

Симпозиум по коллективным методам ускорения

В сентябре 1972 г. в Дубне проходил симпозиум по коллективным методам ускорения, посвященный итогам исследований за прошедший год. Он продемонстрировал все возрастающий интерес к исследованиям коллективных методов ускорения как в Советском Союзе, так и в других странах. Симпозиум был организован странами социалистического лагеря (ОИЯИ и АН СССР), однако он явился самым представительным собранием специалистов по коллективным методам ускорения. В нем приняли участие около 200 ученых из всех научных центров мира, работающих в этом направлении. Заслушано 60 докладов.

Наряду с ведущими учеными в симпозиуме приняли участие высококвалифицированные молодые специалисты. Это, по-видимому, — решающий фактор, определяющий прогресс рассматриваемого направления.

Основные разделы программы симпозиума: ускорители с электронными кольцами; ускорение заряженных частиц в плазме и электронных пучках; получение и формирование сильноточных электронных пучков. Наибольшее число докладов (около 30) было посвящено первой теме.

Симпозиум показал, что значительно расширяется география исследований коллективного метода ускорения частиц. Впервые были представлены группы Канады, Франции, Японии и некоторые группы Советского Союза, активно работающие в этом направлении.

Ускорители с электронными кольцами. Эта тема разрабатывается многими группами в разных странах (уровень работ различный). Остановимся только на основных исследованиях.

В Беркли (США) за последний год исследовались различные режимы захвата электронного кольца в процессе сжатия. При этом основное внимание обращалось на изучение условий, при которых в кольце не возникают радиационные эффекты или другие коллективные процессы, ведущие к ограничению числа частиц, захваченных в процессе сжатия. Этим вопросам, кроме основного доклада, было посвящено несколько теоретических сообщений.

Была проведена большая серия исследований влияния стенок (диапазон сопротивлений стенок $100-0,06 \text{ ом/см}^2$) на развитие продольных неустойчивостей в пучке. Последние эксперименты проводились с двойной камерой. Внутрь используемой обычно керамической камеры вставлялась камера из нержавеющей стали толщиной 15 мм . Она позволяла нормально захватывать пучок с интенсивностью по крайней мере 10^{13} электронов. Основной вывод: для захвата большого числа частиц в кольцо процесс сжатия нужно проводить вблизи стенок с достаточной проводимостью. Это же относится и к процессу ускорения.

В Гархинге (ФРГ) основные работы были связаны с улучшением параметров пучка линейного электронного ускорителя для увеличения числа частиц, захваченных в компрессор. Для этого в ускорительную трубку были введены дополнительные фокусирующие устройства, позволившие увеличить число инжектируемых частиц до $8 \cdot 10^{12}$, из которых $5 \cdot 10^{12}$ были захвачены в режим компрессии; радиус кольца доведен до $2,5 \text{ см}$. Проводились также работы в поисках более совершенных систем сжатия. В частности, рассматривались возможности одновиткового компрессора. Виток в такой системе является одновременно вакуумной камерой.

В Мерилендском университете (США) развивается методика получения электронных колец из цилиндрического пучка в магнитном поле. До настоящего времени такие работы велись на линейном ускорителе малой интенсивности и получаемые кольца не содержали большого числа частиц. Сейчас для этих опытов приобретен одноазорный ускоритель с автоэмиссионным катодом, генерирующий цилиндрический электронный пучок с энергией 5 Мэв и током 20 мА . Такой токовый цилиндр длиной 3 м за счет торможения в растущем магнитном поле предполагается превратить в кольцо.

Работы с электронными кольцами продолжались в Карлсруэ. Начались экспериментальные исследования в Сакле (Франция) и Японии.

Большой интерес вызвали советские доклады, в частности доклад сотрудников Института экспериментальной и теоретической физики «О коллективном сильноточном ускорителе», в котором приведены основные соображения о возможности построения коллективного ускорителя типа мезонной фабрики на энергию $\sim 1 \text{ Гэв}$. Показано, что даже при возможном ограничении скорости набора энергии кольца резонансами связи радиальных и аксиальных колебаний электронов и ионов практически несложно сделать ускоритель со средним током $\sim 1 \text{ мА}$ и высоким к. п. д.

