонного синхротрона SPS (ЦЕРН) внесены некоторые незначительные изменения (в основном касающиеся структуры магнитной системы). Эти изменения позволили увеличить предельную энергию до 400 Гэв. По этому комплексу намечено завершить работы в 1976 г.; ожидаемая проектная интенсивность $10^{13} \text{ протон/имп.}$

Были представлены доклады по проектам ускорительно-накопительных комплексов следующего поколения, решения о финансировании которых пока нет. В этих проектах используются различные комбинации встречных пучков стабильных заряженных частиц в широкой области энергии. Основные параметры этих комплексов приведены в табл. 2. Рассмотренные проекты базируются на сверхпроводящих магнитных системах с максимальной индукцией поля 3,5—4,5 тл.

Несколько необычное использование накопительного кольца предложено в Аргоннской национальной лаборатории (США) для получения непрерывного пучка в ускорителе ZGS (протонный синхротрон на энергию 12 Гэв). Основная идея растяжителя заключается в переносе обычного плато магнитного поля синхротрона, на котором осуществляется медленный вывод пучка, в расположенное концентрически (по отношению к основному) кольцо накопителя, составленное из сверхпроводящих магнитов. Средняя интенсивность возрастет при этом за счет уменьшения цикла основного ускорителя.

Проекты удвоения энергии на синхротроне NAL (США) до 1000 Гэв и синхротроне SPS (ЦЕРН) до 800 Гэв также связаны с окончательным решением вопроса об использовании сверхпроводящих импульсных магнитов в ускорительных установках на высокие энергии.

ДМИТРИЕВСКИЙ В. П.

IX Заседание Международной группы связи по термоэмиссионному методу генерирования электроэнергии

На IX заседании Международной группы связи (МГС) по термоэмиссионному преобразованию (ТЭП), состоявшемся в Париже в мае 1974 г., были заслушаны сообщения о состоянии работ по ТЭП в ряде стран; рассмотрены некоторые организационные вопросы.

Заседание показало, что, несмотря на снижение темпов промышленного освоения термоэмиссионного метода, начинается новая фаза его идейного подъема. Этот подъем обусловлен ростом убежденности специалистов в реальности создания ТЭП с более низкими рабочими температурами — на 200—300 градусов ниже существующих. До сих пор основным сдерживающим фактором развития ТЭП была именно высокая рабочая температура, такая, при которой многие физико-хими-

ческие свойства материалов близки к инженерному пределу (низкая механическая прочность, высокая скорость испарения, большое газовыделение, большие потери тепла за счет излучения и т. д.). Вследствие очень сильной зависимости этих факторов от температуры ее снижение всего на 200—300 градусов снимает основные ограничения и приводит к качественным изменениям в объеме возможностей термоэмиссионного метода.

Отмеченная убежденность подкрепляется все более надежными экспериментальными данными. Для сохранения достаточно высокой выходной мощности преобразователя необходимо, чтобы снижение температуры эмиттера сопровождалось соответствующим уменьшением потерь энергии электронного газа. Для этого тре-