

сравнительно малые размеры; простота конструкции и технологических проблем (по сравнению с токамаком). По способу формирования компактные торы подразделяются на сферомаки, тороиды с обращенным полем (типа системы, разрабатываемой в ИАЭ им. И. В. Курчатова) и типа «Астропа», формируемые кольцами быстрых частиц. Кроме того, компактные торы подразделяются на импульсные, стационарные и движущиеся. В последнем случае тороид движется вдоль линейной системы. Таким способом можно решить многие инженерные проблемы, поскольку уменьшается нагрузка на первую стенку.

Сообщалось об экспериментальных и теоретических работах Принстонской лаборатории по сферомаку. В настоящее время действует небольшая модельная установка «Proto-S I», сооружается более крупная «SI» с $R = 0,5$ м, $a = 0,25$ м, $I_T = 500$ кА, $I_P = 1,5$ МА, $n = 10^{14}$ см $^{-3}$. Установка будет введена в строй в 1982 г.

Проводятся эксперименты по быстрому формированию плазменных тороидов с помощью коаксиальной пушки с продольным магнитным полем. Получена плазма с $T = 30$ эВ, $n = 10^{14}$ см $^{-3}$, $\tau = 100$ мкс. Такие тороиды используются для инъекции в открытую ловушку 2XIV, которая теперь называется «Beta-2».

В Лаборатории ВМФ США продолжают работы по проекту LINUS. Предполагается сжимать плазменный тороид вращающимся жидкометаллическим лайнером. Тороид формируется в продольном магнитном поле при инъекции кольцевого электронного пучка. Сжатие лайнера происходит при открывании клапанов резервуаров высокого давления (~ 15 МПа), содержащих гелий. Работа

циклическая: сжатие-расширение. Сейчас экспериментально продемонстрировано сохранение симметрии вращающегося жидкометаллического лайнера при сжатии. Монтируются мощные генераторы электронных пучков.

Сообщалось о получении при обращении магнитного поля в тета-пинчах плазменных тороидов с $n \sim 4 \cdot 10^{13}$ см $^{-3}$, $T \sim 200$ эВ, $\tau_E \sim 50$ мкс, $n\tau_E \sim 2 \cdot 10^{11}$ см $^{-3} \cdot \text{с}$, $\bar{\beta} \sim 0,9$.

В США создается установка ST-TRXI для исследования компактных торов, формируемых в тета-пинче с обращенным полем. В ней планируются предионизация α -разрядом, актуальные барьерные поля и радиальный ударный нагрев. Магнитная система обеспечивает получение максимального значения магнитного поля 1,6 Тл при времени спада 0,1 с. Разрабатывается проект импульсного термоядерного реактора TRACT, основанный на этом принципе.

Рассматривался теоретический анализ устойчивости компактных торов на основе энергетического принципа, а также работы по формированию электронных и ионных колец.

Таким образом, несмотря на существенный прогресс, достигнутый в последние годы на токамаках, во многих странах, проводящих термоядерные исследования, развиваются альтернативные системы. Значительные технологические трудности, с которыми сталкиваются ученые и инженеры при проектировании термоядерного реактора на основе токамака, заставляют искать другие технологические и конструктивно более простые подходы к решению термоядерной проблемы.

КОРЖАВИН В. М.

VII Всесоюзное совещание по ускорителям заряженных частиц

В работе совещания, состоявшегося 14–16 октября 1980 г. в Дубне, участвовали, кроме наших специалистов, ученые зарубежных ускорительных центров. По традиции сообщением о крупнейших сооружаемых и проектируемых ускорителях предшествовал доклад о наиболее актуальных проблемах физики высоких энергий и требованиях к новому поколению ускорителей, а приглашенные доклады были заслушаны на двух пленарных заседаниях.

Центральное место на совещании занял доклад о ходе работ по ускорительно-накопительному комплексу ИФВЭ (УНК ИФВЭ), в котором предполагается ускорять $\sim 6 \times 10^{14}$ прот./имп. до 3 ТэВ и организовать pp -встречные соударения энергией $0,4 \times 3$ ТэВ и светимостью $\sim 10^{32}$ см $^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Первая ступень комплекса представляет собой синхротрон с железным электромагнитом и предназначена для накопления и предварительного ускорения протонов до 400 ГэВ. Ускорение до конечной энергии будет происходить во второй ступени со сверхпроводящими магнитами. В перспективе намечено организовать pp -встречные соударения энергией 2×3 ТэВ (после сооружения второго сверхпроводящего кольца), а также pp -встречные соударения с использованием электронного охлаждения: реализация новой схемы антипротонного источника позволит получить скорость накопления $\sim 5 \cdot 10^7$ антипротонов в секунду и осуществить pp -встречные соударения с высокой светимостью ($\sim 3 \cdot 10^{30}$ см $^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$) при энергии взаимодействия 2×3 ТэВ (ИФВЭ, ИЯФ СО АН СССР).