Наибольшее число докладов по различным аспектам создания и ускорения электронных колец было представлено ОИЯИ. В Дубне исследовались возможности получения колец с числом электронов 10^{14} ; в настоящее время закончена подготовка к таким экспериментам. На созданной установке предполагается ускорить тяжелые ионы вплоть до урана с интенсивностью, значительно превышающей интенсивность существующих ускорителей тяжелых ионов. Для этих работ используется специально разработанный ускоритель электронов «Силунд» и камера адгезатора из тонкой нержавеющей стали. Сейчас завершается монтаж этих систем. Исследуются также варианты ускоряющих систем.

Ускорение частиц в плазме и электронных пучках. Основные направления исследований ускорения частиц в плазме и электронных пучках во многом совпадают, хотя и имеют разную природу. Когда говорят об ускорении частиц в плазме, то под этим, как правило, понимают ускорение в электромагнитной волне, возбужденной мощным электронным пучком, взаимодействующим с плазмой. Наиболее фундаментально эта проблема исследуется в Харьковском физико-техническом институте. Использование модулированных электронных пучков позволило с высокой эффективностью возбуждать в плазме электромагнитные колебания с узким спектром. Напряженность поля в такой волне достигает десятков киловольт на сантиметр. В плазменном волноводе были ускорены электроны, и в ближайшее время предполагается провести ускорение ионов. Ведутся работы по увеличению мощности возбуждаемой волны. Обо всех этих работах рассказали Я. Б. Файнберг и его сотрудники.

Другой механизм ускорения ионов — непосредственное взаимодействие плотного электронного пучка с ионами среды. Это направление начало развиваться 12 лет назад, когда группой А. А. Плютто в Сухуми впервые было обнаружено ускорение ионов при получении электронного пучка с плазменного катода. В то время это явление получило много объяснений, но де-

тально предложенные механизмы ускорения не проверялись. В связи с появлением сильноточных электронных ускорителей интерес к этим опытам возобновился. Несколько американских групп обнаружили, что при пропускании электронного пучка через дрейфовую камеру, заполненную газом при низком давлении, появляется значительное число ионов данного газа, ускоренных от нескольких до нескольких десятков миллионов электронвольт в зависимости от сорта газа. Число ускоренных ионов достигало 10^{14} в одном импульсе. Как показал настоящий симпозиум, процесс такого ускорения во многом еще не поддается контролю и данные, получаемые различными группами, противоречивы. Можно отметить только, что длины ускорения малы (единицы сантиметров), а следовательно, напряженности ускоряющих полей велики.

Было высказано несколько гипотез, в принципе объясняющих процесс ускорения. В ближайшее время как у нас, так и за рубежом предполагается провести кардинальные опыты по их проверке. Это позволит, по-видимому, управлять процессом ускорения и откроет возможность создания эффективных ускорителей на энергии до 100 Мэв с интенсивностью до 10^{15} ионов в импульсе.

Получение и формирование сильноточных электронных пучков. Большое значение для развития коллективных методов ускорения имеет прогресс в создании сильноточных электронных ускорителей. Важным фактом является ввод в действие установок, дающих возможность генерировать электронные пучки с током в десятки килоампер, и начало экспериментов на этих установках. На симпозиуме сообщалось об ускорителях «Импульс» с током 30 кА (ФИАН СССР), «Тонус» с током 50 кА Томского политехнического института и ускорителе с током 50 кА Научно-исследовательского института электрофизической аппаратуры (НИИЭФА). Первые опыты, проведенные на этих ускорителях, дают основание надеяться, что они послужат хорошей базой для экспериментов по коллективному методу ускорения. Было рассказано также о новых ускорителях, используемых для образования электронных коец. Такие ускорители создаются в Дубне и НИИЭФА.

