

XIII Европейское совещание по циклотронам

Совещание состоялось в Швейцарском институте ядерных исследований в июне 1979 г. В нем участвовали около 100 специалистов, в том числе приглашенные из США, Канады и Японии. Около трети докладов (24) доклады устно, остальные (43) были представлены на плакатах.

Анализируя содержание докладов и дискуссий, можно сделать следующие выводы.

1. Огромный интерес вызывает пуск крупнейшего изохронного циклотрона У-400 в ОИЯИ, который обеспечит получение пучков тяжелых ионов высокой интенсивности.

2. Циклотроны последнего поколения (с раздельными магнитами) работают удовлетворительно. Наиболее удачным является комплекс циклофонов в Виллигене (Швейцария), где получен пучок протонов энергией 600 МэВ интенсивностью 100 мкА при коэффициенте вывода из последнего циклотрона 99,9%. При таких малых потерях интенсивность можно повысить до 1—2 мА, и для этого в Швейцарском институте разрабатывают новый кольцевой циклотрон-инжектор более высокой интенсивности. В 1982 г. планируют его пустить, после чего мощность пучка мезонной фабрики составит 1 МВт. Такой ускоритель можно будет использовать не только как мезонную, но и как нейтронную фабрику. Дальнейшего повышения коэффициента вывода пучка из циклотрона (до 100%) можно достичь применением способа расширяющихся орбит, предложенного и исследованного в ОИЯИ под руководством В. П. Дмитриевского.

Второй ускоритель этого поколения — циклотрон TRIUMF в Ванкувере (Канада) — также в короткие отрезки времени обеспечивает внешний пучок протонов энергией 500 МэВ интенсивностью до 120 мкА. Но потери при высокой энергии за счет электрической диссоциации отрицательных ионов водорода в магнитном поле вызывают остаточную наведенную радиоактивность, что не позволяет длительное время ускорять такие пучки. Поэтому здесь предполагают группировать ионы для получения коротких, но мощных нейтронных всплесков в свинцовой мишени, окруженной тяжелой водой. Более далекие планы — увеличение энергии (а не интенсивности) в целях создания фабрики К-мезонов. Для этого предполагают построить еще один каскад (кольцевой циклотрон или синхротрон с большой частотой повторения).

На ионах аргона и криптона пущен циклотрон WICKSI (Зап. Берлин), использующий в качестве инжектора электростатический ускоритель на 6 МВ. Сооружают циклотронный комплекс GANIL в Каене (Франция), состоящий из двух больших циклофонов с раздельными магнитами и двух малых циклофонов-инжекторов.

3. Большое внимание уделяют циклотронам нового поколения — со сверхпроводящими обмотками магнитов. Хотя с пуском первого такого циклотрона в Мичиганском университете США возникли некоторые трудности, главным образом из-за необходимости введения большого числа элементов в криостат и вывода из него (например, источника ионов), есть уверенность в получении первого пучка в начале 1980 г. В Чок-Ривере (Канада) проводят магнитные измерения и исследования ВЧ-системы для второго подобного циклотрона. Кроме того, появляются новые проекты, два из которых разработаны в ФРГ. В Мюнхене изучают возможность сооружения циклотрона с четырьмя раздельными сверхпроводящими магнитами с максимальным полем в секторе 5,5 Т. С имеющимся в лаборатории тандемом на 13 МВ, который предусматривают использовать в качестве инжектора, в циклотроне можно будет ускорять легкие ионы до 300 МэВ/нуклон и ионы урана до 25 МэВ/нуклон. При сооружении циклотрона возникли две проблемы. Первая — получение нужной радиальной зависимости среднего поля в области инжекции. Как показывают оценки, нужный профиль поля можно получить

лишь при вдвое большем радиусе и сейчас ищут пути шиммирования. Возможно, что задача и не имеет решения — это основная трудность таких циклофонов с раздельными магнитами. Вторая проблема заключается в том, что из-за регулирования конечной энергии ионов (от 300 до 25 МэВ/нуклон) необходимо варьировать рост среднего поля на конечном радиусе на 1,3 Т, а для этого нужны мощные корректирующие обмотки.

В Юлихе (ФРГ) разработан проект комплекса, состоящего из двух циклофонов со сплошными сверхпроводящими магнитами. Комплекс напоминает сооружаемый в Мичиганском университете с существенным дополнением: вместо внутреннего источника предполагают использовать внешний СВЧ-источник с применением электронно-циклотронного резонанса. Ионы урана планируют ускорять до 100 МэВ/нуклон, легкие ионы — до 250 МэВ/нуклон.

