

II Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц

В Москве в ноябре 1970 г. Академией наук СССР и Государственным комитетом по использованию атомной энергии СССР было проведено II Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц.

В работе совещания приняли участие около 450 советских специалистов из 54 научных организаций, 13 специалистов из социалистических стран и 23 специалиста из ускорительных центров капиталистических стран. Программа работы совещания была весьма насыщенной. В адрес Оргкомитета было прислано 175 докладов, в том числе 26 докладов от зарубежных ученых. В процессе работы на сессиях и семинарах было заслушано 115 докладов. Рассмотренные научные и инженерные проблемы ускорительной техники были сгруппированы по следующим основным направлениям, определившим тематику 12 пленарных сессий: 1) сравнительные характеристики ускорителей различных типов с точки зрения физического эксперимента; 2) состояние ускорителей различных типов, проекты новых и реконструкции действующих установок; 3) ускорители прямого действия, ионные и электронные источники; 4) электромагниты ускорителей и системы их питания, магнитные измерения; 5) коллективные методы ускорения; 6) сверхпроводящие элементы ускорителей; 7) динамика частиц в ускорителях, накопителях и установках со встречными пучками (две сессии); 8) радиоэлектроника ускорителей, системы измерения параметров пучков; 9) мощные радиотехнические устройства и ускоряющие системы; 10) мишени, сепарация и транспортировка пучков, вводе и вывод; 11) контроль и управление ускорителями с помощью ЭВМ.

Параллельно с работой сессий было проведено 7 семинаров, на которых детально рассмотрены отдельные вопросы, связанные с коллективными методами ускорения, научными и инженерными проблемами создания быстрых бустеров, применением сверхпроводимости в электронных линейных ускорителях, когерентной неустойчивостью пучков в ускорителях и накопителях и пр.

Современные тенденции развития ускорителей определяются стремлением ученых к исследованию фундаментальных процессов в области все более высоких энергий и малых сечений. Эти стремления физиков были продемонстрированы в докладе А. А. Комара, посвященном анализу возможных направлений физических исследований на ускорителях будущего.

Научная целесообразность создания ускорителей на энергии в сотни и тысячи миллиардов электронвольт в настоящее время не вызывает сомнений, а практическое продвижение в область таких энергий все теснее связывается с использованием сверхпроводящих магнитов.

Проектам протонных ускорителей на сверхвысокие энергии было посвящено несколько докладов.

А. А. Васильев доложил о состоянии разработок кибернетических ускорителей и перспективах применения в них сверхпроводящих магнитов. Отрицательным свойством современных сверхпроводящих кабелей является необходимость значительного увеличения длительности цикла изменения магнитного поля для уменьшения потерь энергии в сверхпроводнике по сравнению с длительностью цикла магнитов, использующих обычные проводники. Однако при увеличении длитель-

ности цикла существенно снижается стоимость ускоряющей системы и появляется возможность использования существующих протонных синхротронов в качестве инжекторов. Аналогичные соображения были проведены также в докладе проф. Р. Мартина (Аргоннская национальная лаборатория, США), где отмечается, что интенсивность таких ускорителей может достигать 10^{14} – 10^{15} протонов в импульсе.

На совещании не было доклада о состоянии работ по сооружению протонного синхротрона на энергию 200 Гэв в Батавии (США). Однако в частном выступлении Р. Мартин показал диапозитивы, позволившие получить представление о высоких темпах строительства этого ускорителя.

Большой интерес вызвал доклад Н. А. Монозона о расчетных характеристиках синхротронов на энергию 35–350 Гэв, в которых используются перемещающиеся сверхпроводящие магниты постоянного тока. Здесь имеются определенные трудности, связанные с усложнением динамики движения частиц и жесткими допусками на точность перемещения магнитов, которые должны быть решены в процессе дальнейших исследований.

Экспериментальные исследования сверхпроводящих магнитов с обмотками из тонкожилых проволок на основе цинкоб-титановых сплавов, а также криогенных магнитов с обмотками из особо чистого алюминия широко ведутся во многих ускорительных центрах.

Работы в Карлсруэ (ФРГ) ведутся в рамках программы изучения второй очереди ускорителя на 300 Гэв (ЦЕРН), при осуществлении которой предполагается увеличить энергию ускоряемых протонов до 600–1000 Гэв за счет замены обычных магнитов сверхпроводящими. Здесь изготовлены и исследуются импульсные сверхпроводящие дипольные магниты с полями до 50 кэс, а также криогенные магниты с железным ярмом на поля до 40 кэс.

