

Следует отметить успешное использование наносекундной импульсной техники для измерения скоростных коэффициентов ионизации и прилипания в SF_6 , He и других газах. Подобные эксперименты представили Дж. Лукаш (Англия), а также Т. Теич (Англия).

П. Кошьян (Швейцария) провел тщательный анализ измерений скорости диссоциации N_2 в стационарном тлеющем и ВЧ-разрядах и показал важную роль объемной рекомбинации в образовании атомов при высоких давлениях и преимущественно пристеночный характер рекомбинации при низких давлениях газа. Эти результаты имеют важное значение для плазмохимических исследований.

Отметим, наконец, оригинальную конструкцию сильноточного электронного пучка, которую представил

Д. Свифт-Хук с сотрудниками (Англия). Секционированная ускорительная трубка практически полностью избавляет от паразитных пробоев, а электронный пучок дрейфует внутри тлеющего разряда, набирая энергию ~ 1 Мэв. Длительность пучка несколько десятков микросекунд, мощность 10^7 вт. Установка проста в изготовлении, в качестве изолятора используется элегаз. В настоящее время она служит для получения мощной вспышки рентгеновского излучения.

Участникам конференции была представлена возможность посетить Марчвудские лаборатории Министерства по производству электричества Великобритании.

ШОЛИН Г. В.

Всесоюзное совещание - семинар по сильноточным ускорителям

В последние годы во многих научных центрах страны растет число электронных сильноточных ускорителей, быстро развиваются исследования по физике сильноточных релятивистских электронных пучков и использованию их в науке и технике. Это новое направление возникло в результате успехов ускорительной техники, техники мощных наносекундных генераторов, физики диэлектриков и физики плазмы. Разработкой электронных сильноточных ускорителей (ЭСУ) и физическими экспериментами с электронными пучками занимаются уже большие коллективы ученых и инженеров. Однако до сих пор это направление не имело своего форума и работы обсуждались на совещаниях по традиционным ускорителям, физике плазмы, коллективным методам ускорения и т. д.

На Всесоюзной конференции по электронным ускорителям (Томск, 1972 г.) и II Симпозиуме по коллективным методам ускорения (Дубна, 1972 г.) было рекомендовано провести совещание, специально посвященное ЭСУ и экспериментам на них. Оно было организовано НИИЯФ Томского политехнического института и состоялось 3—7 сентября 1974 г. в Томске. Свыше 150 ученых из всех заинтересованных научных центров страны заслушали более 30 обзорных докладов и оригинальных сообщений.

ЭСУ — ускорители прямого действия, работающие в режиме однократных импульсов, и их элементы подвергаются воздействию импульсных напряжений с амплитудой до нескольких мегавольт и длительностью от 10^{-8} — 10^{-7} сек (пушки, отдельные элементы линий) до 10^{-5} — 10^{-6} сек (линии, разрядники, изоляторы и т. п.). Поэтому для надежного проектирования ЭСУ чрезвычайно важно знать поведение твердых, жидких и газообразных диэлектриков в больших объемах под воздействием высоких импульсных напряжений в широком диапазоне длительностей. Г. А. Воробьев (Институт автоматизированных систем управления и радиоэлектроники, Томск) обобщил последние исследования пробоя твердых диэлектриков в импульсных полях. В высоковольтных импульсных устройствах рекомендуется использовать полимерные материалы. При комбинации твердых и жидких диэлектриков автор рекомендует применять такие конфигурации, при которых большая часть силовой линии проходит по жидкости.

Жидкие диэлектрики широко используются не только в линиях ЭСУ, но и в разрядниках, поэтому

важно знать как их изоляционные, так и коммутационные свойства (скорость развития разряда, диаметр и проводимость канала, способы иницирования разряда). Условия работы жидких диэлектриков в ЭСУ настолько специфичны, что практически не удается использовать результаты исследований, выполненных для нужд промышленного электроаппаратостроения, и огромный опыт, касающийся некоторых жидких диэлектриков. Поэтому большой интерес вызвали исследования свойств жидких диэлектриков, выполненные в Научно-исследовательском институте высоких напряжений ТПИ применительно к специфике ЭСУ и обобщенные В. Я. Ушаковым. В его докладе приведена теоретическая точка зрения на пробой жидких диэлектриков и даны практические рекомендации по выбору рабочих градиентов и формы изоляторов.