В США помимо уже реализуемых имеется еще несколько предложений по сооружению циклофонов со сверхпроводящими обмотками магнитов.

4. Желание повысить энергию тяжелых ионов в циклотроне привело к интенсивному исследованию новых типов источников ионов с высоким зарядом. Одним из них, получающим все большее развитие, является плазменный с разогретом СВЧ-мощностью и использованием электронно-циклотронного резонанса. Наилучшие результаты получены в Гренобле (Франция) на источниках в стендовом исполнении. Но уже разрабатывают другие подобного типа применительно к циклотрону: в Луване (Бельгия), Карлсруэ (ФРГ).

Продолжают оптимизировать и усовершенствовать источники типа Пеннинга. Например, на синхроциклотроне ЦЕРН разрабатывают модифицированный источник для получения ионов $^{12}\text{C}^{4+}$ по такой же схеме, какую используют в источнике циклотрона ИАЭ им. И. В. Курчатова: источник прямоканального типа, диаметр плазменного шнура коллимирован, в разрядном импульсе в плазму вводят большую мощность (30А, 1000 В), высокая плотность мощности плазмы обеспечивает образование многозарядных ионов большой плотности. В 1979 г. планировали получить 10^{11} ионов $^{12}\text{C}^{4+}$ в секунду во внешнем пучке синхроциклотрона энергией 85 МэВ/нуклон.

5. Ускорение промежуточных ионов (лития и бериллия), имеющих свойства, которых нет как у легких, так и тяжелых ионов, с каждым годом приобретает все более важное значение. Об этом говорит хотя бы то, что в 1965 г. ионы лития были ускорены лишь на одном циклотроне (ИАЭ им. И. В. Курчатова), в 1970 г. — еще на одном (Беркли (США), а в 1979 г. — на семи в Карлсруэ, Харуэлле (Великобритания), Техасском и Индианском университетах (США), Дрездене (ГДР) и запланировано еще на нескольких. Многозарядные ионы лития получают разными способами. Самым эффективным является применяемый в ИАЭ им. И. В. Курчатова — использование внутреннего прямоканального источника тигельного типа. По интенсивности внешнего пучка ионов лития этот циклотрон превосходит другие. Ионы бериллия ускорены помимо циклотрона ИАЭ им. И. В. Курчатова лишь в Беркли (близкой интенсивности) и Техасе (интенсивность на два порядка ниже).

6. Применение циклофонов расширяется, особенно в медицине (раковая терапия, радиография, получение изотопов для медицинских целей). Особое внимание уделяют получению ^{123}I . Даже на таких уникальных ускорителях, как мезонные фабрики в Швейцарском институте (на части внешнего пучка циклотрона-инжектора при энергии протонов 72 МэВ) и Ванкувере, готовят большое количество этого изотопа. В большом количестве его получают на циклотронах в Луване, Юлихе, Карлсруэ. В Юлихе получают в реакции $^{127}\text{I}(d, 6n)^{123}\text{Xe}(\beta^+; \epsilon - \text{захват})^{123}\text{I}$ при энергии дейтронов 78 МэВ. На более ком-

пактных циклотронах используют реакцию $^{124}\text{Te}(p, 2n)^{123}\text{I}$. Интерес к ^{123}I вызван тем, что применяющийся также для медицинских целей ^{131}I , получаемый в реакторах, по дозе облучения пациентов более чем в 50 раз хуже чем ^{123}I .

7. На совещании обсуждали разные вопросы техники проектирования, сооружения, наладки и эксплуатации циклотронов. Большой интерес был проявлен к новому

способу измерения энергии ионов с использованием их рекомбинации в пучке электронов известной энергии, впервые предложенный в ИАЭ им. И. В. Курчатова.

Очередное Европейское совещание по циклотронам решено провести в 1980 г. в Карлсруэ (ФРГ).

ВЕНИКОВ Н. И.

Новые книги

Кондратенко А. Н. Проникновение поля в плазму. М., Атомиздат, 1979. 232 с. 2 р.

За два последних десятилетия появилось много работ, посвященных проникновению переменного электромагнитного поля в плазму. С каждым днем все труднее разобраться в потоке информации. В то же время мало обзорной литературы и особенно монографий по данному разделу физики. Но если в случае слабонеоднородной плазмы указанные вопросы получили хотя бы частичное отражение, то в случае сильнонеоднородной, а также при учете эффектов на резкой границе подобных монографий нет. Этот пробел в значительной мере устраняет рецензируемая книга, написанная известным специалистом в области распространения волн в средах с сильной неоднородностью. Монография охватывает разнообразные вопросы проникновения поля и преобразования волн на границе как изотропной, так и магнитоактивной плазмы в гидродинамическом и кинетическом приближениях.

