

Конференции и совещания

II Международная конференция по источникам многозарядных ионов

26—30 октября 1975 г. в Гатлинберге (США) состоялась II Международная конференция по источникам тяжелых многозарядных ионов и системам их ускорения. Она была организована Ок-Риджской национальной лабораторией при поддержке американских научных обществ. В работе конференции приняли участие около 140 ученых из 12 стран. Наиболее крупные делегации были представлены США, ФРГ и Францией. Делегация СССР состояла из пяти человек. Было заслушано более 50 докладов (два от СССР). Доклады обсуждались на семи последовательных секциях.

Были представлены обзорные доклады и сообщения по следующим направлениям: фундаментальные процессы в источниках, источники многозарядных ионов (МЗИ), тяжелых отрицательных ионов, поляризованных тяжелых ионов, обдирка на фольгах. Наибольшее число докладов было посвящено исследованиям источников МЗИ различных типов и тяжелых отрицательных ионов. Ускоренные МЗИ, полученные непосредственно из источника ионов или образованные в результате обдирки предварительно ускоренных отрицательных ионов, используются для изучения многих вопросов. К их числу, кроме задач ядерной физики тяжелых ионов, среди которых синтез трансурановых элементов занимает одно из ведущих мест, относятся поиски решения целого ряда вопросов физики твердого тела — имплантация ионов с целью исследований в области полупроводников (изготовление микромодулей счетно-решающих систем), сверхпроводящих материалов, моделирования радиационных повреждений в структуре металлов для выбора или синтеза материалов, устойчивых к интенсивным нейтронным полям (термояд, бридеры) и т. д. Следует также отметить расширение использования быстрых ионов в биологических исследованиях и лечебных целях. По-видимому, в связи с этим значительную часть участников конференции составляли представители университетов и промышленных организаций, заинтересованных в новых сведениях по источникам тяжелых ионов.

На конференции рассматривались четыре источника МЗИ, дуговые с подогревным и холодными катодами, в которых используется осцилляция электронов в продольном магнитном поле; дуоплазмотроны, электронно-лучевые и источники с электронно-циклотронным нагревом.

До настоящего времени на ускорителях в течение 20 лет использовались только дуговые источники МЗИ. Источники с подогревным катодом и подогревным катод разработаны в ИАЭ им. И. В. Курчатова, а источник с холодными катодами в Ок-Ридже (США). Первый из них, в силу специфических особенностей его разряд-

ных характеристик, дает возможность получать наибольшие интенсивности токов МЗИ любых элементов периодической системы. Вследствие этого на протяжении длительного времени пучки ускоренных тяжелых ионов на циклотронах ОИЯИ (Дубна) были наиболее интенсивными, что в значительной мере способствовало достижению известных успехов в области ядерной физики тяжелых ионов в лаборатории Г. Н. Флерова. Привлекательные особенности этого источника не остались незамеченными, и он в течение ряда лет копируется в лабораториях разных стран (Бельгия, ФРГ, Франция, Швеция и Япония).

Исследованию физических процессов в столбе разряда дуговых источников ионов было посвящено два доклада. К выводу о существовании нелинейных коллективных процессов пришли Х. Шульте и сотрудники (Дармштадт, ФРГ) на основании калориметрических и зондовых измерений. Новые представления о распределении электрических полей в столбе разряда и их влиянии на образование МЗИ и зависимости энергосодержания плазмы от различных параметров источника составили часть доклада Б. Макова (ИАЭ, СССР).

Наиболее удобным и довольно эффективным способом подачи твердых веществ в разряд оказался метод катодного распыления их ионами из разряда. Такой источник с подогревным катодом разработан в ОИЯИ (Дубна) и успешно работает в циклотроне. В подобном источнике Х. Шульте и сотрудники (ФРГ) установили дополнительно накаливаемый цилиндр с целью испарения материала, осаждающегося на стенках анода для повторного введения его в разряд. Б. Гевин (Беркли, США) в источнике для Super NILAC заменой одного центрального распыляемого электрода двумя кольцевыми, разнесенными по отношению к середине анода, получил увеличение выхода Au^{9+} в три раза и обнаружил, что использование неона в качестве опорного газа приводит к экономии дорогостоящего изотопа ^{48}Ca . Оригинальный метод распыления образца материала «возвратными» ионами в циклотронном источнике используется М. Меллори (Ок-Ридж, США).

Дуоплазмотрон в качестве источника МЗИ в настоящее время может быть использован на линейном ускорителе UNILAC (Дармштадт, ФРГ), поскольку требуемое отношение заряда к массе иона составляет всего $\geq 0,046$, т. е. могут быть ускорены, например, ионы He^{7+} , U^{11+} . В развитии дуоплазмотронов существенных успехов достигли ученые Дармштадта и Орсе (Франция).

Быстро развивающиеся электронно-лучевые источники позволяют получать ионы с высокой степенью ионизации, однако пока с относительно небольшими

интенсивностями токов, недостаточными для использования их на ускорителях. В криогенном импульсном источнике Е. Донца (ОИЯИ, СССР) при энергии электронов 500 эВ получены пучки ионов Ar^{16+} и He^{20+} . Большой интерес представляют также приведенные в докладе сечения ионизации МЗИ электронным ударом для С, N и Ar. Р. Беккер и сотрудники (Франкфурт, ФРГ) предполагают, что интенсивность непрерывного тока U^{11+} может быть получена до 100 мкА, что удовлетворяет требованиям UNILAC.