Ближайшая цель исследований по сверхпроводимости в Резерфордской лаборатории (Великобритания) связана с разработкой проекта реконструкции ускорителя на 7 Гэв для увеличения его энергии до 25 Гэв при том же радиусе.

В Сакле (Франция) изготовлен дублет сверхпроводящих квадрупольных линз с радиусом апертуры 10 см и градиентом 3,5 кэс/см, который эффективно используется в тракте фокусировки мезонных пучков.

Советские ученые доложили о расчетах и экспериментах, связанных с проектированием сверхпроводящих магнитов и определением потерь в сверхпроводниках в импульсных магнитных полях.

Не менее живой интерес на совещании вызвали сообщения о планах усовершенствования действующих ускорителей, повышении надежности их работы и увеличении интенсивности пучков.

В докладе Ю. М. Адо и др. было сообщено, что в течение последнего года крупнейший в мире протонный синхротрон ИФВЭ на энергию 76 Гэв устойчиво работал со средней интенсивностью ускоренного пучка $7,5 \cdot 10^{11}$ прот/имп. Коэффициент использования ускорителя для физических экспериментов составил приблизительно 82%. Это свидетельствует о высокой надежности ускорителя и многочисленных систем, входящих в него. Разрабатывается проект существенного увеличения интенсивности ускоренного пучка

о $5 \cdot 10^{13}$ прот/имп на основе применения промежуточного ускорителя-бустера на энергию 1,5 Гэв. Разработке различных систем этого бустера были посвящены отдельные доклады.

Э. А. Мяз доложил об исследованиях, проведенных на ускорителе ИФВЭ, по возможности прохождения области параметрического резонанса за счет некогерентного кулоновского сдвига частот бетатронных колебаний. Экспериментально показано, что при тщательной коррекции резонансных возмущений (уменьшении существующей полосы резонанса на порядок) такое прохождение не вызывает значительных потерь частиц.

На крупнейшем линейном электронном ускорителе на энергию 22 Гэв (Станфорд, США) разработаны новый импульсный инжектор и клистроны высокой мощности (на 30 Мвт). Рассматривается возможность замены существующих ускоряющих волноводов на сверхпроводящие, что обеспечит увеличение энергии электронов до 100 Гэв при работе с коэффициентом заполнения, равном 6%, либо позволит работать в непрерывном режиме при энергии электронов около 25 Гэв.

Г. С. Казанский осветил некоторые вопросы, связанные с переводом протонного синхрофазотрона ОИЯИ на ускорение дейтронов. Ускорение дейтронов до таких высоких энергий (порядка 11 Гэв) осуществлено впервые в мире, что несомненно расширит экспериментальные возможности физики высоких энергий. Рассматривается также возможность ускорения на синхрофазотроне α -частиц и более тяжелых ионов.

На Ереванском электронном синхротроне осуществлен медленный вывод пучка электронов при длительности растяжки 2,5 мсек.

На фазотроне Физико-технического института АН СССР (Ленинград) проведены эксперименты с нелинейной регенеративной системой вывода пучка и получена высокая эффективность вывода (25%) при хорошем качестве выведенного пучка.

В ОИЯИ ведутся работы по реконструкции фазотрона на 680 Мэв в сильноточный фазотрон с вариацией магнитного поля. Было представлено два доклада по моделированию магнитной и высокочастотной системы сильноточного фазотрона.

Из работ, посвященных ускорителям на низкую энергию, наибольший интерес вызвал доклад В. А. Слободянюка о проекте микротрона непрерывного действия ФЭИ на энергию 12 Мэв. В качестве источника ВЧ-мощности в нем будет использован уникальный генератор магнетронного типа — нигатрон с непрерывной мощностью 150 квт. Этот ускоритель прост по устройству и окажется весьма полезным для изучения структуры атомного ядра и исследований по радиационной физике.

Значительное внимание в работе совещания было уделено научным и инженерным проблемам, связанным с проникновением в область сверхвысоких энергий взаимодействий при помощи метода встречных пучков. Здесь можно отметить доклады из ИЯФ СО АН СССР, и в частности сообщение Р. А. Салимова о создании установки для экспериментов по электронному охлаждению на накопителе ВЭПП-3.