В книге изложен большой фактический материал: трансформация волн (преобразование поперечных в продольные) в полуграниченной плазме и плазменных слоях при условии слабой и сильной пространственной дисперсии, при отсутствии и наличии постоянного магнитного поля, в сильно- и слабонеоднородной плазме; проникновение, отражение и поглощение электромагнитных волн с нерезонансными частотами от движущейся и покоящейся плазмы, в условиях нормального и аномального скин-эффекта. В большой степени это удалось автору благодаря сокращению промежуточных расчетов, более подробно изложенных им в ранее вышедшей книге «Плазменные волны».

Значительное внимание автор уделяет раскрытию физической сущности рассматриваемых явлений, так что книга будет полезна студентам и аспирантам, специализирующимся на физике плазмы и смежных дисциплинах. Удачным является и композиция монографии. От простых явлений, изложенных при помощи гидродинамического описания в плазме без магнитного поля, автор постепенно переходит к более сложным в магнитоактивной при существенном влиянии пространственной дисперсии. Последняя глава стоит несколько обособленно от основного содержания, но она вовсе не является лишней, поскольку существенно дополняет ранее вышедшие обзорные работы результатами по трансформации низкочастотных волн в слабонеоднородной плазме, качественно отличающимися от трансформации высокочастотных волн.

Имеются следующие замечания: мало графического материала, не приведены ссылки на экспериментальные работы, недостаточно отражены результаты исследований по взаимодействию излучения с движущейся плазмой. При повторном издании автору следовало бы учесть это и несколько расширить рассматриваемые вопросы.

Монография полезна и нужна как для дальнейшего развития теории плазмы, так и в еще большей степени в связи с многочисленным применением физики плазмы. ВЧ- и лазерный нагрев, радиосвязь, диагностика плазмы и полупроводников, дифракция на плазменных образова-

ниях представляют далеко не полный перечень областей, где эффективно используют выводы теории по проникновению и трансформации волн.

МОИСЕЕВ С. С.

Каулинг Т. Магнитная гидродинамика. Пер. с англ. М., Атомиздат, 1978. 144 с. 1 р. 10 к.

Магнитная гидродинамика (МГД), зародившись в недрах геофизики и астрофизики, в настоящее время быстро развивается и находит все большее применение в различных областях науки и техники. Объектом исследований являются жидкие или газообразные проводящие среды и их поведение в магнитном поле. К сфере применения МГД относятся как космические и астрофизические проблемы (Солнце, звезды, космическое пространство, межзвездная плазма), так и чисто «земные» приложения, где используются гидромагнитные явления (исследования по проблеме управляемого термоядерного синтеза с магнитным удержанием плазмы, МГД-генераторы, МГД-насосы и т. п.). В этой связи представляется актуальным и своевременным выход в свет второго, существенно переработанного и дополненного издания книги, автором которой является один из ведущих специалистов в этой области. Основная цель издания — дать представление об основах МГД. Этому подчинены как подбор материала, так и порядок его изложения.

В первой главе, посвященной принципам МГД, сформулированы основные понятия, даны исходные электромагнитные и гидродинамические уравнения и электромагнитные следствия, вытекающие из этих уравнений. Во второй, касающейся магнитной гидростатики, рассмотрены вопросы магнитостатического равновесия и неустойчивости. Условия возникновения колебательных процессов с образованием альвеновских, магнитозвуковых и гидромагнитных ударных волн проанализированы в третьей главе. В ней же приведены примеры крупномасштабных колебаний в различных астрономических ситуациях. Четвертая глава касается механизмов возникновения неустойчивостей типа Кельвина — Гельмгольца, тиринг-моды, тепловой и условий их стабилизации. В пятой главе, посвященной происхождению магнитных полей звезд и планет, изложена и обсуждена теория динамо, согласно которой магнитное поле поддерживается благодаря электрическому току, наведенному во внутренних областях в результате движения вещества поперек силовых линий, как это происходит в динамо-машине с самовозбуждением. Применение МГД-подхода к плазме низкой плотности обсуждается в шестой главе.

Несомненным достоинством книги является то, что при изложении в меру сложного для понимания материала большое внимание уделено физической сущности рассматриваемых явлений с использованием минимально возможного числа математических выкладок. Там, где это возможно, сопоставлены выводы теории с результатами экспериментальных исследований.

Безусловно, книга будет полезна всем, интересующимся вопросами МГД-теории и ее практическим применением.

МАКСИМЕНКО Б. П.