Наиболее сложные физические процессы происходят в пушках ЭСУ, где на вакуумный промежуток длиной порядка 1 см подается напряжение в сотни и тысячи киловольт, образуется плотная плазма и электроны движутся в скрещенных электрических и магнитных полях. Значительная часть исследований, позволивших лучше понять картину явлений, происходящих в пушках ЭСУ, была выполнена в Институте оптики атмосферы СО АН СССР (Томск) и обобщена в докладах Г. А. Месяца и С. П. Бугаева.

Работа разрядников, коммутирующих линии ЭСУ, во многом определяет эффективность и стабильность ЭСУ. По мнению Н. С. Руденко (НИИЯФ ТПИ), при токах коммутации порядка 100 кА и выше газовые одноканальные разрядники неэффективны и должны применяться многоканальные газовые или жидкостные разрядники. Четырехканальный управляемый разрядник, работающий в смеси азота и элегаза, устойчиво коммутирует линию ускорителя «Тонус» НИИЯФ ТПИ с разбросом в несколько наносекунд. Жидкостными и газовыми разрядниками на напряжения больше 1 Мэв рекомендуется управлять путем изменения потенциала промежуточного электрода, а не тригatronным способом, малоэффективным в этих условиях (В. Я. Ушаков, Н. С. Руденко).

Во многих научных центрах страны работает по несколько ЭСУ. Так, в НИИЯФ ТПИ создано три ускорителя («Тонус», НСУ-600, «Пионер») и один сооружается («Тонус-II»). На первом этапе «Тонус-II» будет давать сильноточный пучок электронов микро-

секундной длительности, а в дальнейшем наносекундной длительности с энергией 1,5 Мэв и током 0,5 Ма (Ю. А. Усов).

В ИЯФ СО АН СССР много внимания уделяется использованию воды в линиях и разрядниках ЭСУ и интенсивно изучаются способы повышения ее электрической прочности, коммутационные свойства и т. п. Эти исследования и установки Института были описаны в докладе В. М. Федорова.

Анализ современного состояния ЭСУ (Б. Н. Яблоков, ФИАН, Москва) показывает, что в сооруженных и сооружаемых установках есть много неиспользованных резервов (рациональный выбор систем зарядки, типа и изоляции линий, разрядников и т. п.) может существенно повысить эффективность и энергоемкость ускорителей и снизить их габариты. Однако уже сейчас ясно, что сложившаяся схема ЭСУ имеет очевидный, определяемый малой энергоемкостью конденсаторных накопительных систем, предел по максимальной энергии, передаваемой в пучок. Индуктивные накопители энергии в принципе могут обеспечить на порядок большую энергоемкость. Основная трудность в реализации индуктивных накопителей — создание быстродействующих и надежных размыкателей. Этим вопросам были посвящены доклады А. В. Лучинского и Ю. А. Котова.

Большое место в программе совещания было отведено обсуждению физических результатов, полученных с помощью ЭСУ. В докладе А. Н. Лебедева (ФИАН) рассмотрены стационарные состояния интенсивных электронных пучков. На основе гидродинамического и общего кинетического подхода получены выражения для предельных токов для цилиндрических, сплошных и трубчатых пучков. Предложены самосогласованные теоретические модели стационарных трубчатых пучков, которые при соответствующей величине внешнего магнитного поля могут переносить сколько угодно большой ток. Рассмотрены также бессильные конфигурации цилиндрических пучков с током выше предела Альфвена.