Присланный проф. В. Енчке (директор ЦЕРНа) и зачитанный Ф. Фергером доклад о физической программе на протонных накопительных кольцах позволил получить представление об экспериментах со встречными пучками, к осуществлению которых приступают в ЦЕРНе в ближайшее время. Для настройки накопительных колец выбрана энергия инъекции пучка

протонов, равная 15 Гэв, так как при этом не требуется корректировать магнитное поле колец.

На сессии, посвященной радиоэлектронике ускорителей, были рассмотрены вопросы, связанные с новыми системами централизованного цифрового контроля и управления ускорителями, методами измерения фазового объема и пространственно-временных характеристик пучков, бесконтактным измерением тока пучка с помощью эффекта Холла и пр.

Как всегда, много докладов было представлено по динамике частиц в ускорителях и накопителях, так что для их зачитания было отведено две сессии. Здесь можно отметить доклады В. А. Геплякова о высокочастотной квадрупольной фокусировке в линейных ускорителях; В. В. Петренко о продольной компрессии сгустков; М. Бартона о нестабильностях в ВЧ-системе Брукхейвенского синхротрона, обусловленных нагрузкой пучков, и др. В нескольких докладах приводились теоретические исследования эффектов пространственного заряда и особенностей динамики частиц в различных ускорителях. В этих работах наряду с аналитическими методами широко используются численные методы моделирования движения частиц в ускорителях с помощью ЭВМ.

Важное значение для проектирования ускорителей имеют также методы расчета и математического моделирования на ЭВМ магнитных полей железных и безжелезных магнитов. Эти вопросы рассматривались на сессии, посвященной электромагнитам ускорителей. Тематика других докладов, зачитанных на этой сессии, была связана с особенностями систем питания электромагнитов, в частности электромагнитов быстрых бустеров и аппаратурой для магнитных измерений.

Несколько интересных работ было представлено по ускоряющим системам. В. М. Пироженко сделал сообщение об исследовании новой ускоряющей структуры на $\pi/2$ -волне, выполненной в виде резонатора с проводящими шайбами и диафрагмами. Как показали эксперименты, предложенная структура значительно превосходит известные ускоряющие структуры по степени связи между отдельными ячейками, а по величине шунтового сопротивления она практически равновалена лучшей из известных структур. Такая структура может быть использована в протонных линейных ускорителях на высокие энергии, в частности в мезонных фабриках.

А. И. Кваша доложил о результатах опытов по компенсации спадов ускоряющего поля в линеке-инжекторе Серпуховского синхротрона. Получена полная компенсация мощности, уносимой пучком с током до 80 ма/имп при длительности импульса до 40 мксек.

Предложенный академиком В. И. Векслером метод когерентного ускорения ионов при помощи электронных колец является в настоящее время основным направлением исследований в области новых методов ускорения. Экспериментальные работы по созданию ускорительных установок, основанных на этом принципе, интенсивно ведутся не только в СССР, но и во многих зарубежных лабораториях. Естественно, что обсуждение вопросов, связанных с тематикой коллективных методов ускорения, занимало значительное место в работе совещания. В. П. Саранцев в докладе «Коллективный ускоритель ионов — новый инструмент в физике элементарных частиц» рассказал о последних достижениях в этой сравнительно молодой области ускорительной техники. В ОИЯИ продолжают экспериментальные работы на модели коллективного ускорителя. После проведенного год назад ускорения ионов азота было решено провести уско-

рение α -частиц. Для этого пришлось переделать систему откачки и напуска газа. Сейчас все системы модели подготовлены к экспериментам по ускорению α -частиц. К середине 1971 г. будет закончен монтаж ВЧ-системы ускорения колец на теплых резонаторах. Следует отметить также работы по созданию нового инжектора электронов — линейного индукционного ускорителя на энергию 3,5 Мэв с максимальным импульсным током 2 ка. Достигнут существенный прогресс в создании отдельных систем будущего мощного ускорителя — кольцетрона. В разработанной криогенной высокочастотной секции кольцетрона будет обеспечено среднее ускоряющее поле для ионов ~ 2 Мэв/см. Здесь используются сверхпроводящие резонаторы и солениды, создающие продольное магнитное поле ~ 20 кэс.