Необходимо отметить существенный прогресс в разработке различных систем и создании прототипов сверхпроводящих магнитов УНК ИФВЭ. В частности, сообщалось о результатах исследования однометровых прототипов сверхпроводящих дипольных комплексов, в которых получено проектное магнитное поле при хорошей однородности

в апертуре (ИФВЭ). В некоторых сообщениях обсуждались вопросы разработки сверхпроводящих магнитных систем: рассмотрены пути конструирования сверхпроводящих обмоток, высказаны рекомендации по организации циркуляции охлаждающего сверхпроводника потока гелия. Большой интерес вызвал доклад об эскизном проекте системы криогенного обеспечения УНК ИФВЭ (НПО «Криогенмаш»).

На совещании сообщалось о работах, обеспечивших повышение интенсивности протонного синхротрона ИФВЭ на энергию 76 ГэВ до $5,3 \cdot 10^{12}$ прот./имп., что более чем в 5 раз превышает проектное значение. Несколько теоретических и экспериментальных работ было посвящено изучению опасных неустойчивостей и методов их подавления. Последнее особенно важно в связи с работами по УНК ИФВЭ и предстоящим вводом в строй бустера на 1,5 ГэВ, что даст возможность увеличить интенсивность синхротрона ИФВЭ — будущего инжектора комплекса — до 5×10^{13} прот./имп. Были заслушаны также доклады о численном моделировании поведения частиц в проектируемых и модифицируемых ускорителях (МИФИ, ФИАН, ИЯФ СО АН СССР), результаты которого, относящиеся как правило к пучкам большой интенсивности, могут найти применение и в других ускорительных центрах.

Ученые ИЯФ СО АН СССР продолжают разработку установки на энергию $2 \times (100–300)$ ГэВ и светимость соударений 10^{32} см $^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ на основе встречных линейных e^+e^- -пучков (ВЛЭПП). Основные усилия в настоящее время направлены на создание экспериментального модуля с темпом ускорения ~ 100 МэВ/м. В отдельном докладе был рассмотрен способ получения в такой установке встречных пучков с заданным направлением их поляризации (ИЯФ СО АН СССР). Важным достоинством уста-

новки ВЛЭПП является то, что ее элементы могут быть скомпонованы таким образом, чтобы имела возможность наращивать длину ускорителей и тем самым увеличивать энергию (не прерывая программы физических исследований), а также получать пучки энергией до 600 ГэВ и интенсивностью $\sim 10^{13}$ част./с.

В Лаборатории национального ускорителя им. Э. Ферми FNAL (США) после сооружения в рамках проекта TEVATRON сверхпроводящего кольца на энергию 1 ТэВ предполагается получить, используя как стохастическое, так и электронное охлаждение, $p\bar{p}$ -пучки энергией 2×1 ТэВ и светимостью соударений $\sim 8 \cdot 10^{30}$ см $^{-2}$ ·с $^{-1}$. В Лаборатории КЕК (Япония) сооружается источник синхротронного излучения на основе линейного ускорителя электронов на 2,5 ГэВ и накопительного кольца. Перспективы дальнейшего развития КЕК связываются с осуществлением проекта TRISTAN, предусматривающего, в частности, получение $e\bar{e}$ -встречных соударений энергией 25×300 ГэВ и высокой светимостью.

В докладах, представленных ИЯФ СО АН СССР, общалось о результатах пуска установки ВЭПП-4 со встречными e^-e^+ -пучками. В настоящее время успешно проведены первые физические эксперименты (так, точность измерения массы ψ -и ψ' -мезонов улучшена более чем на порядок), в течение года предполагается перейти в область энергии семейства Υ -мезонов и начать эксперименты с поперечным магнитным полем.

Разнообразные физические направления в настоящее время связаны с ускорением тяжелых ионов, в котором за последние годы наблюдается существенный прогресс. В Аргоннской национальной лаборатории (США) выполняется программа работ по ионному термоядерному синтезу. Основной ее целью является демонстрация возможности использования ускорителей для решения проблемы УТС. В ЛЯР ОИЯИ планируется создать установку, в которой циклотроны У-200 и У-400 смогут служить инжекторами в новый изохронный циклотрон с разделенными секторами, что позволит ускорять ионы элементов от гелия до урана энергией 250—50 МэВ/нуклон соответственно. Продолжаются исследования по коллективному методу ускорения ионов с применением колец релятивистских электронов. В ОНМУ ОИЯИ несколько типов тяжелых ионов ускорены с темпом ~ 4 МэВ/нуклон на метр. Среди остальных сообщений следует выделить доклады о возможности ускорения тяжелых ионов до 0,5 ГэВ/нуклон (Кг) в электронном синхротроне ЕрФИ, а также о вариантах ускоряющих структур линейных ускорителей тяжелых ионов (ХФТИ, ФРГ) и разработке различных типов ионных источников.