Для ряда приложений весьма важно описать поведение пучка при его взаимодействии с плотной диссипативной плазмой. Анализ этого процесса, проведенный В. П. Григорьевым (НИИЯФ ТПИ), показал, что энергия пучка передается плазме за счет соударений электронов плазмы с тяжелыми частицами. Преимущественное возбуждение определенного типа колебаний зависит от величины инкремента соответствующего типа неустойчивости. Учет энергетического разброса электронов пучка позволил автору получить выражение для критических токов различных типов неустойчивостей и определить минимальный критический ток пучка, ниже которого система стабильна.

Экспериментально переходные процессы, возникающие при инжекции электронного пучка с энергией 450 кэв и током 1 ка в предварительно созданную ксеноновую плазму различной плотности, изучались в ФИАНе. В сообщении А. Г. Шкваруца отмечено, что при плотности плазмы 10^{12} см⁻³ наблюдается неустойчивость, при которой пучок навивается на плазменный шнур, а при плотности $4 \cdot 10^{13}$ см⁻³ пучок электронов полностью нейтрализуется.

Коллективные методы ускорения привлекают к себе внимание многих исследователей разных стран.

В лабораториях США, ФРГ и ОИЯИ (СССР, Дубна) накоплен большой опыт по созданию электронных колец, понята многие сложные вопросы инжекции электронов в адгезатор, влияния резонансов бататронных колебаний и радиационной неустойчивости на

число электронов в кольце. Весь этот материал был обобщен в обзорном докладе В. П. Саранцева (ОИЯИ).

Работа по созданию электронных колец ведется в НИИЯФ ТПИ. С появлением ЭСУ открылись новые возможности получения электронных колец. Одна из них заключается в использовании того факта, что электронный сильноточный пучок отражается от металлических поверхностей. Весьма заманчиво получить электронное кольцо не традиционным способом, инжектируя электроны в заворачивающее магнитное поле, а путем отражения от стенок металлического тора. Это обещает значительное увеличение плотности и числа электронов в образующихся кольцах. В НИИЯФ ТПИ создана установка, в которую будет инжектироваться пучок электронов сильноточного ускорителя «Тонус». Ее параметры: энергия инжекции 1,5 Мэв, ток инжекции 3 см, конечный радиус частиц 3 см, конечная энергия 18 Мэв, напряженность магнитного поля в конце ускорения 28,5 кэ, радиус пучка в конце ускорения 0,3 см. Исследованы отражение пучка от металлической поверхности и фокусировка его в газоразрядной плазме низкого давления. Об этой установке и ведущихся в настоящее время экспериментах по созданию кольца рассказал А. Н. Диденко.

Одной из разновидностей коллективного метода ускорения является недавно открытое ускорение ионов при прохождении сильноточного электронного пучка через газ в некотором диапазоне давлений. Как сообщил В. М. Лихачев (ФИАН), при инжекции электронного пучка с энергией 600 кэв и током 15—20 ка в дейтерий зарегистрированы дейтроны с энергией до 4 Мэв, причем максимальное число ионов ускорялось до 2 Мэв. Это явление не получило еще достаточно убедительного объяснения. Предлагавшиеся модели, как правило, объясняли его некоторые стороны, но противоречили друг другу. К. В. Ходатаев (РИАН, Москва), рассказал о новой модели, выдвинутой им совместно с В. Н. Цытовичем (ФИАН). Согласно этой модели, образно названной авторами «моделью осла и морковки», после нейтрализации электронного пучка, проходящего через газ, может возникнуть флуктуация плотности ионов, которая приведет к фокусировке электронного пучка и образованию впереди нее нескомпенсированного электронного ступка. Такая «фокусировочная» неустойчивость электронного пучка может быть периодической по длине пучка. Максимумы электрического поля электронных ступков находятся в области ионных флуктуаций, и ионы под действием этих полей начинают двигаться в сторону электронного фокуса, т. е. по ходу пучка. Одновременно начинает двигаться и электронный фокус, ибо его положение определяется положением флуктуации ионов, и ионы будут ускоряться. По расчетам авторов, может образоваться один-два ускоренных ступка с числом ионов $\sim 5 \cdot 10^{12}$ и энергией ~ 10 Мэв.