Ж. Петерсон сообщил о программе Лоуренсовской лаборатории (Беркли, США) по ускорителям с электронными кольцами, а В. Хейнц о работах по созданию ускорителя электронных колец в Карлсруэ (ФРГ). Интересные теоретические работы о синхротронном излучении электронных колец и о резонансах связи поперечных колебаний кольцевых пучков доложили соответственно К. Пеллигрини (Фраскати, Италия) и Д. Г. Кошкарёв.

Большое количество докладов было представлено на сессии по ускорителям прямого действия, ионным и электронным источникам. Рассматривались важные для ускорительной техники вопросы получения интенсивных ионных и электронных пучков, пучков поляризованных ионов, устойчивых режимов работы сильноточных импульсных ускорителей прямого действия и т. п.

В планах усовершенствования и повышения надежности работы больших ускорителей все более широкое применение находят автоматические системы управления и системы контроля, включающие в себя вычислительные и управляющие машины. На прошедшем совещании впервые отдельная сессия была полностью

посвящена обсуждению вопросов о применении ЭВМ для автоматизации ускорителей.

А. А. Кузьмин сделал сообщение о принципах автоматизации Серпуховского ускорителя. Предлагается использовать функциональный принцип, позволяющий автоматизировать отдельные системы без нарушения работы ускорителя с последующим объединением их в единый комплекс, управляемый центральной ЭВМ. В. И. Колосов доложил о проекте автоматизации линейного ускорителя ФТИ АН УССР. Автоматизация ускорителя будет проводиться в три этапа. На первом этапе будет обеспечено централизованное управление системами ускорителя с помощью ЭВМ «Днепр-2». На втором этапе предусматривается использование ЭВМ в режиме удержания параметров пучка, опробование программ прогнозирования и диагностики. На третьем этапе предполагается постепенный переход на полностью автоматическое управление по самообслуживающейся программе.

Об автоматическом комплексе для управления моделью кибернетического ускорителя РАИ АН СССР на энергию 1 Гэв рассказал Ю. С. Кузьмин. Здесь функциональный контроль параметров ускорителя и управление работой автоматических систем коррекции будет осуществляться с помощью двух ЭВМ «Днепр-1». Получаемая информация вводится также в накопители на магнитных лентах, откуда в случае необходимости может передаваться на быстродействующую ЭВМ БЭСМ-6 для более полной обработки.

Работа совещания проходила в доброжелательной, дружеской обстановке, и многочисленные беседы и встречи в кулуарах способствовали расширению деловых научных связей ученых различных стран. Для зарубежных участников совещания было организовано посещение основных ускорительных центров Советского Союза.

В. С. РЫБАЛКО

Ускорители в народном хозяйстве и медицине

По совместному решению Академии наук СССР и Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР в феврале 1971 г. в Ленинграде проведено I Всесоюзное научно-техническое совещание по применению ускорителей заряженных частиц в народном хозяйстве и медицине. В работе совещания участвовало 400 человек из различных районов Советского Союза и социалистических стран.

Было обсуждено 120 докладов, тематика которых распределена следующим образом: 1) конструкции и параметры ускорителей, созданные различными организациями для практических целей; 2) промышленные радиационные процессы, осуществляемые с помощью ускорителей; 3) применение ускорителей в медицине, биологии и сельском хозяйстве.

Промышленные предприятия и научно-исследовательские организации нашей страны разработали и создали ускорители (бетатроны, линейные ускорители, микротроны, нейтронные генераторы, резонансные трансформаторы и др.), позволяющие широко использовать эти источники в различных отраслях промышленности.

В табл. 1 приведены сведения о некоторых ускорителях, характеристики которых рассматривались на совещании.

Промышленные радиационные процессы, дефектоскопия и активационный анализ. В докладах были рассмотрены результаты работ по использованию ускорителей для отработки промышленной технологии, в том числе: отверждения стеклопластиков, получения резин со специальными поверхностными свойствами, а также изделий из облученного полиэтилена.

Несколько докладов было посвящено радиационной дефектоскопии стальных изделий. В одном из них сообщено, что внедрение бетатронной установки для просвечивания на Барнаульском котельном заводе обеспечивает резкое повышение качества выпускаемого оборудования, что позволяет потребителям этого оборудования получить годовой экономический эффект в сумме около 500 тыс. руб. В сообщениях указывалось, что применение линейных ускорителей для радиографии значительно сокращает время экспозиции и позволяет получать рентгенограммы при просвечивании стальных изделий толщиной 400 мм за время от 10 сек