О последних достижениях в строительстве сильноточных ускорителей в США, в частности о нескольких

установках, вступивших в строй в прошедшем году, рассказал А. Колб. Наиболее крупные из них — «Блек Джек» и «Аврора». Они способны генерировать электронные пучки с током $1-1,2 \text{ млн. а}$ при энергии $10-12 \text{ Мэв}$. «Аврора» служит источником γ -излучения чрезвычайно высокой плотности.

Кроме указанных основных направлений, на симпозиуме были обсуждены некоторые новые идеи создания ускорителей, работающих на коллективном принципе. Все эти идеи находятся в начальной стадии проработки, и поэтому о них только коротко упомянем.

А. А. Коломенский провел расчеты по системе «Гиротрон». Общая идея этой системы заключается в том, чтобы, используя электромагнитное поле специального типа, придать электронному пучку замкнутую конфигурацию и заставить его обращаться как целое. В такой пучок могут захватываться ионы. За счет обращения пучка как целого и проскальзывания вдоль него ионов их энергия возрастает. Расчеты показывают, что до малых γ такое ускорение возможно.

В докладе М. С. Рабиновича были обсуждены некоторые забытые возможности ускорения — ускорение в электронных потоках и ударное ускорение. В связи с бурным развитием сильноточных электронных ускорителей такое напоминание кажется не лишним, так как работы в этом направлении представляются перспективными. Интересно также использование для ускорения уединенных нелинейных волн — солитонов. Исследования в этом направлении позволят получить ускоряющие поля до $10\,000 \text{ Мэв}$.

Н. Ростокер (США) рассмотрел возможность построения ускорителя тяжелых ионов типа «Хипак» с использованием релятивистских пучков, что существенно облегчит задачу получения требуемых плотностей электронов в торе.

Были обсуждены высказанные ранее предложения по автоускорению электронов и возможность использования сканирования пучка.

Таким образом, симпозиум показал, что коллективные методы ускорения чрезвычайно перспективны и уже в ближайшие годы возможно создание высокоэффективных ускорителей.

В. П. САРАНЦЕВ

Вторая международная конференция по ионным источникам

Вторая международная конференция по ионным источникам проходила в Вене с 11 по 15 сентября 1972 г. В работе конференции приняли участие около 250 ученых из 25 стран. Наиболее крупными были делегации Франции, ФРГ, США, Австрии, Англии. От Советского Союза (вместе с ОИЯИ) было 10 человек. На 11 секциях конференции заслушано свыше 100 докладов, в том числе восемь обзорных. Советскими учеными представлено пять докладов.

Цель конференции — обсуждение последних достижений в области физики и технологии ионных источников и их все возрастающее и многостороннее применение. Если раньше эти вопросы обычно обсуждались на конференциях, симпозиумах или совещаниях, посвященных тем установкам, на которых применяются ионные источники (ускорителям, масс-сепараторам, термоядерным установкам и др.), то начиная с 1969 г. по ионным источникам организуются специальные конференции.

Круг тем, обсуждавшихся на Венской конференции, довольно широк. Основные из них: интенсивные ионные и нейтральные пучки низкой энергии; источники многозарядных ионов; ионные источники для ускорителей на высокие энергии; источники отрицательных и поляризованных ионов; масс-сепараторные источники и источники с низкой интенсивностью и малым энергетическим разбросом ионов.

Для накопления и нагрева плазмы в магнитных ловушках требуются пучки быстрых атомов водорода (дейтерия) с эквивалентным током выше 10 а и мощностью больше 100 квт . В этом случае в отличие от обычных плазменных источников с ограниченной плотностью сфокусированного ионного тока необходимо создать большую (десятки кв. см) поверхность плазмы с высокой и равномерной плотностью ионов, разработать многоапертурную ускоряющую систему, способную вытягивать и фокусировать мощные потоки ионов. Этой проблеме на конференции было уделено большое