В развитии источников МЗИ с подогревом плазмы на электронно-циклотронном резонансе за последнее время сделан существенный шаг. Этой теме было посвящено четыре доклада (Гренобль и Орса, Франция; Марбург, ФРГ; Ок-Ридж, США). Последняя модель источника (Р. Желе и сотрудники, Гренобль) представляет собой трехкаскадное сочленение магнитных «бутылок», в котором плазма перетекает из одной секции в другую с повышением зарядового состояния. Получены токи 10^{14} частиц/с S^{5+} и O^{9+} и максимальный заряд ионов Kr^{15+} . Значение nT составляет $6 \cdot 10^{15}$ эВ/см³, что в четыре раза превышает значение nT в дуговом источнике (ИАЭ). По-видимому, это направление в разработке источников МЗИ перспективно, ожидается получение ионов U^{60+} в достаточном количестве для использования на ускорителях, обсуждается возможность применения такого источника в проекте GANIL (Франция).

Образование отрицательных ионов тяжелых элементов в интенсивно развивающихся в настоящее время источниках осуществляется в результате катодного распыления образца материала ионами Cs^+ ($E \sim 20$ кэВ). «Линейная» конструкция ионного источника за последние два года (Р. Мидлетон, США) вытесняется более компактной «обращенной», в которой конические мишени (К. Чепман, США) или плоские (Г. Эдмон, США) бомбардируются также Cs^+ -ионами, ускоренными от поверхности термоионизатора, а отрицательные ионы ускоряются в обратном направлении теми же электродами ионной оптики, которые ускоряют Cs^+ . Н. Смит (США) отмечает существование корреляции между электронным средством и выходом отрицательных ионов в различных типах ионных источников (т. е. чем ниже электронное средство, тем ниже выход). Интенсивности пучков ионов различных элементов составляют, например: $Li^- \sim 5$, $C^- \sim 70$, $O^- \sim 130$, $Si^- \sim 45$, $S^- \sim 55$ мкА. Кроме отмеченных типов источников продолжают совершенствоваться плазменные источники отрицательных ионов — триплазмотроны (Леджон, Франция) и дуговые источники с осциллирующей электродами (Н. Смит, США). Е. Штеффенс (ФРГ) в подробном докладе сообщил о разработке источника поляризованных отрицательных тяжелых ионов для Гейдельбергского тандема. Получен ток 200 нА Li^{3+} на мишень,

указывается на возможность получения поляризованных ионов Na, Cl, I и Br. Среди теоретических работ следует отметить доклады Р. Олсона (США) о процессах образования отрицательных ионов водорода и Д. Кауфмана (США) о электронном средстве.

Г. Фрик и другие (Франция) сообщили интересные результаты обдирки ионов Ni, I и Au с энергией 0,5—0,85 МэВ/А на углеродных фольгах с толщиной 2—200 мкг/см², работа проводится для проекта GANIL. К. Бете и сотрудники (ФРГ) для обдирки использовали сверхзвуковую струю примерно в том же диапазоне толщин, расход аргона на толщине мишени 100 мкг/см² составлял 0,4 г/с при диаметре струи 2 мм.

В последнее время все больше уделяется внимания обследованию параметров ионных пучков и прежде всего измерению эмиттанса для получения пучков с высокой фазовой плотностью. Измерен эмиттанс пучков, полученных из дуговых ионных источников с радиальным (Д. Кларк и сотрудники, США) и аксиальным (К. Бете и сотрудники, ФРГ) вытягиванием ионов. Эмиттанс пучков отрицательных ионов измерен Н. Андерсоном (Дания), Н. Смитом (США) и Г. Дукасом и др. (Англия). В последнем докладе сообщается о разработке системы для измерения эмиттанса с помощью компьютера и использовании анализатора энергии ионов с высоким разрешением.

Строительство новых экспериментальных установок для исследования и разработки источников МЗИ за последние три года в ведущих центрах за рубежом Беркли, Ок-Ридже (США), Дармштадте (ФРГ) свидетельствует о стремлении к дальнейшему развитию источников, поскольку затраты на эти работы, несомненно, полностью окупятся упрощением проектируемых ускорителей и повышением эффективности эксплуатируемых.

Конференция явилась важным этапом в развитии источников МЗИ, она подвела итоги основным достижениям в этой области, продемонстрировала все возрастающий интерес к исследованию и разработке источников тяжелых ионов во многих странах мира и позволила специалистам обсудить результаты работ научно-исследовательских лабораторий различных стран за последние годы. Работы советских специалистов по источникам многозарядных ионов дугового типа с подогревным катодом и электронно-лучевым источникам занимают ведущее место. Советские доклады вызвали большой интерес участников конференции. Источники с подогревным катодом до настоящего времени являются наиболее эффективными для использования их на ускорителях.

Труды конференции будут опубликованы в журнале IEEE, NS-23, № 2, апрель 1976.

МАКОВ Б. Н.

III Международная конференция по импульсной плазме с большим β

Несмотря на общеизвестные успехи ставшей классической программы «Токамак», продолжают настойчивые поиски других, более эффективных систем получения и удержания высокотемпературной плазмы.

Результаты изучения систем, в которых β -отношение газокINETического давления плазмы к давлению внеш-

него удерживающего магнитного поля порядка единицы или больше, обсуждались на III Международной конференции по импульсной плазме с большим β . Конференция проходила в Калемской лаборатории (Великобритания) с 9 по 12 сентября 1975 г. В конференции приняли участие более 120 делегатов из 14 стран. Ее