Сильные нелинейные волны в плазме и релятивистских пучках, распространяющихся в ней, В. Н. Цытович рассматривает как области локализации в небольших объемах сильных электрических полей, которые можно использовать для ускорения частиц. С этой точки зрения большое значение имеют генерация нелинейных волн и солитонов, распространяющихся со скоростью, близкой к скорости света, возможность образования двух- и трехмерных солитонов и их устойчивость относительно разных возмущений, управление фазовыми скоростями и амплитудами сильных нелинейных волн путем создания неоднородных концентраций (пучка или плазмы).

Появление сильноточных пучков открыло интересную возможность ускорения некоторой доли пучка за счет энергии, запасенной в остальной его части.

В некоторых лабораториях СССР и США проведены эксперименты по автоускорению. Обзор этих работ дан в докладе Г. П. Фоменко (НИИЯФ ТПИ). В НИИЯФ ТПИ получено удвоение энергии $\sim 10\%$ электронов пучка при его прохождении через шесть связанных резонаторов, имеющих собственную частоту $3 \cdot 10^9$ гц. В ФИАНе, как сообщил Б. Н. Яблоков, при прохождении пучка через диафрагмированный волновод с $\lambda = 10$ см, длиной 50 см $\sim 10\%$ частиц увеличивали свою энергию в 3—4 раза.

М. И. Петелин (НИРФИ, Горький) рассказал о перспективах использования электронных сильноточных пучков для генерации СВЧ-колебаний большой мощности. К.п.д. некоторых типов релятивистских классических СВЧ-генераторов (КРВ, твистрон, МЦР, ЛОВМ) довольно высок (более 50%). Релятивистские генераторы имеют ряд преимуществ перед обычными, особенно в области высоких частот. Эксперименты, проведенные совместно НИРФИ и ФИАНом по генерации СВЧ-

колебаний с частотой 10^{10} гц электронным пучком с энергией 670 кэв в гофрированной замедляющей системе на минус первой гармонике, хорошо подтвердили теоретические предсказания. Аналогичные эксперименты были проведены в НИИЯФ ТПИ: пучок с энергией 650 кэв генерировал СВЧ-колебания на частоте $3 \cdot 10^9$ гц в диафрагмированном волноводе на минус первой пространственной гармонике (Ю. Г. Юшков).

Подводя итоги совещания, В. П. Саранцев отметил, что за последние годы в создании и использовании сильноточных ускорителей отмечается существенный прогресс. В Советском Союзе создано много сильноточных ускорителей, и, что самое главное, на них выполняется широкая физическая программа. Несмотря на молодой возраст этого нового и перспективного направления, советскими физиками достигнуты важные результаты.

Участники отметили значение проведенного совещания для взаимной информации, координации и организации совместных работ. Следующее совещание намечено провести в 1976 г. в Дубне.

ДИДЕНКО А. Н., КОНОНОВ В. А.

ВНИМАНИЮ ИНЖЕНЕРОВ И СТУДЕНТОВ ХИМИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ, НАУЧНЫХ РАБОТНИКОВ, ЗАНЯТЫХ В ОБЛАСТИ РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ!

В 1974 г. вышла в свет книга Г. А. Ягодина, О. А. Синегрибовой и А. М. Чекмарева «Технология редких металлов в атомной технике» М., Атомиздат, 1974 г., 344 с., 1 р. 02 к.

Книга посвящена химической технологии редких металлов, которые используются в атомной технике: циркония, гафния, лития, бериллия, редкоземельных элементов, ниобия, тантала и др.

Материал в книге расположен по принципу типовых процессов технологии: обогащение и вскрытие рудных концентратов, ионный обмен, экстракция, металлотермия, электролиз и т. д. Описаны физико-химические основы технологических процессов и общие принципы конструирования и расчета оборудования.

Изложение материала соответствует действующим учебным программам и подчинено задачам подготовки молодых инженеров соответствующих специальностей.

Книгу можно приобрести в Доме военной книги (Москва 107053, ул. Садовая-Спасская, 3), а также по почте наложенным платежом по адресу «Военная книгопочта» (Москва, 113114, Даниловская наб., дом 4а).