Большое внимание на совещании было уделено циклическим и линейным интенсивным ускорителям. В докладе, представленном ЛЯП ОИЯИ, описывалось состояние работ по сооружению установки «Ф» — сильноточного фазотрона с пространственной вариацией магнитного поля, который создается на базе синхроциклотрона ЛЯП ОИЯИ на энергию 680 МэВ. Несколько докладов было посвящено ионному источнику линейного ускорителя, другим вопросам, связанным со строящейся мезонной фабрикой ИЯИ АН СССР. Интересное сообщение было сделано об экспериментальном комплексе мезонной фабрики, в состав которого войдет накопительное кольцо для преобразования временной структуры пучка линейного ускорителя. Были также обсуждены состояние дел и вопросы улучшения характеристик некоторых действующих циклотронов.

Все более широкое и успешное применение находят ускорители в народном хозяйстве и прикладных исследованиях. Общее внимание привлекли доклад об использовании ядерных методов для решения прикладных задач (ЛЯР ОИЯИ) и сообщение о пуске источника синхротронного излучения на основе электронного накопителя на 2 ГэВ (Великобритания). Специалисты НИИЭФА рассказали о состоянии разработок и проектах циклотронов и мощных ускорителей прямого действия, в НИИЭИ при

Томском политехническом институте создана улучшенная модель малогабаритного бетатрона для дефектоскопии. Специалисты ИЯФ СО АН СССР сделали доклад о проекте накопителя электронов на 450 МэВ. На совещании были обсуждены проблемы эффективного использования ускорителей для физического эксперимента. В частности, перспективными являются результаты экспериментов по мониторингованию пучков протонов высокой энергии с применением особого варианта их синхротронного излучения на резко спадающих границах полей поворотных магнитов (Италия). Необходимо отметить проводимые в ОИЯИ работы по получению поляризованных дейтронов в газовых струях — внутренних мишенях ускорителей, а также сообщение о получении поляризованных пучков электронов большой энергии с использованием протонных синхротронов на высокую энергию (ФИАН). В одном из докладов был описан метод формирования нейтринных пучков на ускорителях энергией в несколько ТэВ (ИЯФ СО АН СССР). Значительные усилия сконцентрированы на повышении эффективности использования ускорителей и точности проведения физических экспериментов, о чем свидетельствует большое число докладов, посвященных магнитным системам и системам электропитания. Главными направлениями работ являются поиск оптимальных схемных решений, использование новейшей элементной базы силовой и слаботочной электроники, разработка программ расчета магнитных систем пространственного формирования поля, применение сверхпроводников для формирования магнитного поля в ускорителях, совершенствование средств измерения тока, напряжения и магнитного поля (НИИЭФА, ИЯФ СО АН СССР, ИФВЭ и др.).

Часть сообщений была посвящена вопросам создания ускоряющих структур, системам высокочастотного питания и стабилизации ускоряющих полей, а также системам синхронизации работы отдельных узлов ускорителей. В области разработки новых ускоряющих структур наши специалисты занимают ведущее место в мире — ими были предложены и практически реализованы метод асимметричной переменного-фазовой фокусировки, такие перспективные структуры, как структура с шайбами и диафрагмами и с пространственно-однородной фокусировкой. Эти и другие вопросы создания ускоряющих систем были изложены в докладах, представленных специалистами ИФВЭ, ИЯИ АН СССР, НИИЭФА и др.

Происходящее в настоящее время формирование нового научного направления — радиационной физики ускорителей заряженных частиц — придало особый характер обсуждению посвященных этому направлению работ. Были рассмотрены вопросы энерговыделения в мишенях высокоинтенсивных ускорителей, формирования и переноса излучений, энерговыделения в обмотках сверхпроводящих магнитов. Обсужденные на совещании актуальные радиационные проблемы, возникающие при высокой энергии частиц и большом токе пучков, имеют большое значение в связи с сооружением УНК ИФВЭ.

В большой группе докладов об автоматизированных системах управления ускорителями была отмечена целесообразность использования распределенных вычислительных мощностей. При этом для облегчения связи с АСУ персонала, не имеющего специальной подготовки, применяются языки высокого уровня. На ВЭПП-4 реализована многоаппаратная система управления с двухуровневой структурой (ИЯФ СО АН СССР). АСУ на основе ЭВМ внедряются и на уже давно работающих ускорителях, например на синхрофазотроне ОИЯИ для управления режимом медленного вывода. Важным результатом является автоматизация процесса настройки канала проводки частиц на синхротроне ИФВЭ, что позволило вдвое сократить затраты времени на его регулировку в каждом сеансе работы.

Представленные на совещание доклады свидетельствуют о несомненном и быстром прогрессе в области ускорительной науки и техники. Труды будут изданы в 1981 г.